

Посвящается 190-летию  
со дня рождения Д.И. Менделеева



**XXXIV МЕНДЕЛЕЕВСКАЯ  
ШКОЛА-КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**  
21 – 25 апреля  
2024 года, Казань  
**СБОРНИК ТЕЗИСОВ**

**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, ст. преподаватель **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. Пебалк**

доктор химических наук, профессор **С.М. Пестов**

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

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

### **M 501**

XXXIV Менделеевская школа-конференция молодых ученых: сборник тезисов (21–25 апреля 2024 г., Казань)

**ISBN 978-5-6049954-5-7**

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

В I туре конкурса участвовало 235 работ студентов из 47 вузов 36 городов РФ, Киргизии, КНР, Таджикистана, Узбекистана. На основании независимых рецензий жюри определило 107 работ, которые прошли во II тур. Им предстоит защищать свои работы на XXXIV школе-конференции молодых ученых в Казани.

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.

© Некоммерческое партнерство  
«Содействие химическому  
и экологическому образованию», 2024

Генеральный партнер XXXIV Менделеевского конкурса – ПАО СИБУР Холдинг

## История Казанского национального исследовательского технологического университета

Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ) был основан в 1890 году по повелению императора Александра III как Казанское промышленное училище – специализированное учебное заведение, нацеленное на подготовку кадров низшего и среднего уровня для фабрично-заводских производств. Особую роль в содержании образования в промышленном училище играли химия и механика – две крупные научно-образовательные области, остающиеся базовыми для КНИТУ и в наши дни.

Хорошая материально-техническая база училища, квалифицированный преподавательский состав, глубокая образовательная программа, ориентированная как на формирование у учеников основательной базы знаний, так и на приобретение конкретных практических умений и навыков, способствовали его быстрому качественному развитию: в 1919 году на его базе возникнет первый инженерный вуз на территории Татарстана – Казанский политехнический институт, в 1930 году на базе КПИ и химического отделения Казанского университета был создан Казанский химико-технологический институт (КХТИ), ставший в 1970–80-е гг. одним из четырех ведущих химико-технологических вузов СССР и в 1992 году преобразованный в Технологический университет.

На протяжении всего существования КНИТУ был и остается вузом, направленным на подготовку квалифицированных кадров для отечественной промышленности. В настоящее время КНИТУ стремится стать первым отраслевым университетом в области химической технологии – центром передового современного инженерного образования, фундаментальных и прикладных наук, работающим в тесной интеграции с представителями реального сектора экономики, способным к разработке решений полного технологического цикла, адекватных потребностям и задачам развития химической отрасли и оборонно-промышленного комплекса.

Сегодня КНИТУ – один из ведущих университетов России по подготовке высококвалифицированных инженерных кадров и проведению научных исследований в области нефтегазохимии, полимерной химии, специальной химии, он занимает увереные позиции в области машиностроения, нано- и биотехнологий, ИТ, автоматизации производства, легкой и пищевой промышленности, отраслевой экономики и др.

КНИТУ входит в рейтинг лучших университетов мира Times Higher Education World University (среди учтенных в рейтинге российских университетов – на 27 месте из 103), мировой рейтинг QS World University Rankings 2023 (среди российских вузов – 35 из 58), в рейтинг ведущих университетов мира Round University Ranking (46 из 115). В Московском международном рейтинге университетов «Три миссии университета» (2021) КНИТУ 1-й из 7 отечественных вузов в области технологии легкой промышленности, 3-й из 20 – по пищевым технологиям, 7-й из 20 в области химических технологий, 9-й из 20 – по биотехнологии и биоинженерии.

Число обучающихся в КНИТУ – более 20 тысяч (более 2 тыс. – иностранные граждане). Уровни образования в КНИТУ: основное общее (в Лицее-интернате для одаренных детей с углубленным изучением химии), среднее профессиональное (в Казанском технологическом колледже), высшее (в учебных институтах вуза) и дополнительное профессиональное (в Институте дополнительного профессионального образования).

КНИТУ располагает собственным проектным институтом – ПИ «Союзхимпромпроект», активно работающим с российскими и зарубежными заказчиками. Институт ведет экспертизу промышленной безопасности производственных объектов, разработку проектной документации, осуществляет функции генерального проектировщика.

В числе ключевых промышленных партнеров КНИТУ – ПАО «Газпром», ПАО «СИБУР Холдинг», АО «Аммоний», ИТ-компании ООО «РТСИМ» и ООО «Системные решения».

Университет участвует в реализации федеральных проектов «Приоритет 2030» (базовая и специальная часть гранта), «Передовые инженерные школы». В рамках реализации федеральной программы «Приоритет 2030» вуз реализует два стратегических проекта: «Обеспечение обороноспособности и безопасности российской экономики» и «Разработка и проектирование материалов, химических технологий и производств для новой экономики». Действующая в университете передовая инженерная школа «Промхимтех» специализируется на разработке промышленных химических технологий закрывающего типа, обеспечении устойчивости технологических цепочек компаний-партнеров, зависимых от продуктов малотоннажной химии, развитие существующих и создание новых высокотехнологичных компаний химической направленности.

Научная деятельность вуза представлена признанными научными школами, развивающими 15 научных направлений, которые отражают приоритетные направления развития науки, технологий и техники Российской Федерации. История науки в КНИТУ неразрывно связана с историей всемирно известной Казанской химической школы, основанной в 1830-е гг. Карлом Клаусом и Н.Н. Зининым. Здесь работали академики А.Е. и Б.А. Арбузовы, профессора Г.Х. Камай, А.Ф. Герасимов, А.Я. Богородский, Х.М. Муштари, В.С. Абрамов, И.Д. Адо, А.Д. Николаева и многие другие блестящие ученые и организаторы науки. Традиции науки и инженерного дела сохраняются и развиваются на кафедрах и в научных подразделениях КНИТУ.

КНИТУ по праву гордится своими воспитанниками, среди которых академик АН СССР В.В. Кафаров, члены-корреспонденты АН СССР и РТ П.А. Кирпичников, С.Р. Рафиков, И.В. Торгов, Б.М. Михайлов, Ю.С. Клячкин, лауреаты Ленинской и Государственной премий СССР, РФ и РТ, премии СМ СССР Л.М. Бейкин, С.Г. Богатырев, Р.С. Гайнутдинов, С.Н. Косолапов, В.Г. Шацилло, Г.К. Клименко, А.И. Сидоров, В.А. Шишkin, А.Г. Лиакумович, А.Д. Николаева, Х.Э. Харлампиди, В.Ф. Сопин, А.Ф. Махоткин, Г.С. Дьяконов и многие другие. В стенах университета работают крупные ученые, заслуженные деятели науки РФ и РТ, действительные члены и члены-корреспонденты академий наук Татарстана и России, которые способствуют росту престижа уже имеющихся и появлению новых научных школ.

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**

**СЕКЦИЯ  
«НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ»**

## СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОРТОФОСФАТОВ ЦЕРИЯ(IV)

**Студентка 4 курса Васильева Д.Н.**

Руководитель к.х.н. Козлова Т.О.

*Высшая школа экономики Факультет химии*

*dnavasileva\_1@edu.hse.ru*

Известные на сегодняшний день 14 соединений кристаллических ортофосфатов четырехвалентного церия (ОФЦ), за исключением  $\text{Ce}(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$ , характеризуются трехмерным структурным каркасом, в каналах которого могут находиться молекулы воды или положительно заряженные ионы. Особенности кристаллической структуры ОФЦ позволяют рассматривать их в качестве ионообменных материалов и сорбентов, в т.ч. радионуклидов, а наличие высоких показателей биосовместимости и фотопротекторной активности обуславливает их потенциальное применение в качестве УФ-фильтров.

Нашей целью стала разработка способа получения новых кристаллических ортофосфатов церия(IV) путем гидротермальной обработки церийфосфатных гелей в растворах электролитов, а также оценка практического потенциала этих соединений.

Было изучено влияние способа приготовления реакционной смеси, получающейся из церийфосфатного раствора и водного раствора электролита ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{RbOH}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{CsNO}_3$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  различных концентраций), на фазовый состав продуктов гидротермальной обработки. Показано, что в зависимости от размера катиона металла, входящего в состав прекурсора, продукты гидротермального синтеза кристаллизуются в различных структурных типах. Такой подход позволил получить новые соединения  $\text{Na}_2\text{Ce}(\text{PO}_4)_2 \cdot 0.55\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{KCe}_2(\text{PO}_4)_3$ .

На примере солей цезия и стронция был предложен способ иммобилизации катионов радиоактивных элементов в структуру ортофосфатов церия(IV) в ходе гидротермальной обработки церийфосфатных растворов в смеси с соответствующими радиоактивными растворами. Кристаллические ОФЦ слабо сорбируют радионуклиды. Изучение химической устойчивости ОФЦ, показало, что в ходе выдержки  $\text{Ce}(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$  в сильнощелочном растворе при комнатной температуре в течение 3 суток происходит полное разрушение его структуры с образованием рентгеноаморфной фазы с примесью монацита.

Впервые был проведен сравнительный анализ УФ-защитных свойств ортофосфатов церия (III и IV) и композитов  $\text{CePO}_4/\text{CeO}_2$ . Установлено, что ортофосфат церия(IV)  $\text{Ce}^{\text{IV}}(\text{PO}_4)(\text{HPO}_4)_{0.5}(\text{H}_2\text{O})_{0.5}$  предпочтителен для использования в солнцезащитных средствах в связи с его незначительным показателем фотокатализической активности и значением солнцезащитного фактора (2.9), сравнимым с нанокристаллическим диоксидом церия.

Показано, что новые соединения состава  $\text{KCe}_2(\text{PO}_4)_3$  и  $\text{Na}_2\text{Ce}(\text{PO}_4)_2 \cdot 0.55\text{H}_2\text{O}$  обладают близкими к  $\text{CeO}_2$  фотопротекторными свойствами, а соединение  $\text{NH}_4\text{Ce}_2(\text{PO}_4)_3$  наряду с ярко выраженным фотопротекторным эффектом проявляет цитотоксичность по отношению к клеткам меланомы мыши линии B16/F10.

# СИНТЕЗ, ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА ЦИКЛОМЕТАЛЛИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ Ru(II) С 1-БЕНЗИЛ-2-АРИЛ-5-МЕТИЛБЕНЗИМИДАЗОЛАМИ

**Студент 3 курса Верзун С.А.**

Руководители к.х.н. Долженко В.Д., асп. Лаврова М.А.

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

*stepan.verzun@mail.ru*

Полипиридиновые комплексы рутения(II) используются как сенсибилизаторы в ячейках Гретцеля, и благодаря высоким коэффициентам поглощения в видимом диапазоне, подходящим для работы ячейки окислительноновосстановительным потенциалам показывают наилучшие результаты. Однако стандартные красители, содержащие монодентатные изотиоцианатные лиганды, довольно лабильны, поэтому время функционирования ячейки недостаточно для их коммерческого использования. Для повышения устойчивости можно ввести в комплекс циклометаллированный фрагмент, но это приводит к ухудшению фотофизических характеристик комплексов. Поэтому актуальной задачей является разработка методов направленного изменения электронной структуры комплексов.

Ранее при исследовании комплексов рутения(II) с 1-фенил-2-арилбензимидазолами [1] мы выяснили, что при повышении донорности заместителя в арильном фрагменте бензимидазола появляется большой вклад внутрилигандного переноса с арильного фрагмента на акцепторный бензимидазольный фрагмент лиганда. Этот процесс является паразитным для работы ячейки, и в качестве способа решения проблемы мы предлагаем ввести в бензимидазольный фрагмент донорный заместитель –  $-\text{CH}_3$  группу.

Получены комплексы рутения(II) с 1-бензил-2-арил-5-метилбензимидазолами и диметиловым эфиром 4,4'-дикарбокси-2,2'-бипиридина (dmdcbp) и  $[\text{Ru}(\text{dmdcbp})_2\text{L}]^{\text{PF}_6^-}$ , где  $\text{L}$  = 1-фенил-2-(4-R-фенил)-5-метилбензимидазол ( $\text{R} = -\text{NO}_2$ ,  $-\text{H}$ ,  $-\text{NMe}_2$ ), 1-фенил-2-(3,4-R'-фенил)-5-метилбензимидазол ( $\text{R}' = -\text{OMe}$ ) [2].

Полученные лиганды и комплексы охарактеризованы ЯМР-спектроскопией и масс-спектрометрией. Исследовано оптическое поглощение, люминесценция, определены ОВП полученных комплексов, а также проведен рентгеноструктурный анализ монокристаллов некоторых из полученных комплексов. Оказалось, что внедрение донорных заместителей в арильный фрагмент приводит к багохромному сдвигу максимумов поглощения и испускания. Все полученные соединения проявляют фосфоресценцию в ближней ИК-области (800–950 нм), что подтверждено путем регистрации кривых затухания люминесценции при комнатной температуре и при 77 К.

Проведены квантово-химические расчеты соединений в газовой фазе, согласно которым НСМО комплексов преимущественно расположена на  $\text{N}^{\text{+}}\text{N}$ -лиганде. Вклад d-орбиталей рутения в ВЗМО с увеличением донорности заместителя уменьшается. При увеличении донорности заместителя в бензимидазольном фрагменте энергии ВЗМО и НСМО увеличиваются, но для НСМО это увеличение незначительно. Введение акцепторного заместителя ( $\text{NO}_2$ -группы) значительно увеличило ОВП комплекса.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.A. Lavrova, *Dalton Transactions*, **2020**, *49*, 46, 16935.
2. M.A. Lavrova, *Molecules*, **2023**, *28*, 18, 6541.

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ «КАРБИД ХРОМА – УГЛЕРОДНОЕ ВОЛОКНО»

**Студент 4 курса Грязнов А.Н., студент 4 курса Слесарев Д.С.**

Руководитель к.х.н. Долматов В.С.

*Мурманский арктический университет, Филиал в г. Апатиты*

*astagarnole@gmail.com*

Интерес исследователей к синтезу композитных материалов на основе углеродных волокон значительно вырос в последние десятилетия из-за их широкого применения в различных сферах деятельности – от строительства до аэрокосмической отрасли. Композиты «карбид тугоплавкого металла – углеродное волокно» обладают целым рядом уникальных свойств [1, 2]. Так, например, впервые были обнаружены электроактивные свойства композитов TaC/C, NbC/C и Mo<sub>2</sub>C/C, полученных электрохимическими методами в расплавленных солях [2, 3]. Продолжение исследований по получению композитных материалов, состоящих из карбидов других тугоплавких металлов V, VI группы периодической системы Д.И. Менделеева на поверхности углеродных волокон, является важной и актуальной работой. Поэтому целью данного исследования являлся электрохимический синтез карбида хрома в среде расплавленных солей на подложке из углеродных волокон марки Карбопон-В-22.

Для осаждения хрома на углеродную подложку был использован метод бестокового переноса [4] в среде расплавленной эквимолярной смеси NaCl–KCl, содержащей добавку 20 мас. % CrCl<sub>3</sub>, находящейся в контакте с металлическим хромом. Синтез карбидов хрома проводили при температурах 850 и 950 °C в течение 4–16 часов.

В зависимости от различных условий бестокового синтеза в расплавленных солях были получены различные смеси карбидов хрома на поверхности углеродных волокон, что подтверждалось данными рентгенофазового анализа. Исследование полученных композитных материалов было проведено также с помощью метода сканирующей электронной микроскопии.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Y.V. Stulov, V.S. Dolmatov, A.R. Dubrovskiy, S.A. Kuznetsov, *Coatings*, **2023**, *13*, 352.
2. V.S. Dolmatov, S.A. Kuznetsov. *Electrochim. Soc.* **2021**, *168*, 122501.
3. M.S. Romaniuk, V.S. Dolmatov, E.V. Kirillova, *ECS Trans.* **2022**, *109*, 257.
4. Н.Г. Илющенко, А.И. Анфиногенов, Н.И. Шуров. *Взаим. мет. в ионных расплавах*. Наука. **1991**, 176.

## КОМПЛЕКСЫ ЛАНТАНИДОВ С ПОЛИДЕНТАТНЫМИ N-ДОНОРНЫМИ ЛИГАНДАМИ

**Студентка 3 курса Дегтярева С.С.**

Руководитель к.х.н. Ройтерштейн Д.М.

*Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН*

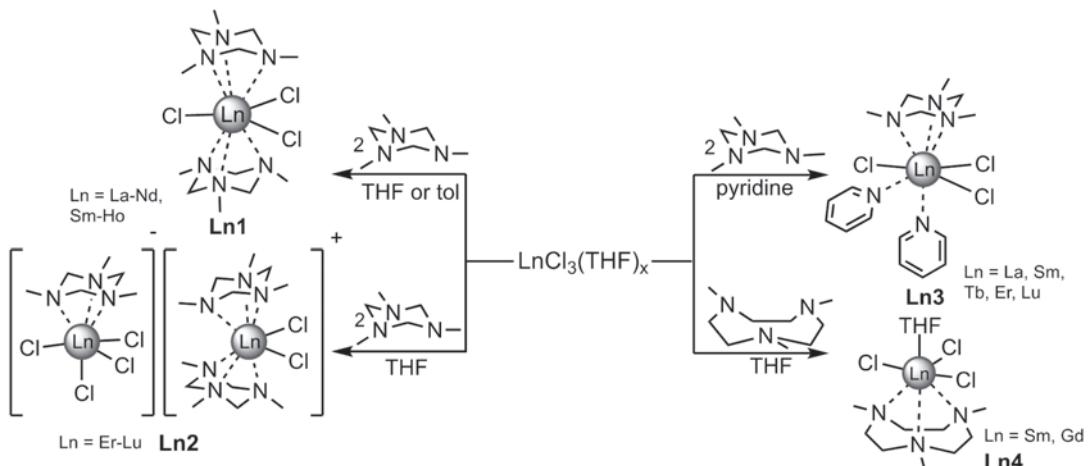
*Высшая школа экономики Факультет химии*

*ssdegtyareva@edu.hse.ru*

Координационные соединения лантанидов широко используются в катализе, в качестве контрастных веществ для МРТ, в дисплеях и молекулярных термометрах. В качестве предшественников в реакциях получения комплексов лантанидов с органическими лигандами чаще всего используются безводные галогениды лантанидов или их аддукты с тетрагидрофураном  $\text{LnHal}_3(\text{THF})_x$ . Однако низкая растворимость этих прекурсоров в органических растворителях сдерживает развитие химии лантанидов, поэтому в последнее время ведется активная работа по поиску новых исходных соединений для синтеза комплексов лантанидов.

Мы ожидали, что аддукты хлоридов редкоземельных элементов с полидентатными N-донорными лигандами будут обладать повышенной растворимостью в органических растворителях, поскольку введение этих лигандов в координационную сферу иона лантанида предотвращает ассоциацию и образование полиядерных комплексов, обладающих более низкой растворимостью.

Мы синтезировали ряд комплексов лантанидов с 1,3,5-триметил-1,3,5-триазациклононаном ( $\text{Me}_3\textrm{tach}$ ) и обнаружили большое разнообразие структур для комплексов различных лантанидов с  $\text{Me}_3\textrm{tach}$ . Хлориды лантанидов начала ряда образуют в ходе реакции с  $\text{Me}_3\textrm{tach}$  структуру сэндвичевого типа (**Ln1**), лантаниды же с голмия по лютейций (кроме туния) кристаллизуются в виде комплексной ионной пары (**Ln2**). При проведении реакции в пиридине образуются комплексы **Ln3**. В реакции хлоридов лантанидов с более стерически нагруженным лигандом 1,4,7-триметил-1,4,7-триазациклононаном были получены комплексы **Ln4**. Комpleксы **Ln1** хорошо растворимы в THF, толуоле и бензоле, но нерастворимы в алканах.



Высокая растворимость **Ln1** в некоординирующих растворителях открывает новые возможности для применения таких соединений в синтезе и в катализе. Кроме того, анализ люминесцентных свойств показал, что система  $[\text{LnCl}_3(\text{Me}_3\textrm{tach})_2]$  может быть перспективной для создания люминесцирующих соединений.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 22-13-00312).*

## ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ CeO<sub>2</sub> В ФОСФАТНЫХ БУФЕРНЫХ РАСТВОРАХ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ

**Студентка 2 курса Листова А.Л.**

Руководители к.х.н. Плахова Т.В., асп. Кузенкова А.С.

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

*alvovna@yandex.ru*

Диоксид церия является перспективным функциональным материалом в составе высокоэффективных электро- и фотокатализаторов. Быстрорастающий спрос на материалы на основе церия приводит к их попаданию и накоплению в окружающей среде [1]. Согласно [2] присутствие в окружающей среде растворимых фосфатов приводит к их взаимодействию с наночастицами CeO<sub>2</sub>. При этом структура, состав и свойства образующихся соединений мало изучены, также, как и механизмы их образования. Целью нашей работы стало исследование структуры и свойств продуктов переформирования наночастиц диоксида церия в фосфатных буферных растворах различного состава.

На первом этапе был проведён синтез наночастиц CeO<sub>2</sub>. Далее проводилась гидротермальная (ГТ) обработка наночастиц диоксида церия в 1 М натрий-, калий- и аммоний-фосфатных буферных растворах при pH~5 и pH~8 при T=150–200 °C. Продукты переформирования были охарактеризованы методами рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и спектроскопии рентгеновского поглощения вблизи L<sub>3</sub> края Ce (XANES).

Дифракционные картины образовавшихся твердых фаз в аммоний-фосфатных буферах при pH=4,6 и 7,3 схожи с известной в литературе структурой (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O [3]. По данным СЭМ образец имеет морфологию подушечек размером от 50 до 400 нм. При переформировании CeO<sub>2</sub> в калий-фосфатных буферах при разных значениях pH образовались двухфазные образцы, при этом доминирующая фаза изоструктурна (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O. Структуру примесной фазы на данный момент установить не удалось. На микрофотографиях образца, образовавшегося после ГТ обработки CeO<sub>2</sub> в калий-фосфатном буфере при pH=4,8, частицы имеют морфологию подушечек размером от 80 до 600 нм. При pH буфера 7,5 наблюдается образование тетрагональных бипирамид длиной от 2 до 8 мкм. Структуры твёрдых фаз, образовавшихся при переформировании CeO<sub>2</sub> в натрий-фосфатных буферах при pH=4,4 и 7,7, значительно отличаются от структуры (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ce(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O. Морфология продуктов переформирования при pH=4,4 представляет собой пластинчатые частицы размером от 0,2 до 0,6 мкм, а при pH=7,7 – усеченные гексагональные бипирамиды длиной от 0,2 до 4 мкм. По данным XANES во всех продуктах переформирования церий преимущественно остается в четырехвалентной форме.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. B. Giese, *Risks, Sci. Rep.*, **2018**, 8(1), 1565.
2. J.T. Dahle, *Chem.*, **2014**, 119, 1365.
3. M.A. Salvado, *Am. Chem. Soc.*, **2007**, 129(36), 10970.

## ГИБРИДНЫЕ АНИОНООБМЕННЫЕ МЕМБРАНЫ С ЧАСТИЦАМИ ФОСФАТОВ ЦЕРИЯ

**Студент 4 курса Манин А.Д.**

Руководитель академик Ярославцев А.Б.  
Высшая школа экономики Факультет химии  
*manin1609@mail.ru*

Одним из ключевых элементов электродиализных установок, используемых для опреснения воды, является анионообменная мембрана, от физико-химических свойств которой зависит КПД процесса [1]. Основными негативными факторами, приводящими к уменьшению эффективности этого процесса, является протекание осадкообразования в камерах концентрирования и отравление поверхности мембран. Первый фактор объясняется тем, что перенос анионов в системе пор и каналов осуществляется по электростатическому механизму, за счет чего поток многозарядных анионов, склонных к осадкообразованию, выше, чем однозарядных, особенно в растворах с небольшой концентрацией. Второе явление связано с протеканием процесса фаулинга за счет сорбции различных ПАВ и органических молекул на поверхности и в матрице мембраны, что приводит к блокировке ионогенных групп и увеличению сопротивления системы. Поэтому разработка материалов селективных к однозарядным ионам и устойчивых к действию внешних загрязнителей является актуальной задачей мембранный науки [1–3].

Путем варьирования времени и числа циклов обработки, концентрации прекурсоров, а также природы осадителя получена серия гибридных коммерческих анионообменных мембран с градиентным распределением фосфата церия по толщине. Введение в систему пор и каналов частиц фосфата церия приводит к значительному снижению проводимости в  $\text{Cl}^-$ -форме, обратный эффект наблюдался при изучении проводимости мембран в  $\text{SO}_4^{2-}$ -форме. Потенциометрические числа переноса гибридных мембран сильно зависят от метода получения допанта.

Внедрение фосфата церия в систему пор и каналов приводит к увеличению скорости селективного переноса ионов  $\text{Cl}^-$  относительно  $\text{SO}_4^{2-}$  как в разбавленных, так и в концентрированных растворах электролитов. При проведении процесса обессоливания в присутствии додецилбензосульфоната натрия уменьшение роста сопротивления системы наблюдалось только для гибридной мембраны на основе Neosepta® AMX.

Таким образом, посредством поверхностной модификации фосфатом церия(IV) получена серия гибридных мембран. Показано, что внедрение фосфата церия приводит к повышению селективности мембран по отношению к переносу однозарядных ионов, однако величина этого эффекта зависит от условий модификации и отличается для разбавленных и концентрированных растворов обессоливаемых электролитов. Показано, что посредством внедрения наночастиц неорганических допантов можно влиять на устойчивость мембран по отношению к сорбции ПАВ.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. P.Yu. Apel et al., *Memb. Membr. Technol.*, **2019**, 1, 45.
2. L.A. Sprague et al., *Environ. Sci. Technol.*, **2011**, 45, 7209.
3. G. Castaldo et al., *Environ. Sci. Technol.*, **2021**, 55, 2265.

## ЛЕГИРОВАНИЕ АЗОТОМ ПЛЕНОК ОКСИДА ГРАФЕНА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОВОДЯЩИХ СВОЙСТВ

**Студент 4 курса Митюшев Н.Д.**

Руководитель к.х.н. Баранов А.Н.

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

*nikita.mit55@gmail.com*

Из всего разнообразия 2D материалов, на основе которых можно изготавливать самые различные полупроводниковые устройства – транзисторы, фотодетекторы, сенсоры, мемристоры. – выделяется оксид графена. Его не сложно химически модифицировать за счет большого количества реакционноспособных кислородосодержащих функциональных групп. В нашей работе предложен способ изготовления пленок из спицых частиц оксида графена, проводимость которых можно варьировать в широких пределах путем легирования донорными атомами азота [1].

Синтез пленок включал в себя два этапа – 1) термическую обработку оксида графена, с целью дегидратации карбоксильных групп на концевых участках частиц и их последующего спшивания в латеральной плоскости, и 2) восстановление в присутствии фторид ионов, которые, встраиваясь в структуру углеродной решетки, препятствовали сращиванию частиц в поперечной плоскости. В качестве восстановителя выступал гидразин, варьирование концентрации которого регулировало отношение  $sp^2/sp^3$  углерода, а также количество азотных групп в составе сетки оксида графена.

С помощью оптических, SEM и TEM фотографий была оценена морфология полученных пленок, EDX картирование доказало равномерность встраиваемых атомов азота и фтора по всей площади пленки. С помощью КР, ИК и РФЭ спектроскопии было доказано изменение соотношения  $sp^2/sp^3$  углерода после термической обработки и восстановления, наличие связанных функциональных фторид азотсодержащих групп, а также динамика изменения состава функциональных групп пленок при варьировании концентрации гидразина на этапе гидротермального синтеза. С помощью вольтамперных характеристик была оценена проводимость полученных материалов и выявлено снижение проводимости при увеличении концентрации гидразина, что связано с увеличением донорных центров и уменьшением числа кислородосодержащих групп, являющихся акцепторными центрами.

Разработанная методика масштабируемого процесса получения прозрачных полупроводящих покрытий с возможностью контролируемого изменения проводимости материала, представляется нам перспективной для изготовления сенсоров, оптоэлектронных устройств и ячеек памяти.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. N. Mitiushev, E. Kabachkov, K. Laptinskiy, A. Firsov, G. Panin, A. Baranov, *ACS Applied Materials and Interfaces*, **2023**, 15, 45, 52853.

# ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО InVO<sub>4</sub> ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ NO<sub>2</sub> И ЕГО СРАВНЕНИЕ С V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> И In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

**Студент 4 курса Можаров Я.М.**

Руководитель доцент Марикуца А.В.

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

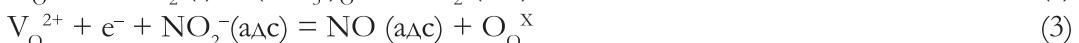
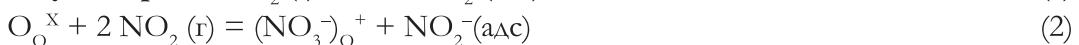
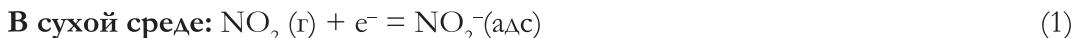
*yarik.mozh@gmail.com*

Полупроводниковые газовые сенсоры обладают высокой чувствительностью, стабильностью, дешевизной и простотой эксплуатации. Основная проблема полупроводниковых газовых сенсоров – недостаток селективности. Одним из возможных способов решения этой проблемы является переход к сенсорам на основе сложных оксидов металлов. Но газовая чувствительность многих полупроводниковых сложных оксидов пока остается не изученной. Цель нашей работы – определение влияния состава оксида на газовую чувствительность на примере V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и InVO<sub>4</sub> и определение механизма взаимодействия InVO<sub>4</sub> с NO<sub>2</sub> в сухой и влажной атмосфере.

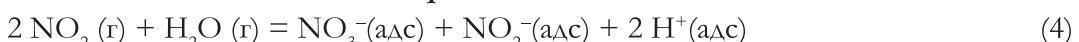
In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> был получен методом осаждения, а V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и InVO<sub>4</sub> гидротермальным методом. Средний размер кристаллитов полученных образцов составил от 20 до 50 нм, а удельная площадь поверхности – от 12 до 18 м<sup>2</sup>/г. Согласно результатам термопрограммируемого восстановления водородом и термопрограммируемой десорбции аммиака InVO<sub>4</sub> обладает большей окислительной способностью по сравнению In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и кислотностью поверхности меньше, чем у V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, но выше, чем у In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Нами были изготовлены сенсоры и проведены измерения газовой чувствительности для различных газов-восстановителей в сухой и для NO<sub>2</sub> в сухой и во влажной среде. Показано, что сенсор на основе InVO<sub>4</sub> обладает большей чувствительностью к газам-восстановителям, что связано с его большей окислительной способностью, более высоким сенсорным сигналом к NO<sub>2</sub> по сравнению с простыми оксидами, а также высокой селективностью к NO<sub>2</sub> при температуре 100–200 °C. Были проведены измерения газовой чувствительности на NO<sub>2</sub> во влажной среде. Показано, что сенсорный сигнал на NO<sub>2</sub> растет с увеличением влажности.

Механизм взаимодействия с NO<sub>2</sub> был исследован методом ИК-in-situ спектроскопии. Было установлено, что в In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и InVO<sub>4</sub> наблюдаются пики, соответствующие NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, а в InVO<sub>4</sub> дополнительно наблюдаются пики, соответствующие NO и NO<sub>2</sub>. Эти пики свидетельствуют о наличии дополнительного механизма, чем объясняется более высокая газовая чувствительность. Во влажной среде интенсивность пика NO<sub>2</sub><sup>-</sup> и одного из пиков NO<sub>3</sub><sup>-</sup> повышается, что свидетельствует о протекании реакции их образования с участием молекул воды, что обуславливает повышение чувствительности. Нами был предложен следующий механизм реакции:



**Дополнительно во влажной среде:**



*Работа выполнена при финансовой поддержкегранта РНФ № 22-73-10038.*

# СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ Dy(III) И Co(II) С АНИОНАМИ ЗАМЕЩЕННЫХ МАЛОНОВЫХ КИСЛОТ И N-ДОНОРНЫМИ ЛИГАНДАМИ

**Студентка 4 курса Новикова В.А.**

Руководитель к.х.н. Зорина-Тихонова Е.Н.

*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет  
Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН  
veronikanovikova02@mail.ru*

Координационные соединения привлекают интерес ученых благодаря своим уникальным свойствам и востребованности в разных сферах: от сорбентов и магнитных материалов до катализаторов различных реакций органического синтеза. Особенno интересны переключаемые или изменяемые магнитные свойства, когда при внешнем воздействии на образец меняется структура соединения, а вслед за ней и проявляемые магнитные свойства. Одним из удобных и доступных способов такой регулировки является реакция [2+2]-фотоциклоприсоединения, протекающая между двойными связями лиганда при облучении образца комплекса.

Целью нашей работы является синтез, изучение строения и свойств координационных соединений Co(II) и Dy(III) с анионами замещенных малоновых кислот и N-донорными лигандами (4,4'-бипиридилом (брю), 1,2-бис-(4-пиридил)этиленом (бре) и 1,2-бис-(4-пиридила)этаном (бра)).

Нами были получены координационные соединения Dy(III) с N-донорным лигандом бре и серией малоновых кислот: диэтилмалоновой ( $H_2Et_2Mal$ )  $[\{Dy(OAc)(Et_2Mal)\}\cdot bpe]_n$  (1), диметилмалоновой ( $H_2Me_2Mal$ )  $[Dy_2(H_2O)_2(OAc)_2(Me_2Mal)_2(bre)]_n$  (2) и малоновой ( $H_2Mal$ )  $(Hbre)^+[Dy(H_2O)_4(Mal)]_2\cdot 2.25H_2O$  (3) (Рисунок).



**Рис.** Координационное соединение (3)

Мы исследовали магнитные свойства комплексов, содержащих Co(II). Были получены координационные полимеры с анионами циннамилиденмалоновой кислоты ( $H_2CinAm$ ) с серией N-донорных лигандов  $[Co(H_2O)(bpa)(CinAm)]_n$  (4),  $[Co(H_2O)(bre)(CinAm)]_n$  (5) и  $\{[Co(H_2O)(bpy)(CinAm)]\cdot H_2O\cdot DMFA\cdot MeCN\}_n$  (6). С бру также был получен комплекс аллилмалоновой кислотой ( $H_2Amal$ )  $[Co_2(H_2O)_2(Amal)_2(bpy)]_n$  (7), в случае бре с бензилмалоновой кислотой ( $H_2BzMal$ )  $\{[Co(H_2O)(bre)(BzMal)]\cdot H_2O\cdot MeCN\}_n$  (8). Была исследована возможность протекания реакции [2+2]-фотоциклоприсоединения для полученных полимеров. Исследованы магнитные свойства (1) и (6).

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ПОЛУЧЕНИЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(II)

**Студентка 2 курса Панина М.В.**

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

*maaria381@gmail.com*

Комплексные соединения металлов платиновой группы используются в качестве гомогенных катализаторов [1], и как предшественники нанесенных катализаторов [2].

Однако получение молекулярных карбоксилатных комплексов платины(II) сопряжено с рядом синтетических сложностей, поскольку кажущийся наиболее возможным источник платины – кристаллический ацетат платины  $[\text{Pt}_4(\text{OOCMe})_8]$  — крайне малореакционноспособное соединение. Поэтому для получения карбоксилатных производных платины(II) применяют различные обходные синтетические схемы. Так, для синтеза моноядерных карбоксилатных комплексов сmono- и бидентатными азотсодержащими лигандами используют много-дневные реакции обмена атомов хлора из хлоридных производных платины(II) с карбоксилат-анионами солей серебра, что, однако, не дает хорошего выхода продукта. В связи с этим нами была разработана методика, позволяющая нарабатывать молекулярные карбоксилаты платины(II) в макропод количествах.

Было установлено, что комплекс  $[\text{PtPy}_2](\text{OOCMe})_2$  в ходе термического распада или в расплавах карбоновых кислот образует молекулярные карбоксилатные комплексы платины(II) общей структурной формулы  $\text{trans}[\text{Py}_2\text{Pt}(\text{OOCR})_2]$  ( $\text{R} = \text{Me}, \text{'Bu}, \text{Ph}$ ) (рис. 1).

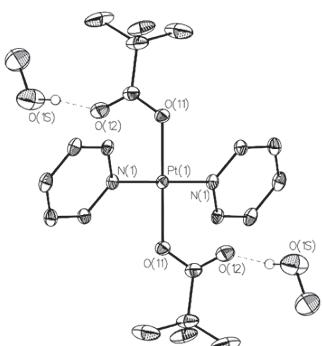


Рис. 1. Молекулярная структура  $[\text{PtPy}_2(\text{OOCCH}_3)_2] \cdot 2\text{MeOH}$

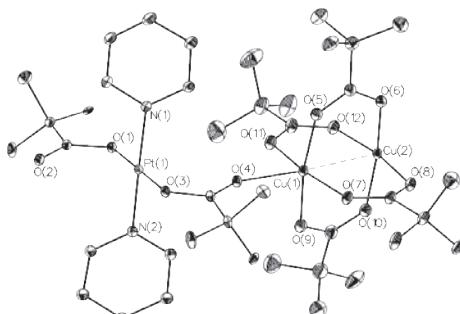


Рис. 2. Молекулярная структура  $\{\text{Py}_2\text{Pt}(\mu-\text{OOCCH}_3)_2\text{Cu}_2(\mu-\text{OOCCH}_3)_4\}_n$

Эти соединения способны вступать в реакции с карбоксилатами других металлов, образуя гетерометаллические карбоксилатно-мостиковые полиядерные системы, что было показано на примере комплекса  $\{\text{Py}_2\text{Pt}(\mu-\text{OOCBu})_2\text{Cu}_2(\mu-\text{OOCBu})_4\}_n$  (рис. 2).

### ЛИТЕРАТУРА

- Y. Hu, C. Wang, *Acta Phys. Chim. Sinica*, **2019**, 35, 9.
- S. Wang, D. Zhang, Y. Ma et al, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2014**, 6, 15.

# СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МУЛЬТИЭЛЕМЕНТНЫХ ПИРОХЛОРОВ НА ОСНОВЕ ТАНТАЛАТА И НИОБАТА ВИСМУТА

**Студентка 4 курса Паршукова К.Н.**

**Студентка 1 курса магистратуры Баданина К.А.**

Руководитель к.х.н. Жук Н.А.

*Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина  
Kristinaparshukova17@gmail.com*

Синтетические пирохлоры на протяжении нескольких десятков лет являются предметом особого внимания ученых из-за широкого спектра практически полезных свойств, варьируемых в зависимости от химического состава соединений. Пирохлоры известны не только как катализаторы, ионные и сверхпроводники, они обладают электрооптическими и пьезоэлектрическими свойствами. Толерантность кристаллической структуры к вакансиям в анионной и катионной подрешетках позволяет варьировать химический состав и получать соединения с различными физикохимическими свойствами. Сравнительно невысокая температура синтеза висмутсодержащих пирохлоров, превосходные диэлектрические свойства и химическая инертность по отношению к Ag-электродам делает их перспективными материалами для изготовления многослойных керамических конденсаторов, электронных компонентов и устройств для СВЧ-диапазона, фотокатализаторов. В связи с этим нахождение закономерностей в триаде состав-структура-свойство, синтез новых пирохлоров и исследование их свойств является весьма актуальной задачей.

В настоящей работе впервые были получены мультиэлементные пирохлоры (пр.гр.  $Fd\text{-}3m$ ) на основе танталата и ниобата висмута, содержащие в эквимолярных количествах атомы 3d-элементов. Выявлено, что реакция синтеза пирохлора заданного состава заключается в высокотемпературном взаимодействии ортониобата висмута  $\text{BiNbO}_4$  (ортотанталата висмута  $\text{BiTaO}_4$ , соответственно) с оксидами переходных элементов. Длительность прокаливания не влияет на фазовый состав, но меняет количественные соотношения промежуточных фаз в образцах. Показано, что исключить примесную фазу ортотанталата или ортониобата висмута возможно путем создания вакансий в подрешетке висмута на величину, пропорциональную содержанию примеси. Процессы фазообразования изучены на примере образцов  $\text{Bi}_2\text{Cr}_{1/6}\text{Mn}_{1/6}\text{Fe}_{1/6}\text{Co}_{1/6}\text{Cu}_{1/6}\text{Ni}_{1/6}\text{Nb}_2\text{O}_{9+\Delta}$ ;  $\text{Bi}_{2-1/3}\text{Cr}_{1/6}\text{Mn}_{1/6}\text{Fe}_{1/6}\text{Co}_{1/6}\text{Ni}_{1/6}\text{Cu}_{1/6}\text{Ta}_2\text{O}_{9+\Delta}$  и  $\text{Bi}_2\text{Cr}_{1/2}\text{Co}_{1/2}\text{Nb}_2\text{O}_{9+\Delta}$ .

Детально изучены оптические и электрические свойства сложного пирохлора  $\text{Bi}_{2-1/3}\text{Cr}_{1/6}\text{Mn}_{1/6}\text{Fe}_{1/6}\text{Co}_{1/6}\text{Ni}_{1/6}\text{Cu}_{1/6}\text{Ta}_2\text{O}_{9+\Delta}$ . Результаты исследований открывают перспективу целенаправленной химической сборки сложных мультиэлементных соединений, перспективных в качестве диэлектрических материалов, фотокатализаторов, элементов солнечных батарей.

# ПОИСК УСЛОВИЙ УПОРЯДОЧЕНИЯ ПОРИСТЫХ ПЛЕНОК АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ В СМЕСИ СЕРНОЙ И ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТ

**Студент 2 курса Пизин М.М.**

Руководитель к.х.н. Росляков И.В.

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

*pizinmm@my.msu.ru*

Пористые плёнки анодного оксида алюминия (АОА), получаемые электрохимическим окислением в растворах кислот, применяются в изготовлении электронных, магнитных, фотонных и биосенсорных устройств. Структура АOA состоит из цилиндрических пор заданного размера, которые формируют гексагональный массив. Упорядоченные структуры получаются лишь в узком диапазоне напряжений анодирования, а получаемые параметры строго определены. Для получения плёнок АOA с промежуточными параметрами, можно использовать смесь кислот, например серной и щавелевой [1]. Целью работы является направленный поиск условий упорядочения системы пор анодного оксида алюминия, полученного в смеси серной и щавелевой кислот для создания малодефектных пористых структур.

Для того, чтобы определить природу лимитирующей стадии анодного окисления алюминия было проведено исследование электрохимических аспектов методом линейной вольтамперометрии в растворах электролитов на основе смесей серной и щавелевой кислот ( $0,03 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,3 \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  и  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,3 \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) и определены границы кинетического и диффузионного режимов анодирования.

Зависимости плотности тока от напряжения имеют несколько характерных участков. Кривые совпадают при напряжениях ниже 35 В и расходятся при более высоких. Выше 80 В плотность тока плавно уменьшается несмотря на увеличение напряжения. При этом обратная плотность тока линейно зависит от толщины АOA при толщинах больше 100 мкм. Этим значениям толщины соответствуют значения напряжений 80 В и выше. При этих напряжениях анодирование происходит в диффузионном режиме. Промежуточные напряжения (35 В – 80 В) соответствуют смешанному режиму формирования анодного оксида алюминия.

С помощью растровой электронной микроскопии с последующей статистической обработкой полученных результатов на примере электролита состава  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,3 \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  показано формирование упорядоченной упаковки каналов в структуре АOA с долей пор в гексагональном окружении более 80 % при напряжении 32 В и в диапазоне 80÷95 В, что согласуется с верхней границей кинетического режима и диффузионным режимом по данным АВА, соответственно.

В указанном электролите в диффузионном режиме при напряжении от 80 до 95 В показано формирование упорядоченной пористой структуры с периодом 113÷130 нм. Дальнейшее увеличение напряжения анодирования в электролите  $0,1 \text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,3 \text{ M H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  до 100–140 В позволит получать упорядоченные пористые пленки анодного оксида алюминия с периодом в диапазоне 140–210 нм, которые в настоящее время не упоминаются в литературе.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.A. Kashi et al., *Japanese Journal of Applied Physics*. **2010**, 015202.
2. И.В. Росляков. *Диссертация кандидата химических наук. 2015*.

**КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ  
НИТРАТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
С N,N-ДИМЕТИЛАЦЕТАМИДОМ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА,  
СВОЙСТВА**

**Студент З курса Полухин М.С.**

Руководитель к.х.н. Караваев И.А.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*  
*polukhin.max2019@yandex.ru*

Получение оксидов редкоземельных элементов (РЗЭ) в мелкодисперсном, особенно в наноразмерном состоянии представляет большой интерес для фундаментальной химии и для технологии, поскольку они имеют важное значение при синтезе различных функциональных материалов: люминофоров, катализаторов, полупроводниковых материалов, защитных покрытий.

Одним из методов получения мелкодисперсных и наноразмерных оксидов редкоземельных элементов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в модификации «горения растворов». Особенностью метода является одновременное присутствие в молекуле соединения, подвергаемого термолизу, как окислителя, так и восстановителя (органическое топливо), что является предпосылкой для протекания внутримолекулярной окислительно-восстановительной реакции. Роль окислителя зачастую играют нитраты металлов, в частности нитраты РЗЭ. В качестве восстановителей обычно используют карбамид и некоторые другие амиды [1, 2]. Однако в литературе имеется очень мало данных о составе и строении промежуточных продуктов, образующихся в соответствующих системах.

В нашей работе представлены условия синтеза, выделения и идентификации координационных соединений, формирующихся в системах  $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3\text{--DMAA--H}_2\text{O}$  (где DMAA = N,N-диметилацетамид), как прекурсоров для получения наноразмерных оксидов РЗЭ, а также изучение продуктов термолиза выделенных комплексных соединений. Совокупностью современных физико-химических методов анализа, таких как CHN-анализ, комплексонометрическое титрование, рентгенофазовый анализ, ИК-спектроскопия, рентгеноструктурный анализ были изучены фазовый и химический состав, молекулярная и кристаллическая структура некоторых выделенных продуктов кристаллизации. Методами термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии удалось определить пути горения некоторых координационных соединений. Совокупностью термогравиметрии и рентгенофазового анализа установлено, что конечными продуктами термолиза являются оксиды. Методом просвечивающей электронной микроскопии определены размеры блоков, которые варьируются от 50 до 200 нм. Удельная площадь поверхности была определена для  $\text{La}_2\text{O}_3$  ( $18,80 \text{ м}^2/\text{г}$ ),  $\text{CeO}_2$  ( $65,15 \text{ м}^2/\text{г}$ ),  $\text{Sm}_2\text{O}_3$  ( $3,47 \text{ м}^2/\text{г}$ ) на основании теории БЭТ.

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. E.V. Savinkina, *Inorg. Chim. Acta*, **2022**, 532, 120759.
2. E.V. Savinkina, *Polyhedron*, **2020**, 192, 114875.

# МЕТОДЫ КЛИК-ХИМИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КЛОЗО-ДОДЕКАБОРАТНОГО АНИОНА АМИДИНОВОГО ТИПА

**Студентка 2 курса Рябчикова М.Н.**

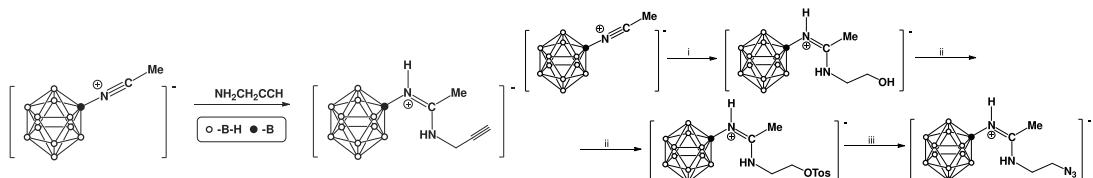
Руководитель к.х.н. Нелюбин А.В.

Высшая школа экономики Факультет химии

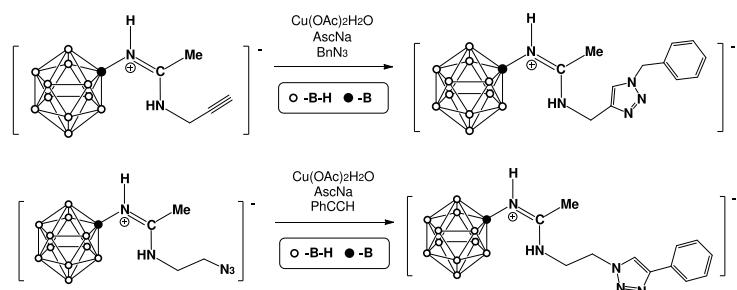
*ryabchikovaarita@gmail.com*

<sup>10</sup>B-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) представляет собой перспективный метод лечения опухолей, основанный на разрушении клеток, в которых селективно накапливается борсодержащий препарат. Метод клик-реакций используется для поиска новых препаратов. Нашей целью стали разработка эффективного метода получения производных кластерных анионов бора, содержащих алкиновый и азидный фрагменты, и изучение модельных клик-реакций с их участием.

Наиболее удобный метод получения новых производных *клозо*-боратных анионов – модификация предварительно введённого заместителя, в частности нитрилиевого [1].



**Рис. 1.** Схема синтеза алкиновой компоненты; азидо-компоненты; i –  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ; ii –  $\text{TosCl}, \text{Et}_3\text{N}$ ; iii –  $\text{NaN}_3$



**Рис. 2.** Схема клик-реакции для алкиновой и азидной компонент

Показано, что производные *клозо*-додекаборатного аниона, содержащие азидный и терминальный алкиновый фрагмент, легко вступают в реакции азид-алкинового присоединения с количественными выходами. Синтезированные анионы обладают зарядом 1–, что отличает их от аналогов. Это позволяет упростить процесс синтеза, так как исключается возможность образования солей со смешанным катионным составом. Также это позволяет уменьшить ионную силу растворов данных соединений, что снижает нежелательное воздействие на сердечно-сосудистую систему пациента.

Все полученные производные охарактеризованы с использованием мультиядерной ЯМР и ИК-спектроскопии и ESI-HRMS. Строение ряда производных подтверждено РСА. Чистота полученных соединений подтверждена с помощью ВЭЖХ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. A.V. Nelyubin et al., *Int. J. of Molecular Sciences*, **2021**, *22*, 24, 13391.

## СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ ПИВАЛАТОВ РЗЭ С ТРИЭТАНОЛАМИНОМ

**Студентка 4 курса Сабитова И.А.**

Руководитель к.х.н. Цымбаренко Д.М.

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

*i\_sabitova@yahoo.com*

Измерение температуры с помощью люминесценции, по сравнению с традиционными методами, обладает рядом преимуществ: быстрым откликом, возможностью работы с наноразмерными объектами. Однако большинство люминесцентных термометров основано на измерении температурной зависимости интенсивности люминесценции одного перехода, из-за чего на точность измерений может влиять, например, концентрация датчика. Применение смешанно-металлических европий-тербийевых комплексов позволяет решить эту проблему, поскольку для регистрации сигнала используют отношение интенсивностей переходов двух металлов.

В нашей работе по реакции пивалатов РЗЭ  $[\text{Ln}(\text{Piv})_3]$ , предварительно полученных по известной методике [1], с триэтаноламином ( $\text{TeaH}_3^-$ ) в ацетонитриле синтезированы разнолигандные комплексы. По результатам РСА, РФА, ТГА, CHN-анализа, ИСП-МС и ИК-спектроскопии полученные монометаллические и европий-тербийевые комплексы соответствуют двум общим формулам  $[\text{Ln}_2(\text{TeaH}_2)(\text{TeaH}_3)_5(\text{Piv})_5] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{CH}_3\text{CN}$  (**Eu**, **EuTb0<sub>2</sub>**) и  $[\text{Ln}_2(\text{TeaH}_2)_2(\text{Piv})_4]$  (**Gd**, **Tb**, **EuTb19**, **EuTb68**, **EuTb85**, **EuTb95**). Интересно, что в полученных соединениях триэтаноламин выступает в качестве хелатно-мостикового анионного лиганда  $\text{TeaH}_2^-$ .

Методами ТГА и терморентгенографии установлены пути процессов разложения для комплексов  $[\text{Ln}_2(\text{TeaH}_2)(\text{TeaH}_3)(\text{Piv})_5] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{CH}_3\text{CN}$  и  $[\text{Ln}_2(\text{TeaH}_2)_2(\text{Piv})_4]$ . При нагревании для обоих структурных типов характерно протекание реакции гидролиза ( $\text{TeaH}_2^- + \text{H}_2\text{O} = \text{TeaH}_3^- + \text{OH}^-$ ) с последующим отщеплением молекул триэтаноламина. Изучение люминесцентных свойств соединений европия, тербия и их смешанно-металлических комплексов в диапазоне температур от 25 °C до 300 °C позволило установить зависимость изменения интенсивности люминесценции ионов РЗЭ от стадий разложения веществ.

Изучение люминесцентных свойств для комплекса **Eu** позволило установить зависимость интенсивности люминесценции перехода  $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$  от наличия в структуре молекул  $\text{CH}_3\text{CN}$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Для смешанно-металлических комплексов **EuTb19**-**EuTb95** при 190–200 °C наблюдается резкое изменение отношения абсолютных интенсивностей полос люминесценции европия ( $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_2$ ) и тербия ( $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_5$ ). Резкое изменение интенсивностей люминесценции в данных комплексах связано с необратимым отщеплением лиганда  $\text{TeaH}_3^-$ . При нагревании до 300 °C происходит полное затухание люминесценции во всех соединениях, что, вероятно, связано с температурным и концентрационным тушением.

Таким образом, полученные смешанно-металлические комплексы европия и тербия могут быть использованы в качестве одноразовых температурных люминесцентных сенсоров.

### ЛИТЕРАТУРА

1. D. Tsymparenko, et al, *J. Solid State Chem.*, **2018**, 258, 876.

**КОМПЛЕКСЫ Zn(II) И Mg(II) С НИТРОЗАМЕЩЕННЫМИ  
ФТАЛОЦИАНИНАМИ: СИНТЕЗ, ИССЛЕДОВАНИЕ  
И ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО ОТКЛИКА  
НА N-ДОНОРНЫЕ ЛИГАНДЫ**

**Студент 4 курса Сарвин И.А.**

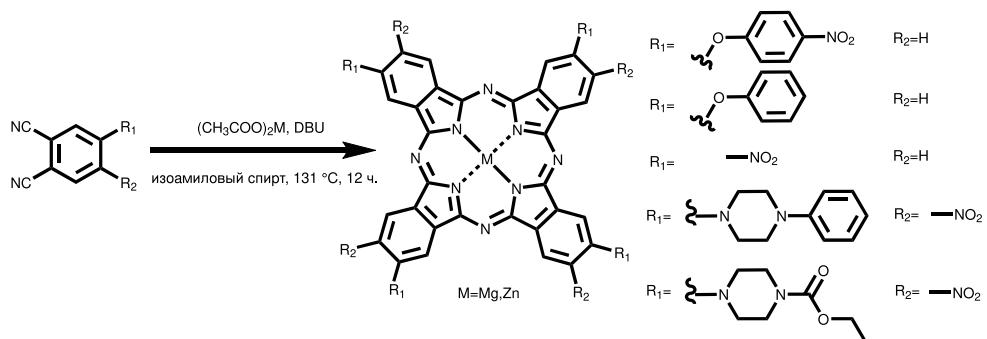
Руководитель к.х.н. Ерзунов Д.А.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*sarvin2002@mail.ru*

Цель нашего исследования – получение комплексов магния и цинка с фталоцианиновыми лигандами, содержащими в своем составе нитрогруппы (схема), и исследование спектральных и фотофизическими характеристик полученных комплексов, а также их агрегационного поведения в различных средах.

Изучение влияния нитрогруппы на свойства фталоцианинатов цинка и магния проводилось путем выявления физико-химических характеристик при введении мостикового заместителя между нитрогруппой и макроциклом, а также при введении дополнительных заместителей во фталоцианиновую структуру. Пиперазин-содержащие комплексы могут быть использованы далее за счет их модификации.



**Схема.** Путь синтеза фталоцианинатов

Нами получены 10 комплексов с различными фталоцианиновыми лигандами, четыре из которых были синтезированы впервые. Показано, что тетранитрозамещенные фталоцианинаты цинка и магния имеют тенденцию к агрегации в органических средах, что выражается в расщеплении Q-полосы поглощения. Кроме того, расщепление характеризует различие в максимумах поглощения региоизомеров в смеси двух форм металлофталоцианинатов в зависимости от конформации нитрогруппы. При введении мостикового заместителя тенденция к агрегации соединений в растворе снижается. При сравнении фотофизических характеристик выяснено, что в ряду фенокси- – нитрофенокси- – нитро- замещенных комплексов фотофизические величины уменьшаются. Отмечено, что наличие ароматического заместителя у пиперазинового фрагмента вызывает затухание флуоресценции почти до нуля, тогда как при наличии сложноэфирного фрагмента фиксируются высокие значения фотофизических параметров металлофталоцианинов.

*Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 22-73-10158.*

# НОВЫЕ ОКТАЭДРИЧЕСКИЕ МЕТОКСИДНЫЕ КЛАСТЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РЕНИЯ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПРЕКУРСОРЫ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ЛИГАНДНОГО ОКРУЖЕНИЯ

**Студент 4 курса Сибиряков М.С.**

Руководитель д.х.н. Брылев К.А.

*Новосибирский национальный исследовательский университет,  
Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН*  
*M.sibiryakov@gs.nsu.ru*

Гексарениевые октаэдрические комплексы с кластерным ядром  $\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}^{2+/3+}$  ( $\text{Q} = \text{S}$  или  $\text{Se}$ ), фосфоресцирующие в красной области спектра, потенциально могут применяться в фотодинамической терапии, в катализе, как компоненты люминесцентных материалов, биовизуализаторы и рентгеноконтрастные агенты. Их общая формула –  $[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}\text{L}_6]^{n-}$ , где  $\text{L}$  – органические или неорганические внешние (апикальные) лиганды. Кластерное ядро является относительно инертной частью комплекса, однако апикальные лиганды могут быть замещены или модифицированы в ходе различных химических реакций. Эта особенность делает возможным не только получение новых кластерных соединений посредством реакций лигандного обмена, но и позволяет оказывать влияние на их физико-химические свойства.

Ранее были синтезированы халькогидроксокомплексы  $[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}(\text{OH})_6]^{4-}$  ( $\text{Q} = \text{S}$  или  $\text{Se}$ ), которые оказались удобными прекурсорами для проведения реакций лигандного обмена [1-3]. Из-за нерастворимости гидроксокомплексов в традиционных органических растворителях реакции лигандного обмена проводились в водных растворах, либо в расплавах органических пролигандов. Нами было найдено, что халькогидроксокомплексы при комнатной температуре медленно растворяются в метаноле, и при этом происходит замещение  $\text{OH}^-$  лигандов на  $\text{MeO}^-$ . Была получена серия соединений  $[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}(\text{MeOH})_n(\text{MeO})_{6-n}]^{n-4}$  ( $n = 0, 2, 4$  или  $6$  для  $\text{Q} = \text{S}$ ;  $n = 0$  или  $4$  для  $\text{Q} = \text{Se}$ ). Мы показали, что при кипячении метанольного раствора  $[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}(\text{MeO})_6]^{4-}$  с  $\text{PPh}_3$  образуются соединения состава  $[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}(\text{PPh}_3)_4(\text{MeO})_2]$ .

В результате работы было получено 7 новых кластерных комплексов рения, 6 из которых охарактеризованы методом РСА. Для всех соединений были записаны спектры люминесценции, для  $\text{K}_4[\{\text{Re}_6\text{Q}_8\}(\text{MeO})_6] \cdot 6\text{MeOH}$  были определены квантовые выходы. Продемонстрирована возможность замещения  $\text{MeO}^-$  лигандов, что делает возможным использование метоксидных комплексов в качестве прекурсоров для растворных реакций лигандного обмена в органических растворителях.

*Работа поддержанна РНФ (проект № 19-73-20196-П).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.A. Shestopalov, K.A. Zubareva, O.P. Khripko, Y.I. Khripko, A.O. Solovieva, N.V. Kuratieva, Y.V. Mironov, N. Kitamura, V.E Fedorov, K.A Brylev, *Inorg. Chem.*, **2014**, 53, 9006.
2. S. Cordier, Y. Molard, K.A. Brylev, Y.V. Mironov, F. Grasset, B. Fabre, N.G. Naumov, *J. Cluster Sci.*, **2015**, 26, 53.
3. K.A. Brylev, B.S. Akhmadeev, J.G. Elistratova, I.R. Nizameev, A.T. Gubaidullin, K.V. Kholin, I.V. Kashnik, N. Kitamura, S-J. Kim, Y.V. Mironov, A.R. Mustafina, *Inorg. Chem.*, **2019**, 58, 15889.

**СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ  
СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ  $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$  ( $x = 0.5, 1.0, 1.5$ )  
КАК КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ТОТЭ**

**Студентка 4 курса Соболь М.Е.**

Руководитель доцент Киселев Е.А.

*Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина*

*Sobol2709@mail.ru*

Материалами, применяемыми в качестве катода твёрдооксидных топливных элементов (ТОТЭ), могут служить сложные оксиды  $\text{Ln}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  со структурой типа  $\text{K}_2\text{NiF}_4$ . Для оценки эффективности работы электродного материала используют величину поляризационного сопротивления  $R_p$ , которое должно быть минимальным.

Наименьшее значение  $R_p$  было получено для  $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  (в симметричных ячейках на основе  $\text{Zr}_{2-x}\text{Y}_x\text{O}_{2-\delta}$ ) [1–2]. Его высокая электрохимическая активность может быть отчасти обусловлена метастабильностью при температурах ниже 850 °C [3–4]. При  $T \leq 900$  °C  $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  разлагается на фазы  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ ,  $\text{PrNiO}_{3-\delta}$  и  $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$ , при этом при 700–800 °C значительно возрастает доля  $\text{Pr}_4\text{Ni}_3\text{O}_{10+\delta}$  [3]. Никелат лантана  $\text{La}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  термодинамически стабилен на воздухе [4]. Для повышения устойчивости  $\text{Pr}_2\text{NiO}_{4+\delta}$  осуществляется замещение празеодима лантаном. Стабилизации фаз  $\text{Pr}_{2-x}(\text{La}/\text{Nd})_x\text{NiO}_{4+\delta}$  на воздухе при умеренных температурах удалось достичь при концентрации  $x = 1,5$  [5–6].

Поэтому целями нашей работы стали синтез новых сложных оксидов  $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$  ( $x = 0.5, 1.0, 1.5$ ), изучение кристаллической структуры, электрических свойств и оценка перспективности их применения в качестве катодов среднетемпературных ТОТЭ.

В ходе выполнения работы установлено, что сложные оксиды  $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$  ( $x = 0.5, 1.0$ ) однофазны при 900 °C на воздухе и имеют тетрагональную структуру типа  $\text{K}_2\text{NiF}_4$ , пр. гр. *I4/mmm*. Измерены температурные зависимости общей электропроводности и коэффициентов Зеебека для  $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$  ( $x=0.5, 1.0, 1.5$ ): максимальное значение общей электропроводности составило 96,39 См/см при 450 °C для  $x = 1,5$ ; электроперенос осуществляется преимущественно электронными дырками по прыжковому механизму с энергиями активации  $\sim 20$  кДж/моль. Увеличение содержания празеодима ( $x$ ) в  $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$  уменьшает поляризационное сопротивление, величина которого составила 0,07 Ом см<sup>2</sup> ( $x = 0,5$ ), 0,05 Ом см<sup>2</sup> ( $x = 1$ ) и 0,03 Ом см<sup>2</sup> ( $x = 1,5$ ) Ом см<sup>2</sup> при 800 °C в симметричной ячейке на основе SDC. Поэтому данные материалы перспективны в качестве катодов среднетемпературных ТОТЭ.

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. J.C. Grenier, F. Mauvy, C. Lalanne et al., *ECS Trans.*, **2009**, 25 (2), 2537
2. F. Mauvy, C. Lalanne, J.M. Bassat et al., *J. Eur. Ceram.*, **2005**, 25, 2669
3. A.V. Kovalevsky, V.V. Kharton et al., *J. Electroceram.* **2007**, 18, 205.
4. V. Vibhu, J.-M. Bassat, A. Flura, et al., *ECS Transactions*, **2015**, 68, 825.
5. A.P. Tarutin, J.G. Lyagaeva, D.A. Medvedev et al., *J. Mater. Chem. A* **9**, **2021**, 154.
6. E. Dogdibegovic, Q. Cai, N. S. Alabri, et al., *J. Electrochem. Soc.*, **2016**, 164, F99.

## СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И КАТАЛИТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЯДЕРНЫХ ГЕТЕРОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ

**Студент 3 курса Сосунов Е.А.**

Руководитель профессор Якушев И.А.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева*  
*boulderax159@gmail.com*

Гетерометаллические карбоксилатные комплексы платины представляют широкий интерес в связи с возможностью применения в различных отраслях промышленности и тонкого органического синтеза в качестве предшественников нанесенных катализаторов. Основным преимуществом гетерометаллических комплексов платины с атомом дополнительного металла является отсутствие трудноудаляемых лигандов, что позволяет проводить восстановительный термолиз в мягких условиях. Ранее были получены биметаллические карбоксилатные комплексы платины, которые использовались в качестве предшественников нанесенных катализаторов [1] и как гомогенные катализаторы [2].

Наша работа посвящена подходам к синтезу и изучению каталитической активности различных полиметаллических комплексов платины, обладающих структурой «китайского фонарика». При реакции комплекса  $\text{Pt}(\text{OAc})_4\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})$  с 2,2'-бипиридином образуется соединение  $(\text{OAc})\text{Pt}(\text{OAc})_3\text{Cu}(\text{bipy})$  (**1**) (рис. 1), которое показало активность в качестве гомогенного катализатора в реакции окисления дифенилацетиlena перекисью водорода. В этой реакции на первом этапе происходит образование бензила, который в последствии окисляется с разрывом связи C–C до бензойной кислоты.

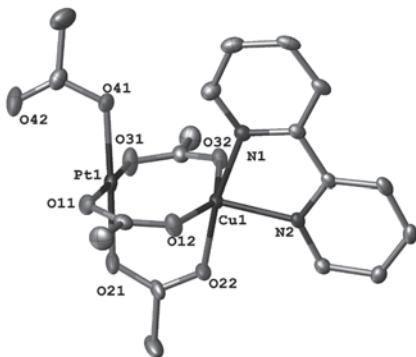


Рис. 1. Молекулярная структура 1

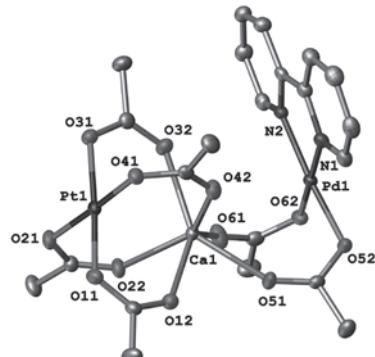


Рис. 2. Молекулярная структура 2

Другим объектом исследования стало исследование химических свойств биметаллического комплекса  $\text{Pt}(\text{OAc})_4\text{Ca}(\text{HOAc})_4$ . Была установлена его устойчивость к действию N- и O-донорных лигандов, что позволило использовать полученное соединение в качестве строительного блока для введения атома платины в молекулу для получения комплексов с заданным соотношением металлов, как, например, в случае комплекса  $\text{Pd}(\text{OAc})_4\text{Ca}(\text{OAc})_2\text{Pd}(\text{bipy})$  (**2**) (рис. 2).

### ЛИТЕРАТУРА

1. N.S. Smirnova et al., *Intermetallics*, **2021**, *132*, 107160.
2. I.P. Stolarov et al., *Mendeleev Communications*, **2018**, *28*, 2, 200.

$(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{Ge}_7\text{O}_{16})(\text{H}_2\text{O})_{2.72}$  – ПРЕКУРСОР  
ДЛЯ АЭРОГЕЛЕЙ  $\text{GeO}_2$  и  $\text{GeO}_2:\text{PZ}\text{Э}^{3+}$

**Студентка 3 курса Хвощевская Д.А.**

Руководитель м.н.с. Веселова В.О.

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

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

*KhvoshchevskayaDA@my.msu.ru*

$\text{GeO}_2$  обладает уникальными оптическими свойствами, а также служит отличной матрицей для легирования, что позволяет эффективно использовать его в оптоэлектронике и получать люминофоры с диапазоном высовечивания от УФ-синего до ближнего инфракрасного диапазона. Также люминесцентные аэрогели на основе диоксида германия могут быть использованы в неинвазивных спектроскопических диагностических методах, так как  $\text{GeO}_2$  биосовместим и биостабилен.

До сих пор аэрогели  $\text{GeO}_2$  получали с использованием дорогих и неустойчивых аллоксидов германия в качестве прекурсоров [1]. Способность  $\text{GeO}_2$  к формированию гелей в водных растворах аммиака позволяет предположить, что аэрогели состава  $\text{GeO}_2$  можно получить по гораздо более простой и экономичной технологии.

Нашей целью стала разработка методики получения  $\text{GeO}_2$  аэрогелей с использованием германата аммония в качестве прекурсора, а также разработка методики получения аэрогелей  $\text{GeO}_2:\text{PZ}\text{Э}^{3+}$  путем пропитки аквагелей раствором соли иона допанта на этапе замены растворителя.

В ходе работы были получены аквагели  $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{Ge}_7\text{O}_{16})(\text{H}_2\text{O})_{2.72}$  и подобран растворитель для проведения сверхкритической сушки. Был подобран режим отжига для разложения данного соединения без разрушения целостности аэрогеля. Методом спектроскопии КР было определено координационное окружение германия в полученном аморфном образце. Зависимость характеристик полученных образцов от параметров синтеза была исследована методами гелиевой пикнометрии, РЭМ, ПЭМ, ИК и БЭТ. Удельная площадь поверхности полученных образцов после отжига при 300 °C находится в диапазоне 400–700 м<sup>2</sup>/г, а объемная пористость достигает 93,5 %. Было показано, что при повышении концентрации  $\text{GeO}_2$  в исходном лиогеле увеличивается доля закрытых пор в аэрогеле.

Для введения второго компонента в аэрогель был выбран метод пропитки на этапе замены растворителя, так как он является наиболее простым и не требует дополнительных дорогостоящих реагентов. Было изучено влияние концентрации пропиточного раствора, времени пропитки и исходной концентрации  $\text{GeO}_2$  в лиогеле на характеристики образцов, и особенно на равномерность распределения допанта в объеме образца. Полученные аэрогели состава  $\text{GeO}_2:\text{Pr}^{3+}$  после отжига имели удельную поверхность до 300 м<sup>2</sup>/г и объемную пористость 96 %. Метод пропитки позволил ввести до 8 ат.% РЗЭ.

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. G. Chen et al., *J Non Cryst Solids*. **2012**, 358, 23.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ СИСТЕМЫ  
 $\text{CaMoO}_4$ – $\text{CaWO}_4$  И ИЗУЧЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ  
СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Ca}(\text{Mo},\text{W})\text{O}_4$

**Студентка 3 курса Храмцова Д.М.**

Руководитель к.г.-м.н. Кузнецов А.Б.

*Новосибирский национальный исследовательский университет,  
Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН  
d.kramtsova@g.nsu.ru*

Для производства современных высокотехнологичных устройств необходимо использовать большое количество кристаллов различных типов соединений. Одним из перспективных классов материалов для научно-технических применений являются смешанные кристаллы вольфрамато-молибдатов. К наиболее распространенным вольфрамато-молибдатам относят твердые растворы замещения, например, двухфазные системы  $\text{MWO}_4$ – $\text{MMoO}_4$  с неограниченной смесимостью, где  $\text{M}^{2+}$  – щелочноземельный металл. Вольфраматы и молибдаты  $\text{M}^{2+}$  характеризуются широкой областью оптической прозрачности от 300 нм до 5 мкм, что позволяет использовать их в качестве люминофоров, сцинтилляторов, оптических волокон и лазерных материалов. Однако, несмотря на большое количество работ по данным системам, не все материалы подробно изучены. Так, данные по системе  $\text{CaMoO}_4$ – $\text{CaWO}_4$  имеют отрывочный характер и в основном представлены порошковыми синтезами люминофоров с добавлением РЗЭ для исследования фотoluminesценции.

Целью работы стало построение фазовой диаграммы  $\text{CaMoO}_4$ – $\text{CaWO}_4$ , и исследование люминесцентных свойств полученных твердых растворов  $\text{Ca}(\text{Mo},\text{W})\text{O}_4$ .

Система  $\text{CaMoO}_4$ – $\text{CaWO}_4$  была исследована методами рентгенофазового анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии, сканирующей электронной микроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, катодolumинесцентной и фотolumинесцентной спектроскопии. Было показано, что оптимальным методом определения полноты реакции являются спектроскопия комбинационного рассеяния и ЭДС СЭМ. Стоит отметить, что взаимодействие между синтезированными соединениями  $\text{CaMoO}_4$  и  $\text{CaWO}_4$  начинается при температурах выше 1200 °C, и предпочтительным путем приготовления образцов твердых растворов является синтез из  $\text{WO}_3$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{CaO}$  ( $\text{CaCO}_3$ ), реакция между которыми может быть полностью завершена уже при 800 °C. Нами была изучена зависимость полноты протекания реакции образования твердых растворов  $\text{Ca}(\text{Mo},\text{W})\text{O}_4$  от температуры синтеза, а также была найдена зависимость люминесцентных свойств полученных соединений и предложена модель их зависимости от их структурных дефектов на разных стадиях синтеза.

Образцы, синтезированные при 800 °C имеют максимальную интенсивность свечения при возбуждении 250 нм. Эффективное изменение цветности порошка может быть реализовано за счет использования механической смеси, предварительно синтезированных  $\text{CaWO}_4$ ,  $\text{CaMoO}_4$ .

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН (№ 122041400031-2).*

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**

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

## МЕТАТЕЗИС ОЛЕФИНОВ: РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ГЕКСЕНОЛИЗА И БУТЕНОЛИЗА МЕТИЛОЛЕАТА

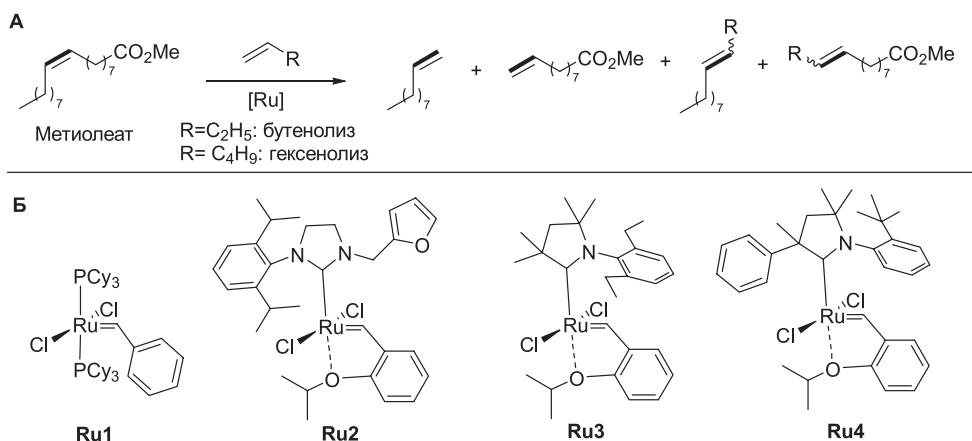
**Студентка 4 курса Афанасьева А.В.**

Руководитель д.х.н. Нифантьев И.Э.

Высшая школа экономики Факультет химии

*avafanaseva\_2@edu.hse.ru*

Снижение доступности ископаемого органического сырья побуждает ученых искать альтернативные источники нефтехимических продуктов. Использование возобновляемого сырья, например, метилолеата, полученного из растительного масла является привлекательной альтернативой. Из существующего числа катализитических превращений – метатезис интенсивно исследуется с точки зрения превращения возобновляемого сырья в полезные олеохимические продукты. Алленолиз (крoss-метатезис с олефинами) метилолеата, приводит к образование ценных продуктов (рис.), которые в промышленности используются для получения синтетических масел IV группы и поверхностно-активных соединений для нефтедобывающей отрасли. Нашей задачей стало исследование реакции кросс-метатезиса метилолеата с различными олефинами, бутеном-1 и гексеном-1, с целью разработки эффективного метода получения децена-1, высших олефинов и метиловых эфиров из растительного сырья.



**Рис.** А) Алленолиз метилолеата.Б) Исследуемые катализаторы метатезиса

Исследованы комплексы Граббса первого поколения, а также комплексы Ховей-Ли-Граббса второго поколения на основе несимметричного N-гетероциклического карбена и циклических алкиламинокарбенов. Разработана эффективная катализитическая система метатезиса на основе комплексов **Ru3** и **Ru4**: подобраны оптимальные соотношения олефин-метилолеат, температура, концентрация катализатора и время реакции. Впервые для комплекса **Ru4** продемонстрирована его высокая активность в бутенолизе и гексенолизе метилолеата. В гексенолизе метилолеата при минимальной загрузке катализатора **Ru4** 0,5 ppm число оборотов (TON) составило 400 000.

*Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 21-73-30010.*

## ПОЛУЧЕНИЕ С(20)-ТРИФТОРМЕТИЛТЕВИНОЛОВ

**Студент 3 курса Горлов С.Н.**

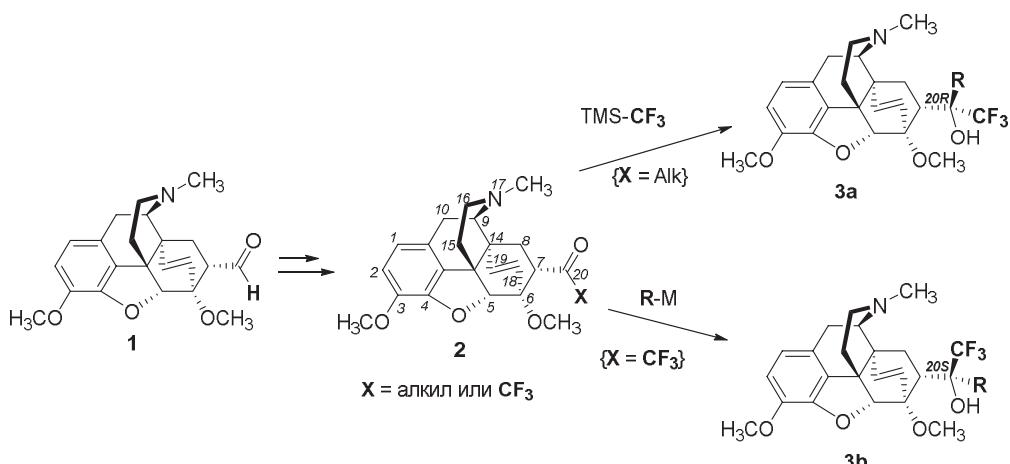
Руководитель к.х.н., Сандуленко И.В.

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

*Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН*

*sergei.gorlov@chemistry.msu.ru*

Тевинолы и их O-деметилированные аналоги орвинолы — одни из важнейших классов лигандов опиоидных рецепторов, которые являются производными природного алкалоида тебаина. Эти соединения обладают уникальными фармакологическими свойствами, благодаря чему широко применяются в медицине и ветеринарии в качестве лекарственных средств [1]. При введении атомов фтора или фторсодержащих групп в молекулы биологически активных веществ их фармакологический профиль может значительно изменяться, в частности за счет повышения липофильности и устойчивости к метаболическим процессам [2]. Поэтому получение новых фторсодержащих аналогов известных тевинолам — важная синтетическая задача. Такие структуры могут обладать более выгодным и безопасным фармакологическим профилем по сравнению с нефторсодержащими тевинолами.



В нашей работе были разработаны два подхода, позволяющие селективно получать оба С(20)-эпимера С(20)-трифторметилтевинолов **3a** и **3b**. Было показано, что селективность образования разных эпимеров зависит от выбора способа их получения — введения трифторметильного заместителя при помощи реагента Рупперта-Пракаша к нефторированным кетонам или присоединения металлогорганических реагентов к фторсодержащему кетону [3].

### ЛИТЕРАТУРА

1. K.W. Bentley, D.G. Hardy, *J. Am. Chem. Soc.*, **1967**, *89*, 3267.
2. E.P. Gillis, K.J. Eastman, M.D. Hill, D.J. Donnelly, N.A. Meanwell, *J. Med. Chem.*, **2015**, *58*, 8315.
3. I.V. Sandulenko, E.S. Kovaleva, M.V. Zelentsova, A.A. Ambartsumyan, S.N. Gorlov, A.A. Danshina, R.R. Aysin, S.K. Moiseev, *Org. Biomol. Chem.*, **2023**, *21*, 1440.

## СУЛЬФОНИЛИРОВАНИЕ ЕНОЛАЦЕТАТОВ: ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ $\beta$ -КЕТОСУЛЬФОНОВ

**Студентка 3 курса Заикина Л.А.<sup>1,2</sup>**

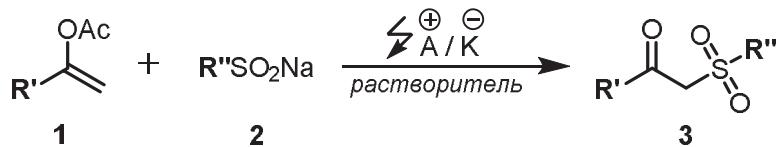
Руководитель к.х.н. Мулина О.М.<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, ВХК РАН*  
zaikinalaal@gmail.com

Реакция электрохимического сочетания обладает рядом преимуществ перед классическими реакциями кросс-сочетания, применяемыми в синтезе сераорганических соединений: оно более экологично, поскольку протекает с образованием меньшего количества побочных продуктов и отходов, а также за счёт снижения числа стадий синтеза. Эти преимущества обусловлены тем, что в реакцию вступают исходные вещества без предварительной функционализации и введения в них дополнительных уходящих групп [1].

В ходе наших исследований удалось обнаружить процесс окислительного сочетания, протекающий между енолацетатами **1** и сульфинатами натрия **2** под действием электрического тока, приводящий к образованию  $\beta$ -кетосульфонов **3**. Эта реакция позволяет селективно образовать связь углерод-сера, не используя металлы-содержащие добавки. Электролиз осуществляется в гальваностатическом режиме в конструктивно простой неразделенной электрохимической ячейке.



Изучено влияние природы растворителя и фонового электролита, соотношения реагентов, материала электродов, а также количества и плотности пропускаемого тока. В оптимальных условиях проведено расширение субстратного ряда. Обнаружено, что реакция успешно протекает с использованием ароматических енолацетатов **1** с электронодонорными и электроноакцепторными заместителями и широкого ряда ароматических, гетероароматических и алифатических сульфинатов **2**. На основе литературных данных [2] и проведенных контрольных опытов был предложен механизм обнаруженного процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. M. Yan, Y. Kawamata, P.S. Baran, *Angew. Chem.* **2018**, 57(16), 4149.
2. O.M. Mulina и др., *Eur. J. Org. Chem.*, **2019**, 2019, 4179.

# АЦИКЛИЧЕСКИЕ ДИАМИНОКАРБЕНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПЛАТИНЫ(IV), ПОЛУЧЕННЫЕ НА ОСНОВЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ МЕІ И I<sub>2</sub>

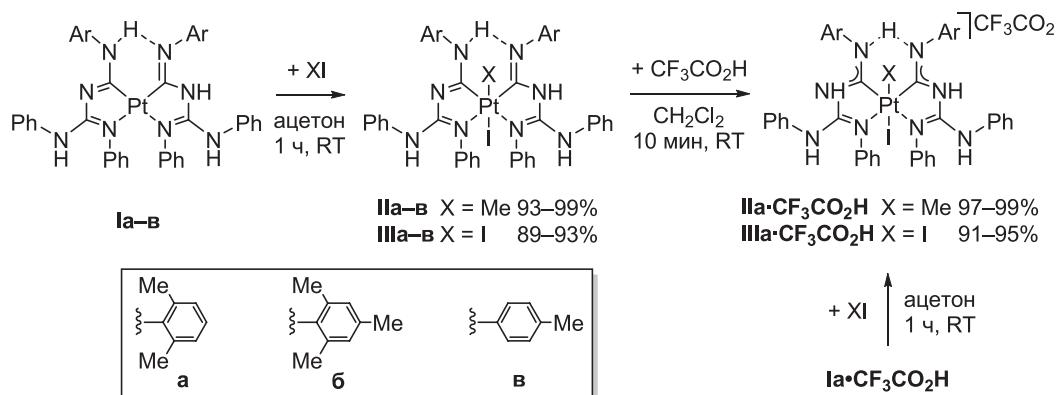
**Студент 4 курса Карчевский А.А.**

Руководитель к.х.н. Каткова С.А.

*Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии  
st084083@student.spbu.ru*

Окислительное присоединение простых полярных молекул, таких как алкилгалогениды и галогены, к металлоцентру является основополагающей реакцией в дизайне комплексов переходных металлов [1]. Известно, что окислительное присоединение MeI и I<sub>2</sub> к комплексам платины протекает по S<sub>N</sub>2-механизму, где металл выступает в качестве нуклеофила, атакуя электрофильный атом в присоединяющейся молекуле [1].

Перспективными субстратами для окислительного присоединения служат ациклические диаминокарбеновые (ADC) комплексы платины(II), где нуклеофильность металла обусловлена хорошей σ-донорной способностью ADC-лигандов. Кроме того, такие комплексы легко получаются сочетанием изоцианидных комплексов с N,N'-дифенилгуанидином [2].



Схема

В нашей работе исследовано окислительное присоединение MeI и I<sub>2</sub> к *бис*(C,N-хелатным) ADC-комплексам платины(II) (Схема), поскольку ранее с ADC-комплексами подобные исследования не проводились.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Crespo, M. Martínez, S.M. Nabavizadeh, et al, *Coord. Chem. Rev.*, **2014**, 279, 115.
2. M.A. Kinzhalov, K.V. Luzyanin,, *Russ. J. Inorg. Chem.*, **2022**, 67, 48.

## “UMPOLUNG”-СТРАТЕГИЯ С<sub>3</sub>-Н-ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИИ ИНДОЛА

**Студент 4 курса Копытов С.О.**

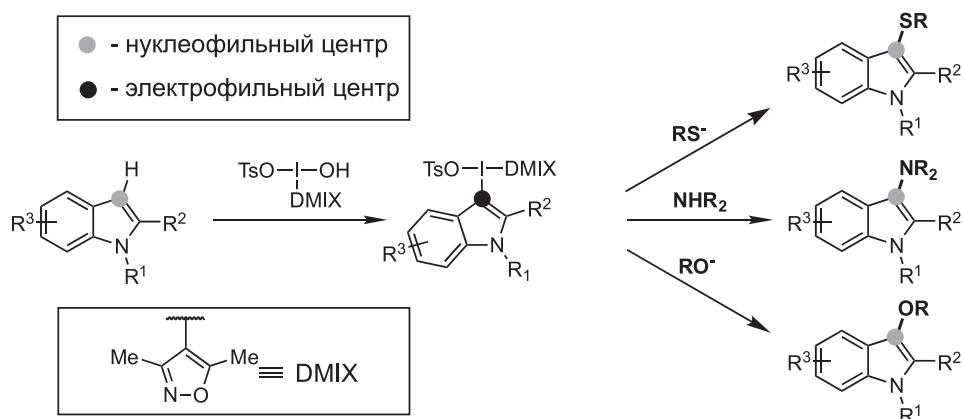
Руководитель к.х.н.Бугаенко Д. И.

МГУ им. М. В. Ломоносова Химический факультет  
kopytov.serezha@list.ru

Структурный фрагмент индола один из наиболее распространенных гетероциклических фрагментов в природе. Кроме того, производные индола широко используются в качестве лекарственных препаратов, материалов для органической электроники, агрохимикатов, ароматизаторов.

Многие соединения индола, обладающие полезными свойствами, содержат заместители в положении С<sub>3</sub>. Традиционно такие соединения получают либо из ациклических предшественников в результате реакций циклизации, либо путем модификации положения С<sub>3</sub> гетероциклического фрагмента. В силу выраженной нуклеофильности положения С<sub>3</sub> модификация проводится с применением электрофильных реагентов.

Мы разработали новую стратегию функционализации положения С<sub>3</sub> индола с использованием нуклеофильных реагентов. Предложенная нами двухстадийная последовательность включает первоначальное получение индолосодержащих гипервалентных соединений иода в результате прямой С-Н-функционализации индола по положительному С<sub>3</sub> и их последующие реакции с нуклеофильными реагентами.



Разработанная стратегия обеспечивает обращение полярности положения С<sub>3</sub> индольного кольца при переходе от незамещенного по положительному С<sub>3</sub> индола к солям(индол-3-ил)иодония и позволяет функционализировать положение С<sub>3</sub> без использования переходных металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 23-73-10019).

## СИНТЕЗ 2-АМИНОХИНОЛИНОВ НА ОСНОВЕ ЗОЛОТО-КАТАЛИЗИРУЕМОЙ РЕАКЦИИ ИНАМИДОВ И АМИНОКАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

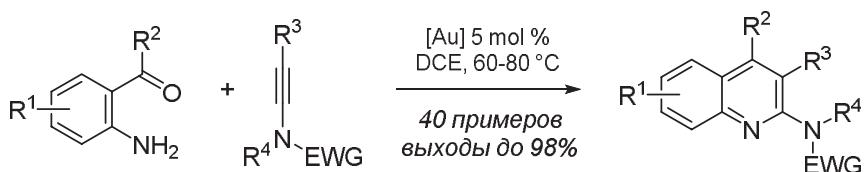
**Студентка 3 курса Котикова П.Ф.**

Руководитель к.х.н. Дубовцев А.Ю.

*Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии*  
*a.dubovtsev@spbu.ru*

Хинолины – одни из самых распространенных и синтетически перспективных N-гетероциклических систем. Особое внимание привлекают 2-аминохинолины, демонстрирующие широкий спектр фармакологического действия [1, 2].

За последние пять лет опубликован ряд работ, описывающих синтезы 2-аминохинолинов на основе катализируемых золотом реакций инамидов с орто-функционализированными ароматическими аминами. Однако ограничением, характерным для всех предложенных методов, является сложность варьирования функциональной группы в 4- положении хинолинового каркаса [3–5].



● модульная сборка ● мягкие условия ● широкий спектр продуктов

**Схема.** Синтез 2-аминохинолинов

Учитывая значимый практический потенциал 2-аминохинолинов, нашей целью стала разработка удобного синтетического подхода, позволяющего получать широкий круг целевых соединений. Нами предложен новый модульный метод сборки 2-аминохинолинов на основе золото-катализируемой реакции инамидов и аминокарбонилов, позволяющий легко варьировать заместитель в 4- положении хинолинового каркаса, а также проводить реакцию в мягких условиях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. M.J. Alves, I.C.F.R. Ferreira, J. Dias, V. Teixeira, A. Martins, M. Pintado, *Planta Med.*, **2012**, 78 (16), 1707.
2. M.A. Cinelli, H. Li, G. Chreifi, T. L. Poulos, R.B. Silverman, *J. Med. Chem.*, **2017**, 60 (9), 3958.
3. X. Zhao, X. Song, H. Jin, Z. Zeng, Q. Wang, M. Rudolph, F. Rominger, A.S.K. Hashmi, *Adv. Synth. Catal.*, **2018**, 360 (14), 2720.
4. N.D. Rode, A. Arcadi, A. Di Nicola, F. Marinelli, V. Michelet, *Org. Lett.*, **2018**, 20 (17), 5103.
5. R. Vanjari, S. Dutta, M. P. Gogoi, V. Gandon, A.K. Sahoo, *Org. Lett.*, **2018**, 20 (24), 8077.

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНФОРМАЦИОННЫХ  
И ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 2)-  
ОЛИГОГЛЮКОЗИДОВ, РОДСТВЕННЫХ ПОЛИСАХАРИДУ  
В БАКТЕРИЙ *BRUCELLA* spp.**

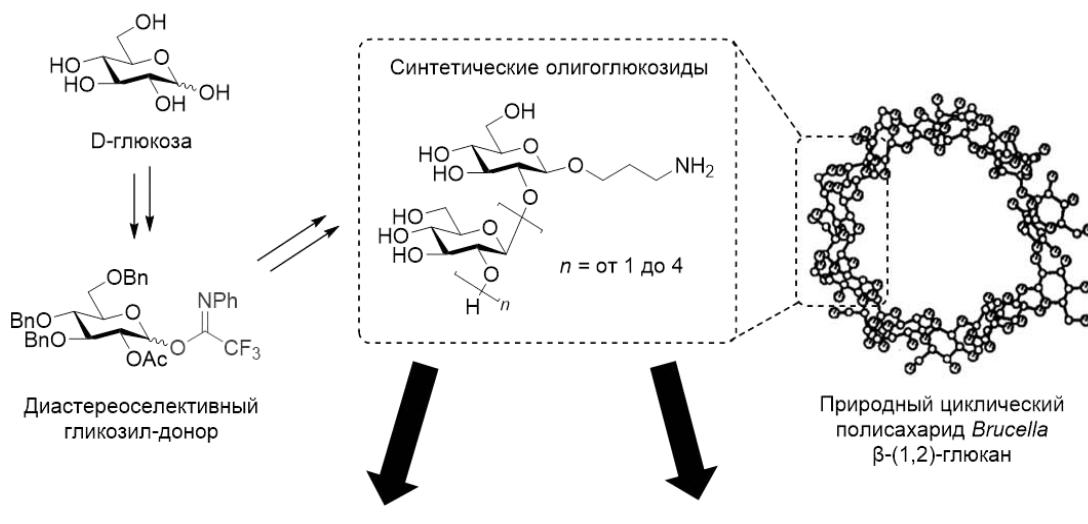
**Студент 4 курса Кузнецов А.Н.**

Руководитель д.х.н. Крылов В.Б.

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

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

Бактерии рода *Brucella* – возбудители зоонозной инфекции, известной как бруцеллез. Учитывая эпидемиологическую значимость бруцельной инфекции, контроль которой затруднён из-за отсутствия эффективных диагностикумов и вакцин, исследование антигенных олигосахаридов, отражающих фрагменты бактериальных полисахаридов *Brucella*, является весьма актуальной задачей. Макроциклический  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 2)-глюкан, продуцируемый различными представителями рода *Brucella*, является малоизученным, но потенциальным новым диагностическим маркером бруцеллеза.



**Синтез гликоконъюгатов и изучение  
иммунологических свойств**

**ЯМР и конформационный анализ**

В нашей работе осуществлен стереонаправленный синтез модельных  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 2)-олигоглюказидов, родственных природному полисахариду В бактерий *Brucella* spp., а также проведен скрининг панели сывороток различных групп пациентов с бруцеллезом и другими заболеваниями. Странная заданная структура синтетических олигосахаридов и их конъюгатов позволяет подробно исследовать иммунологические свойства природного циклического  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 2)-глюкана, и позволяет им выступать в качестве модельных объектов для изучения конформационных и иммунологических свойств циклических олиго- $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 2)-глюко-цепей.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (№ 19-73-30017-П).*

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОМЕТАЛЛИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ИРИДИЯ(III) С ЖЕСТКИМИ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНЫМИ ЛИГАНДАМИ

**Студентка 4 курса Мещерякова Е.А.**

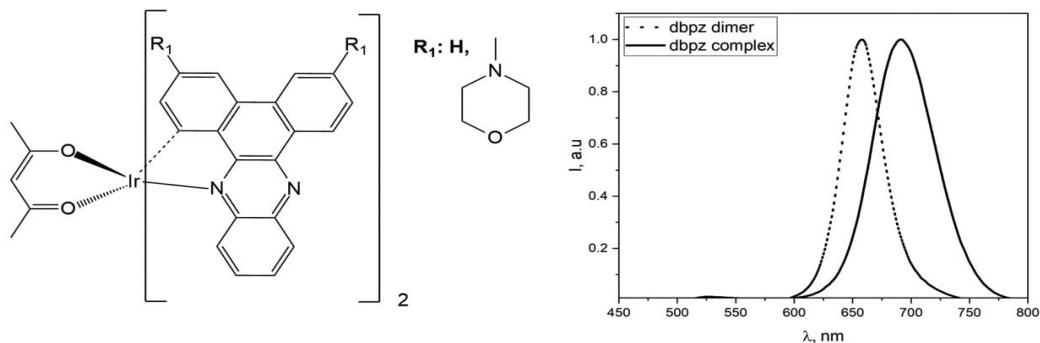
Руководитель к.х.н. Беззубов С.И.

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

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН*  
*lisusuni@yandex.ru*

Циклометаллированные комплексы иридиевого(III), благодаря своей стабильности, оптическим свойствам и широким возможностям их модификации являются перспективными люминофорами, однако низкие квантовые выходы люминесценции в области длинноволновой эмиссии препятствуют их активному применению. Одной из причин снижения эффективности их люминесценции является значительный вклад безызлучательной внутримолекулярной колебательной релаксации. Для его уменьшения и повышения квантового выхода люминесценции в настоящей работе предложено использование дibenзохинолинового каркаса в качестве жесткого полиароматического лигандного фрагмента. В свою очередь, внедрение донорных морфолиновых фрагментов в данную лигандную систему позволит эффективно модулировать длину волны эмиссии соответствующих комплексов.

В нашей работе синтезированы два дibenзофеназиновых лиганда, с незамещенным дibenзофеназином, получены *bis*-циклометаллированный хлоридный димер и соответствующий гетеролептический комплекс иридиевого(III) с ацетилацетоном в качестве дополнительного лиганда. Показано, что замещенный 3,6-диморфолиднобензофеназин демонстрирует эффективную люминесценцию (квантовый выход в  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  – 57 %) со значительным сольватохромным эффектом. Интересно, что димерный комплекс с незамещенным дibenзофеназином демонстрирует узкую (FWHM – 40 нм) и сравнительно интенсивную (квантовый выход в толуоле – 30 %) фосфоресценцию, что нехарактерно для класса *bis*-циклометаллированных хлоридов.



**Рис.** Объекты исследования и экспериментальные спектры поглощения и люминесценции для хлоридного димера и гетеролептического комплекса Ir(III) с незамещенным дibenзофеназином

Для объяснения феномена были выполнены квантово-химические расчеты: получены оценки энергии граничных орбиталей и длин волн фосфоресценции, рассчитано распределение спиновой плотности в соединениях данного типа, обладающих и не обладающих (референсных) люминесцентными свойствами.

## ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЕ ХИНОЛИН- И БЕНЗОТИАЗОЛ-ИЛИДОВ. СИНТЕЗ ИНГИБИТОРОВ ИНТЕГРАЗЫ ВИЧ-1

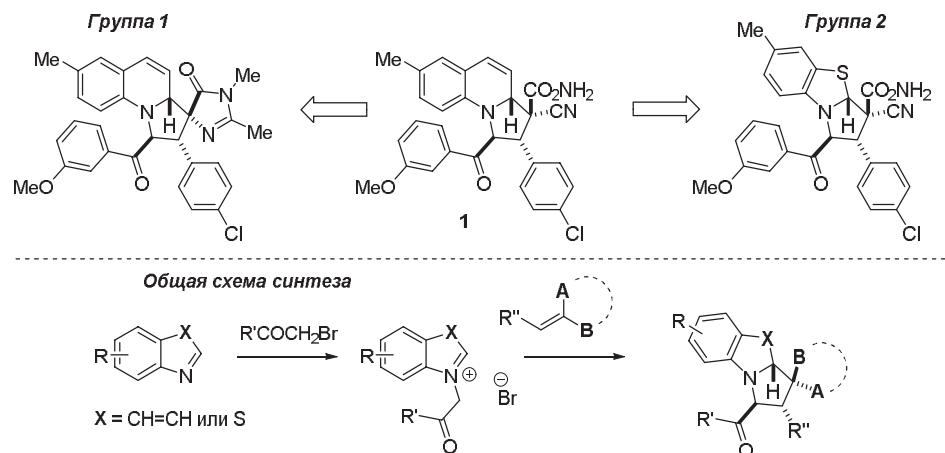
**Студентка 2 курса Молчанова М.В.**

Руководитель к.х.н. Михайлов А.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет  
Институт биоорганической химии  
им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН  
marina-molchanova-04@mail.ru*

Развитие современной органической химии тесно связано с задачами медицины. Проблема вирусных заболеваний, таких как ВИЧ, COVID-19, гепатит С и других, особенно актуальна. Несмотря на большие достижения в борьбе с ВИЧ, связанные с антиретровирусной терапией ингибиторами обратной транскриптазы, повышенная изменчивость вируса стимулирует поиск новых препаратов. [1]

В недавней работе [2], выполненной в МГУ в сотрудничестве с нашей лабораторией, было найдено поликлиническое производное **1**, эффективно ингибирующее пост-интеграционную репарацию ВИЧ-1 в микромолярной концентрации. В настоящей работе стояла задача получения структурных аналогов, обладающих улучшенными свойствами. Для этого нами было предложено изучить два типа производных – 1) содержащие спироциклический фрагмент вместо циано и амидной групп, и 2) содержащие модифицированный гетероциклический фрагмент.



Предложенные соединения, как и оригинальное производное **1**, получали с помощью реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения азометинилидов и диполярофилов. В результате исследования было получено две серии соединений, которые будут обсуждены в докладе.

### ЛИТЕРАТУРА

- Eric De Clercq, *Biochemical Pharmacology*, **1994**, *47*, 2, 155.
- A. Anisenko, S. Galkin, A. A. Mikhaylov, M. G. Khrenova, Y. Agapkina, S. Korolev, L. Garkul, V. Shirokova, V. A. Ikonnikova, A. Korlyukov, P. Dorovatovskii, M. Baranov, M. Gottikh, *Int. J. Mol. Sci.*, **2023**, accepted, in press

## СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ТРИАЗОЛИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ НА ОСНОВЕ ПРОПАРГИЛОВЫХ ЭФИРОВ ТИАЗОЛО[3,2-*a*]ПИРИМИДИНОВОГО РЯДА

**Студент 4 курса Муртазин А.Р.**

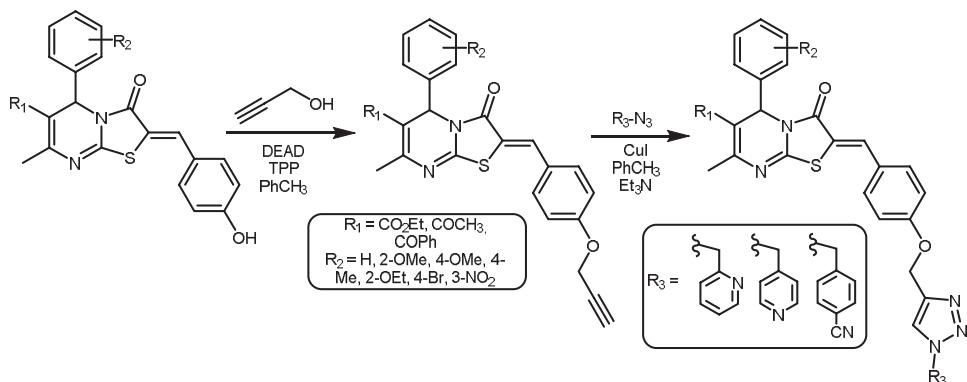
Руководитель к.х.н. Агарков А.С.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет*

*Химический институт им. А. М. Бутлерова*

*almir.murtazin@list.ru*

На данный момент одной из главных проблем химии считается разработка и синтез лекарств, обладающих противораковым действием. Было выявлено, что благодаря высокой биологической и фармакологической активности, гетероциклические соединения на основе 2-арилметилидентиазоло[3,2-*a*]пириимидинов являются перспективными соединениями с высоким потенциалом в качестве противоопухолевых препаратов [1]. Также обнаружено, что гетероциклические соединения на основе 1,2,3-триазола активно используются для создания синтетических каркасов, с выраженной анти-ВИЧ, противораковой и антибактериальной активностью [2]. Наша работа посвящена синтезу триазолильных производных на основе тиазоло[3,2-*a*]пириимидина и исследованию их биологической активности, структуры, а также супрамолекулярной организации в кристаллической фазе.



**Рис.** Получение триазолильных производных на основе 2-(4-гидроксибензилиден)тиазоло[3,2-*a*]пириимидинов

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

### ЛИТЕРАТУРА

1. A.S. Agarkov et al., *Molecules*, **2022**, *27*(22), 7747.
2. D. Dheer, V. Singh., R. Shankar, *Bioorganic Chemistry*, **2017**, *71*, 30.

**НОВАЯ ПЕРЕГРУППИРОВКА  
В РЯДУ 2-АРИЛМЕТИЛИДЕНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ  
ТИАЗОЛО[3,2-*a*]ПИРИМИДИНА**

**Студентка 4 курса Петрова А.Ю.**

Руководитель к.х.н. Агарков А.С.

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,*

*Химический институт им. А.М. Бутлерова*

*alesya.petrova02@gmail.com*

Химия гетероциклических соединений – одно из важнейших направлений органической химии. К подобным структурам относятся производные 5*H*-тиазоло[3,2-*a*]пиrimидинов, о модификациях которых в литературе известно мало. Все химические свойства основаны либо на взаимодействии с достаточно сильными нуклеофильными реагентами (*CH*-кислотами и циклическими дисульфидами), либо на гидролитической неустойчивости в кислых условиях [1]. При этом сведения о реакционной способности с *O*-нуклеофилами в литературе отсутствуют. Поэтому нами был применен один из эффективных альтернативных методов активации – микроволновое облучение, что позволило значительно сократить время реакций, а также повысить выходы продуктов [2].

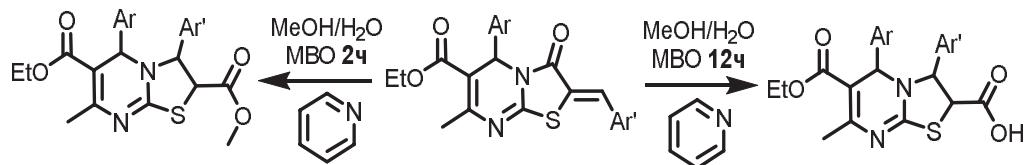


Рис. Получение 2,3-дизамещенных производных 2,3-дигидротиазоло[3,2-*a*]пиrimидина.

Наша работа посвящена получению новых 2,3-дизамещенных производных 2,3-дигидротиазоло[3,2-*a*]пиrimидина реакцией 2-арилметилиденовых производных тиазоло[3,2-*a*]пиrimидина с метиловым спиртом в присутствии пиридина в условиях микроволновой активации [3].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. H.M. Nagarajaiah, I.A. Khazi, N. S. Begum, *J. Chem. Sci.*, **2015**, 127(3), 467.
2. J. Fairoosa, S. Saranya, S. Radhika et al., *ChemistrySelect.*, **2020**, 5(17), 5180.
3. А.С. Агарков, А.А. Кожихов, А.А. Нефедова и др., *Докл. АН*, **2022**, 505, 50.

## СИНТЕЗ МОЧЕВИН И ТИОМОЧЕВИН, СОЧЕТАЮЩИХ 2-АДАМАНТАНОВЫЙ И МОНОТЕРПЕНОВЫЕ ФРАГМЕНТЫ, ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИНГИБИТОРОВ ВИРУСА SARS-COV-2

**Студент 4 курса Рогозин П.Е.**

Руководитель к.х.н. Суслов Е.В.

*Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН*

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет*  
*rogozin@nioch.nsc.ru*

По мнению главы ВОЗ COVID-19 больше не является мировой чрезвычайной угрозой в области здравоохранения. Однако, вирус по-прежнему циркулирует среди населения и продолжает муттировать, формируя новые варианты, которые могут вызывать вспышки заболеваемости в будущем. С 25 сентября по 22 октября 2023 года было зарегистрировано более полутора миллиона новых случаев заражения COVID-19 во всём мире. В связи с этим, поиск эффективных препаратов для борьбы с коронавирусной инфекцией остается актуальным.

Ранее нами было обнаружено, что конъюгаты, объединяющие в своей структуре адамантановые и монотерпеновые фрагменты, проявляют активность в отношении SARS-CoV-2, например, соединение **1** показало выдающуюся активность в ингибиции вариантов вируса «Ухань», «Дельта», «Омикрон 1» и «Омикрон 5» (Схема 1). В настоящей работе мы продолжили исследование. Важным направлением является определение механизма действия препаратов и установление конкретных биологических мишенией, которые бы прояснили их активность.

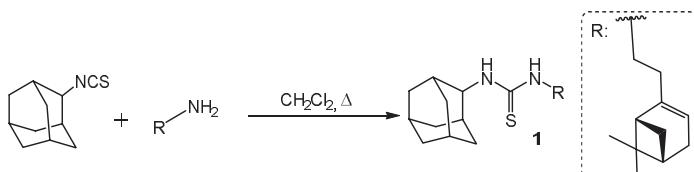


Схема 1.

Мы представляем новый подход к получению тиомочевин **2a-c** и мочевин **3**, сочетающих 2-адамантановый и монотерпеновые фрагменты (Схема 2).

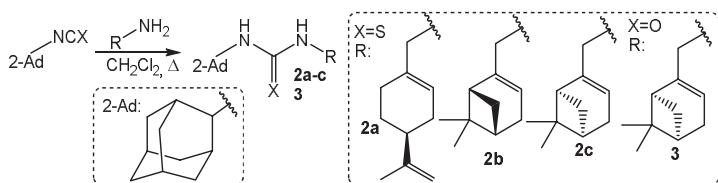


Схема 2.

Полученные новые соединения планируются направить в ФБУН ГНЦ ВБ «Вектор» для дальнейшего исследования на наличие активности по отношению к коронавирусу SARS-CoV-2, а также псевдовирусным системам, содержащим поверхностный белок коронавируса для исследования механизма их действия.

*Автор признателен сотрудникам Химического сервисного центра коллективного пользования СО РАН за спектральные и аналитические измерения.*

## НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 2,3-ДИГИДРО-1Н-БЕНЗО[*D*] ПИРРОЛО[1,2-*A*]-ИМИДАЗОЛОВ

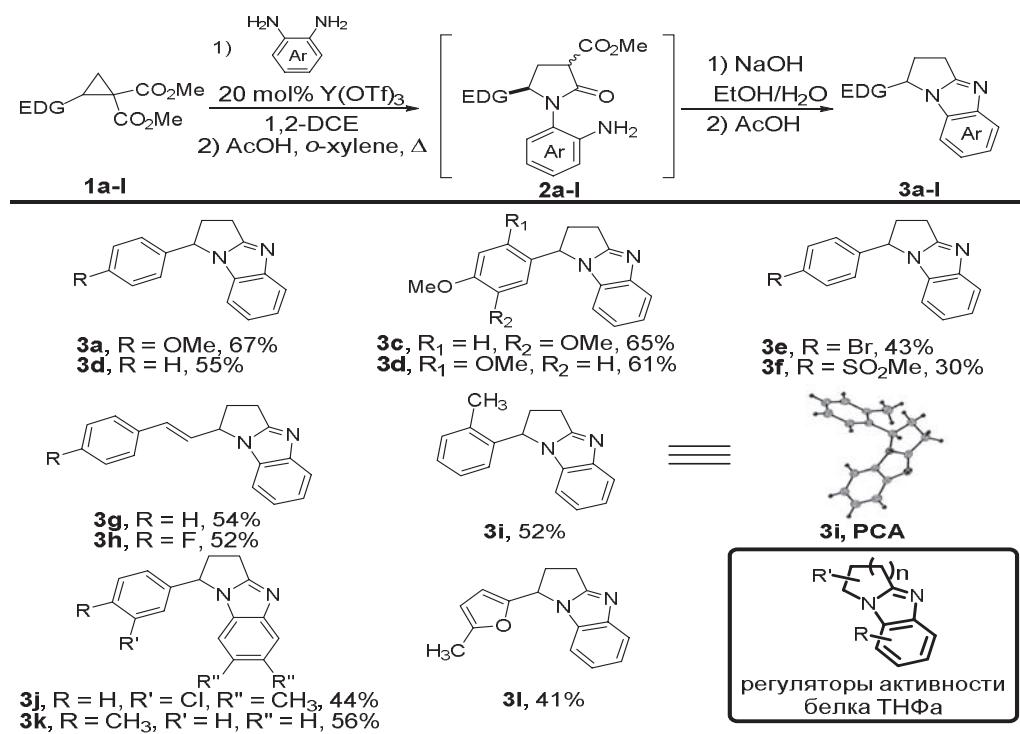
**Студент 4 курса Сивачев А.А.**

Руководитель к.х.н. Иванова О.А.

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

*sivachev.7227@gmail.com*

Разработка новых эффективных методов получения биоактивных азагетероциклов – важная задача современной органической химии. В нашей работе предложен новый метод телескопического синтеза производных 2,3-дигидро-1Н-бензо[*d*]пирроло[1,2-*d*]-имидаолов, проявляющих свойства регулятора активности фактора некроза опухоли [1]. Разработанная схема синтеза состоит из простой последовательности трех стадий: 1) катализируемое  $\text{Y}(\text{OTf})_3$  раскрытие донорно-акцепторных циклопропанов **1** *o*-фенилендиамином и его производными; 2) циклизация аддукта при кипячении в *o*-ксилоле в присутствии уксусной кислоты с образованием  $\gamma$ -пирролидонов **2**; 3) декарбоксилирование и самопроизвольная циклизация в условиях щелочного гидролиза с образованием трициклической целевой системы **3**.



В результате был получен ряд ранее неописанных 2,3-дигидро-1Н-бензо[*d*]  
пирроло[1,2-*d*]-имидаолов с выходами от умеренных до высоких.

### ЛИТЕРАТУРА

1. R.P. Alexander, M.D. Calmiano, S. Defays, V. Durieu, M. Deligny, US Pat., US20160304523A1, 2016.

# РЕГИОСЕЛЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ НО-ДОНОРНЫХ (4-НИТРО-1,2,3-ТРИАЗОЛИЛ)ФУРОКСАНОВ МЕТОДОМ АЗИД-ОЛЕФИНОВОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ

**Студентка 4 курса Стеблецова И.А.**

Руководитель к.х.н. Ларин А.А.

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

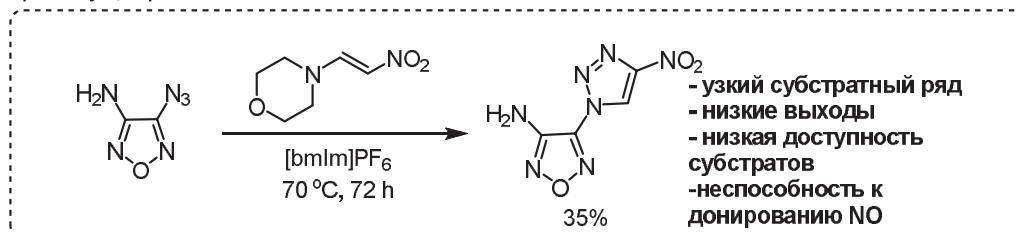
*Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН*

*irinastebel@icloud.com*

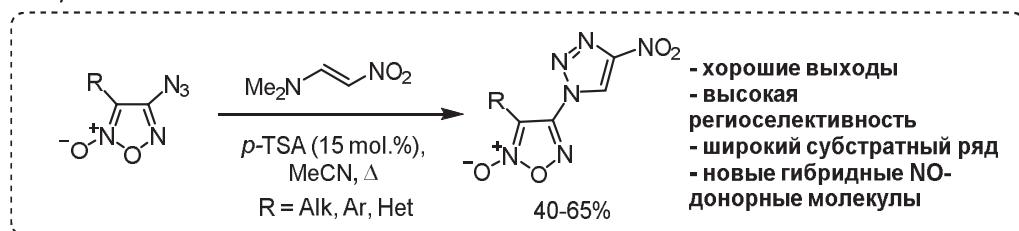
Экзогенные доноры оксида азота (II) обладают антипролиферативным действием и способны селективно ингибировать развитие некоторых клеточных линий рака. **Нашей целью** является разработка метода конструирования фармакологически ориентированных производных фуроксана, известного NO-донора, содержащих фармакофорный гетероциклический фрагмент – 4-нитро-1,2,3-триазол.

Нами предложен на основе работ нашей группы [1], простой и эффективный метод региоселективного [3+2]-циклоприсоединения 4-азидофуроксанов к 1-диметиламино-2-нитроэтилену в условиях *p*-TSA-катализа с получением (4-нитро-1,2,3-триазолил)фуроксанов [2]. Считается, что описанное превращение протекает через механизм «*Eliminative azide-olefin cycloadditon*», приводящий к полной региоселективности. Предложенный протокол позволяет вводить в реакцию широкий субстратный ряд и легко собрать фрагмент 4-нитро-1,2,3-триазола на фуроксановом субстрате с алкильным, циклоалкильным, арильными и гетероарильными заместителями.

*Предыдущая работа*



*Эта работа*



Было обнаружено, что синтезированные (4-нитро-1,2,3-триазолил)фуроксаны способны высвобождать NO в широком диапазоне концентраций. Таким образом, наши результаты способствуют расширению библиотек веществ-доноров NO и открывают новые возможности в разработке лекарств.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. I.V Seregin, L.V. Batog; N.N. Makhova, *Mendeleev Commun.*, **2002**, *12*, 83.
2. I.A. Stebletsova, A.A. Larin, I.V. Ananyev, L.L. Fershtat, *Molecules*, **2023**, *28*(19), 6969.

## ОКСИРАНОВАЯ МОДИФИКАЦИЯ ДВОЙНОЙ СВЯЗИ ЦИАНЕНОНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ТРИТЕРПЕНОВЫХ КИСЛОТ

**Студентка 4 курса Стырник Н.В.<sup>1,2</sup>**

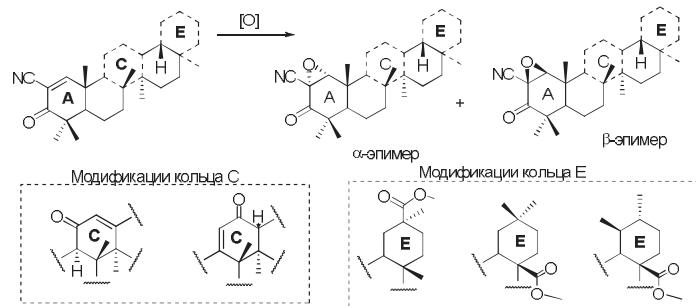
Руководитель к.х.н. Саломатина О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Новосибирский национальный исследовательский университет*

<sup>2</sup>*Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН*  
*n.styrik@gsu.ru*

Производные тритерпеноидов, содержащие 2-циано-3-оксо-1,2-еноновый фрагмент в кольце А, являются одними из наиболее изучаемых полусинтетических природных соединений. Известно, что активность данных веществ обусловлена высокой реакционной способностью двойной связи, содержащей два акцепторных заместителя, с различными нуклеофильными агентами, в частности с тиольными фрагментами белковых мишней [1].

Перед нами была поставлена задача получить аналоги цианеноновых производных, содержащих вместо двойной связи в кольце А эпоксидную группу. Нами были изучены пути трансформации 1,2-двойной связи цианеноновых производных тритерпеноидных кислот в эпоксидное кольцо. Показано, что при проведении прямого окисления перекисью водорода получается  $\alpha$ -эпоксидный цикл, а при формировании оксиранового кольца с помощью *N*-бромсукцинидата в случае соединений с 12-оксо-9(11)-еновой системой в кольце С происходит образование  $\alpha$ - и  $\beta$ -эпимеров, в то время как для соединения с 11-оксо-12(13)-еновой системой только  $\alpha$ -изомер.



Протекание реакции с *N*-бромсукцинидом было рассмотрено детально, с использованием ВЭЖХ и ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C.

### ЛИТЕРАТУРА

1. K.T. Liby, *Pharmacol. Rev.*, **2012**, 972.

## СИНТЕЗ ДИСПИРОПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗОЛО[3,2-а] ПИРИМИДИНА И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СУПРАМОЛЕКУЛЯРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ФАЗЕ

**Студентка 4 курса Третьякова Д.А.**

Руководитель к.х.н. Агарков А.А.

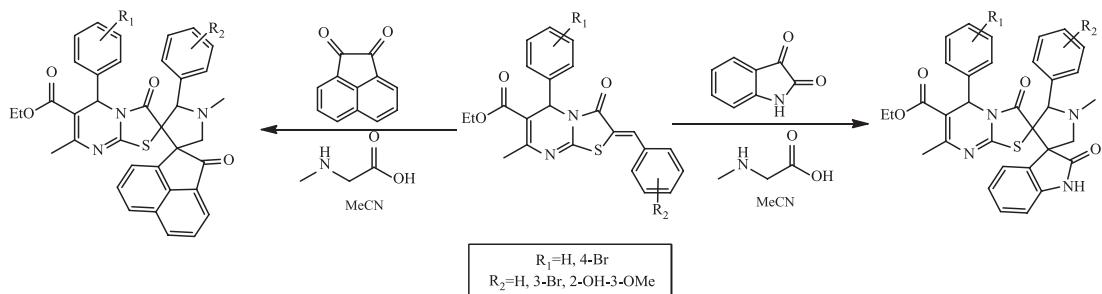
*Казанский (Приволжский) федеральный университет,*

*Химический институт им. А.М. Бутлерова*

*darya.tretyakova@yandex.ru*

Синтез новых диспиротиазолопиримидинов представляет собой перспективное направление, так как гетероциклические соединения такого типа служат важными компонентами биологических процессов, а также обладают фармакологической активностью [1]. Помимо прикладного значения, эти соединения представляют большой интерес в качестве модели при изучении взаимосвязи между строением соединения и его химическими свойствами.

Весьма существенно, что реакция 1,3-циклоприсоединения азометинилида, генерируемого из N-метилглицина и изатина или аценафтохинона путем декарбоксилирования по экзоциклической двойной связи арилметиленового фрагмента, оказалась эффективным и доступным методом получения диспиротиазолопиримидинов (рисунок ) [2].



**Рис.** Схема получения диспиротиазолопиримидинов

Структуры полученных в нашей работе соединений, были подтверждены методом монокристального рентгеноструктурного анализа. Изучена также их супрамолекулярная организация в кристаллической фазе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. H. Nagarajaiah, *Tetrahedron Letters*, **2016**, 57(47), 5135.
2. F.M. Moghaddam, *Tetrahedron Letters*, **2013**, 54(20), 2520.

# ФОТОХИМИЧЕСКОЕ ФТОРИРОВАНИЕ С-Н СВЯЗЕЙ АРОМАТИЧЕСКИХ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ

**Студент 2 курса Черновский Н.Д.**

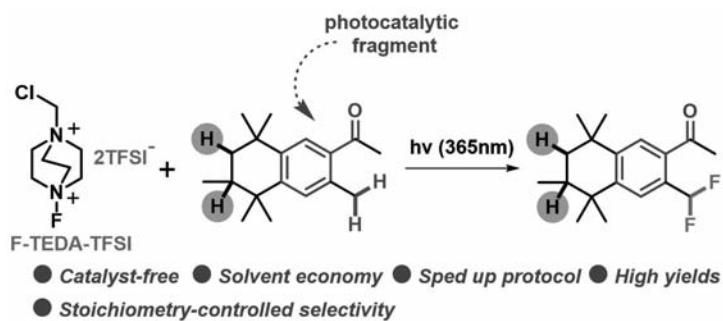
Руководитель к.т.н. Заикин П.А.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Новосибирский институт органической химии СО РАН

*n.chernovskii@g.nsu.ru*

Фторорганические соединения на данный момент занимают около ~20 % и 25 % фармацевтического и агрохимических рынков, соответственно [1, 2]. Поэтому разработка новых методов введения фтора в молекулу – одна из приоритетных задач, стоящих перед химики-синтетиками. Прямое С-Н фторирование позволяет ввести фтор в молекулу в наименьшее число стадий. Издержками таких реакций являются длительное время протекания реакции, ограниченная растворимость наиболее широко используемого фторирующего реагента *Selectfluor* (F-TEDA-BF<sub>4</sub>) в используемых растворителях, а также использование катализаторов и добавок разной степени доступности [3].



Мы разработали метод фотохимического фторирования С-Н связей без добавления катализаторов и добавок, и с более высоким выходом в единицу объема в единицу времени. Субстратами реакции являются алкилароматические кетоны и ароматические альдегиды – соединения, содержащие в своей структуре как гомолитически функционализируемую С-Н связь, так и фотоинициирующий Ar-C(O)-фрагмент. Примечательно, что, варьируя количество эквивалентов F-TEDA-TFSI, оказалось возможным провести как селективное монофторирование, так и дифторирование.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M. Inoue, Y. Sumi., N. Shibata, *ACS omega*, **2020**, *5*, 19, 10633.
2. T. Fujiwara, D. O'Hagan, *Journal of Fluorine Chemistry*, **2014**, *167*, 16.
3. R. Szpera et al., *Angewandte Chemie International Edition*, **2019**, *58*, 42, 14824.

# НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ ЛИГАНДЫ CCRN НА ОСНОВЕ 1-ОКСА-2,7-ДИАЗАСПИРО[4.5]ДЕЦ-2-ЕН-6,8-ДИОНОВОГО СКАФФОЛДА

**Студент 4 курса Шевалёв Р.М.**

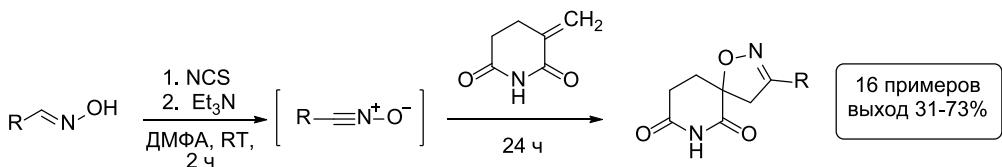
Руководитель к.х.н, доцент Сапегин А.В.

*Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии*  
*robertshevalev@icloud.com*

В последние годы активно развивается стратегия направленной деградации белков, получившая название PROTAC [1]. Структура молекул PROTAC включает в себя лиганд убиквитинлигазы (наиболее часто встречается Е3-лигаза переблон (далее CCRN)), лиганд белка-мишени, который необходимо подвергнуть убиквитинированию, и связывающий их линкер. Большинство лигандов CCRN представляют собой аналоги высокотоксичного препарата Талидомида, обладающего побочным тератогенным действием. Это обстоятельство дает основание для поиска более безопасных, структурно новых молекулярных систем, способных эффективно связываться с CCRN.

Целью настоящей работы стало создание серии новых лигандов CCRN на основе глутаримида, содержащих спироциклический изоксазолиновый фрагмент.

Нами был разработан способ получения неописанных ранее производных 1-окса-2,7-диазаспиро[4.5]деп-2-ен-6,8-диона, исходными соединениями в котором выступили 3-метилиденглутаримида и различные альдоксимы (Схема).



**Схема.** Синтез производных 1-окса-2,7-диазаспиро[4.5]деп-2-ен-6,8-диона

Было получено 16 спироциклических производных глутаримида с различными заместителями в 3-ем положении изоксазолинового фрагмента. Большинство из синтезированных соединений показали крайне низкий уровень цитотоксичности на линии раковых клеток миеломы. Методом микромасштабного термофореза было измерено сродство веществ с талидомид-связывающим доменом человеческого цереблона (hTBD), что позволило выявить три соединения-лидера с значением  $K_i$  в диапазоне 3,6–3,8 мкМ (для Талидомида  $K_i = 8,5$  мкМ). Также на основании кристаллографического анализа были обнаружены две важные особенности расположения соединений-лидеров в активном центре CCRN, обусловленные пространственными ограничениями, вводимыми спиро-изоксазольным мотивом, которые, как мы предполагаем, увеличивают сродство полученных молекул к CCRN.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 22-13-00005.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. S.-M. Qi, J. Dong, Z.-Y. Cheng., *Front Pharmacol.* **2021**, *12*, 1



**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**

**СЕКЦИЯ  
«ФИЗИЧЕСКАЯ  
И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ»**

## ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ГРАФИТИРОВАННОЙ САЖИ И ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ КЛОПИДОГРЕЛА

**Студент 4 курса Абдуллин Я.Р.**

Руководитель доцент Перфилова Ю.А.

Уфимский университет науки и технологий

*yaroslav\_abdullin@list.ru*

Клопидогрел (Клп) используется для снижения способности тромбоцитов к агрегации. Молекула имеет два энантиомера: S-Клп активен и проявляет терапевтический эффект, а R-Клп лишен антиагрегационной активности и, более того, способен вызывать судороги.

В нашей работе для распознавания энантиомеров Клп разработана сенсорная система на основе трёх стеклоуглеродных электродов, энантиоселективный сенсорный слой которых создавали с использованием комбинации мезопористой сажи Carbopack X (СрХ) и производных циклопентадиена с хиральными центрами. Полученные данные обрабатывали хемометрически с использованием метода главных компонент и проекции на латентные структуры для повышения вероятности распознавания.

Методами сканирующей электронной микроскопии, спектроскопии электрохимического импеданса, циклической и дифференциально-импульсной вольтамперометрии были изучены морфологические, электрохимические и аналитические свойства полученных сенсоров. Изучено электрохимическое поведение Клп на предложенных сенсорах. Расчет количества электронов при электрохимической реакции показал, что механизм окисления молекулы Клп предположительно связан с окислением третичной аминогруппы с участием одного протона и одного электрона. Показано, что вольтамперограммы R- и S-Клп отличаются как по токам, так и по потенциалам пиков окисления. Проведено определение энантиомеров Клп в биологических жидкостях, линейные зависимости токов пиков окисления энантиомеров Клп от их концентрации в растворе для всех сенсоров сохраняются в диапазоне концентраций от  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-6}$  М с пределом обнаружения от 0,6 до 0,9 мкМ. Предложенные сенсоры обладают перекрестной чувствительностью к энантиомерам Клп, что позволило объединить их в сенсорную систему. При использовании предложенной сенсорной системы вероятность правильно распознанных образцов возрастает по сравнению с единичными сенсорами. Во всех случаях содержание R-энантиомера Клп в смеси было установлено правильно с относительной погрешностью, не превышающей 9 % и правильностью определения от 96 % до 102 %. Сенсорная система на основе СрХ и производных циклопентадиена позволяет определять содержание R-Клп в смеси энантиомеров, что подразумевает возможность ее практического применения.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Yu.A. Yarkaeva, M.I. Nazyrov, Y.R. Abdullin, P.V. Kovayzin, V.N. Maistrenko, *Chirality*. 2023, 35(9), 625.

# РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОЙ ЧЕРНИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ НАНОЧАСТИЦАМИ БЕРЛИНСКОЙ ЛАЗУРИ

**Студент 3 курса Абишев М.А.**

Руководитель к.х.н. Вохмянина Д. В.

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

*mark.abishev@chemistry.msu.ru*

В настоящее время актуален поиск нанозимов, имитирующих каталитическую активность ферментов. Перспективными нанозимами, имитирующими пероксидазную активность, являются наночастицы берлинской лазури (НЧ БЛ), наиболее эффективного электрокатализатора восстановления пероксида водорода [1]. Тем не менее, скорость генерации сигнала ограничена переносом заряда через пленку берлинской лазури к поверхности электрода. Следовательно, для улучшения характеристик сенсора необходимо увеличить проводимость.

С этой целью мы модифицировали углеродную чернь наночастицами БЛ путем проведения каталитического синтеза НЧ БЛ в присутствии наночастиц сажи. Средний размер полученных наночастиц варьировался от ~60 нм до ~220 нм в зависимости от концентрации исходных веществ. Аналитические характеристики модифицированных электродов были сопоставимы с характеристиками лучших на данный момент электродов, модифицированных смесями НЧ БЛ и сажи [2]. После оптимизации методики коэффициент чувствительности сенсоров на основе НЧ БЛ и сажи составил 1,01 А/М·см<sup>2</sup>.

Путем иммобилизации глюкозооксидазы в мембрану хитозана на поверхности модифицированных электродов изготовили биосенсоры с коэффициентом чувствительности 36 мА/М·см<sup>2</sup>, пределом обнаружения  $5 \cdot 10^{-6}$  М и линейным диапазоном определяемых содержаний от  $5 \cdot 10^{-6}$  М до  $1 \cdot 10^{-3}$  М.

Разработанные биосенсоры были апробированы для анализа образцов крови. Полученные значения совпали с определенными независимым методом в пределах погрешности.

Таким образом, проведение каталитического синтеза нанозимов в присутствии сажи позволяет путем одностадийной модификации получить высокоэффективные сенсоры на пероксид водорода. Биосенсоры на основе модифицированных по новой методике электродов пригодны для анализа образцов крови.

*Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ № 24-23-00250.*

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.A. Komkova, A.A. Karyakin, *Mikrochim. Acta*. **2022**, *189*, 290.
2. M.A. Komkova, K.D. Andreeva, A.A. Zarochintsev, A.A. Karyakin, *ChemElectroChem*. **2021**, *8*, 1117.

## ВКЛЮЧЕНИЕ ГЛЮКОЗОДЕГИДРОГЕНАЗ В ПРЯМОЙ БИОЭЛЕКТРОКАТАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОЧАСТИЦ ПОЛИАЗИНОВ ДЛЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ БИОСЕНСОРОВ

**Студентка 3 курса Александрович А.С.**

Руководитель к.х.н. Комкова М.А.

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

*alexandrovichas@my.msu.ru*

Одним из способов создания биосенсоров нового поколения является включение ферментов в прямой биоэлектрокатализ (ПБЭК), когда кофактор обменивается электронами с электродом без участия медиатора. Повысить эффективность ПБЭК можно путем ориентации ферментов на поверхности электрода, несущей фрагменты ко-субстратов. Так как феназины являются одними из лучших субстратов для глюкозодегидрогеназ (ГДГ), в работе было предложено со-иммобилизовать пирролохинолинхинон-зависимую ГДГ с НЧ поли(метиленового зеленого) (поли(М3)). Такой подход, с одной стороны, позволяет ориентировать фермент на электроде, с другой, обеспечивает высокую площадь проводящей поверхности для эффективного транспорта электронов [1].

Предложен электрохимический синтез коллоида полимерных наноструктур М3 в ходе длительного циклирования потенциала на поверхности графитового электрода. Образование полимерных наноструктур подтверждено методом квадратно-волновой вольтамперометрии. Согласно данным РЭМ, в ходе синтеза образуются глобулярные структуры размером 70–150 нм, а соотношение полимерных НЧ и мономера регулируется количеством циклов полимеризации. НЧ поли(М3) и ГДГ могут быть иммобилизованы на поверхности электрода методом drop-casting, что исключает трудоемкие стадии традиционного электросинтеза полимера и делает возможным масштабирование процесса изготовления глюкозных биосенсоров.

Потенциалы наблюдаемых полярографических полуволн электрокатализического окисления глюкозы (−60 и 130 мВ) глюкозодегидрогеназой, адсорбированной на НЧ, соответствуют последовательным редокс-превращениям пирролохинолинхинона и совпадают с потенциалами, полученными для ГДГ, включенной в ПБЭК посредством углеродных нанотрубок. Более выраженная полуволна в катодной области говорит о преобладании ПБЭК по отношению к медиаторному переносу электрона. Отношение медиаторного к безмедиаторному току окисления глюкозы достигают значений 2–2,5, что в 2,5 раза меньше, чем для пленок поли(М3). Такие низкие значения указывают на высокую эффективность безмедиаторного электрокатализа.

Биосенсоры были адаптированы для работы в микрокапиллярной ячейке в режиме генерации мощности. Была исследована концентрация глюкозы в неразбавленном поте пяти добровольцев. Относительные изменения концентраций глюкозы коррелируют с референсными значениями, что показывает возможность использования разработанных сенсоров для неинвазивной диагностики диабета по анализу пота.

*Работа выполнена при финансовой поддержкегранта РНФ № 21-73-10123.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. М.А. Комкова, А.С. Александрович, А.А. Каракин., *Talanta*, 2024, 267, 125219.

## МЕТАНОФУЛЛЕРЕНЫ НА ОСНОВЕ $C_1-C_{70}(CF_3)_{10}$ : ПОЛУЧЕНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ЭЛЕКТРОННЫЕ СВОЙСТВА

**Студентка 4 курса Батогова И.Д.**

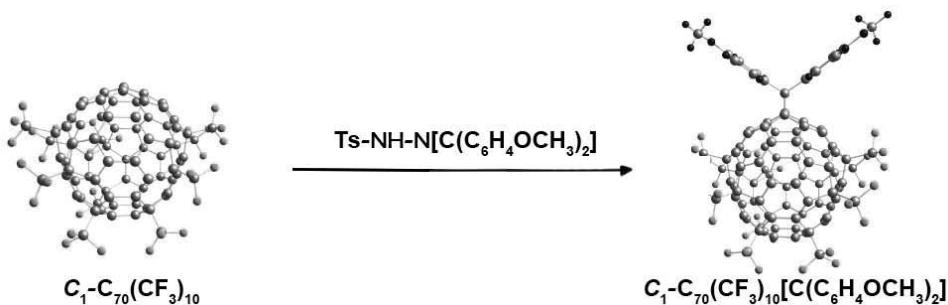
Руководитель к.х.н. Луконина Н.С.

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

*irina.batogova@chemistry.msu.ru*

Поиск органических соединений, демонстрирующих полупроводниковые свойства, – одно из актуальных направлений современных исследований по дизайну устройств органической электроники (солнечных батарей, полевых транзисторов, светоизлучающих диодов и т.п.). Фуллерены и их производные являются представителями органических полупроводниковых материалов с электронным типом проводимости [1]. На электронные свойства производных фуллеренов существенное влияние оказывает мотив расположения аддендов, обеспечивающий формирование на каркасе  $\pi$ -систем различного размера и топологии. Таким образом, варьирование типа, числа и мотива расположения присоединяемых аддендов позволяет управлять электронными свойствами получаемых соединений [2].

Особенность химических реакций фуллеренов состоит в наличии большого числа конкурирующих эквивалентных реакционных центров, способствующих образованию смеси региоизомерных продуктов. В нашей работе была изучена реакция аннелирования циклопропанового фрагмента к трифторметилфуллерену  $C_1-p^7mp-C_{70}(CF_3)_{10}$ . В случае  $C_1-p^7mp-C_{70}(CF_3)_{10}$  присутствие десяти групп  $CF_3$  с установленным мотивом присоединения оказывает ориентирующее влияние на региоселективность реакций его дальнейшей функционализации. Схема реакции приведена на рисунке.



**Рис.** Схема реакции присоединения тозилгидразона 4,4'-диметоксибензофенона к фуллереновому каркасу

Установлено, что в реакции  $C_1-p^7mp-C_{70}(CF_3)_{10}$  с тозилгидразоном 4,4'-диметоксибензофенона образуется не менее трех региоизомеров моноаддуктов  $C_{70}(CF_3)_{10}[N[C(C_6H_4OCH_3)_2]]$ . Строение новых соединений предложено на основании данных ЯМР  $^1H$  и  $^{19}F$ , спектроскопии поглощения в УФ и видимой областях. Электронные и электрохимические свойства новых метанофуллеренов исследованы методом флуоресцентной спектроскопии и циклической вольтамперометрии. Проведены квантово-химические расчеты методом теории функционала плотности (PBE/TZ2p), позволяющие объяснить региоизомерный состав продуктов реакции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Rathanasamy, S. Sahoo, J.H. Lee, *J. Electron Mater.* **2021**, *50*, 1845.
2. K.P. Castro, Y. Jin, J.J. Rack J., *Phys. Chem. Lett.* **2013**, *4*, 2500.

# ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ СЕНСОР НА ОСНОВЕ ГИБРИДНОГО МАТЕРИАЛА ТРИТЕРПЕНОИД-ОКСИД ГРАФЕНА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНАНТИОМЕРОВ ПРОПРАНОЛОЛА

**Студентка 4 курса Гайнанова С.И.**

Руководитель к.х.н. Загитова Л.Р.

Уфимский университет науки и технологий

Svetlanaga07@gmail.com

Биомолекулы присутствуют в живых организмах преимущественно в одной из оптически активных форм. Это в значительной степени объясняет понимание того, почему энантиомеры лекарственных средств, помещенные в хиральную среду, такую как живой организм, действуют как совершенно разные молекулы и проявляют различную фармакологическую активность. Например, S-пропранолол (Проп) в 179 раз более эффективен, чем R-Проп. В последнее время энантио-чистые лекарственные препараты составляют большую часть из одобренных для терапии во всем мире. Поэтому хиральный анализ становится неотъемлемой частью фармацевтического анализа, где энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры (ЭВС) играют важную роль благодаря простоте конструкции и экспрессности анализа.

Нами разработан ЭВС на основе стеклоуглеродного электрода (СУЭ) и нового гибридного материала – тритерпеноид-оксид графена для распознавания и определения энантиомеров Проп – неселективного  $\beta$ -адреноблокатора, широко использующегося для лечения сердечно-сосудистых заболеваний. Бетулоновая кислота (БетК) используется в качестве хирального селектора, а оксид графена (ОГ) в качестве углеродной матрицы в составе чувствительного слоя. Мы провели ковалентную функционализацию ОГ-БетК и разработали методику нанесения данного материала на поверхность СУЭ. Эффективность ковалентной функционализации ОГ-БетК доказана методами ИК-спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии. По данным циклической вольтамперометрии установлено влияние состава чувствительного слоя на аналитический сигнал. Эффективная площадь поверхности сенсора увеличивается в ряду: СУЭ/БетК ( $0,36 \pm 0,04 \text{ мм}^2$ ) < СУЭ ( $4,97 \pm 0,05 \text{ мм}^2$ ) < < СУЭ/ОГ-БетК ( $5,43 \pm 0,06 \text{ мм}^2$ ) < СУЭ/ОГ ( $6,39 \pm 0,05 \text{ мм}^2$ ) < СУЭ/ОГ/ОГ-БетК ( $6,66 \pm 0,04 \text{ мм}^2$ ). Механизм распознавания основан на различиях в энергиях взаимодействия R- и S-Проп с хиральным селектором БетК, что подтверждено квантово-химическими расчетами. На конечном сенсоре (СУЭ/ОГ/ОГ-БетК) коэффициент энантиоселективности (IS/IR) достигает 1,30, разность потенциалов 30 мВ. Сенсор позволяет проводить количественный анализ энантиомеров Проп в линейном диапазоне концентраций 5–400 мкМ с пределом обнаружения 0,39 и 0,5 мкМ для S- и R- Проп. Методом «введено-найдено» проведено определение энантиомеров Проп в биологических жидкостях с Sr менее 4,3 %. Состав смеси энантиомеров Проп определен с помощью регрессионного анализа путем варьирования массового содержания, все образцы тестового набора идентифицированы правильно с Sr менее 3,9 %. Таким образом, ковалентная функционализация ОГ-БетК позволяет получить сенсор с заданными аналитическими и операционными характеристиками.

Исследование выполнено за счет средств молодежного гранта Главы Республики Башкортостан (14.08.2023).

## ПОИСК БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МЕДИАТОРОВ РАЗРЯДА/ЗАРЯДА ЛИТИЙ-КИСЛОРОДНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ СРЕДИ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ $p$ -МЕТАЛЛОВ

**Студент 4 курса Дернов Г.В.**

Руководитель к.х.н. Захарченко Т.К.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

*glebdernov@mail.ru*

Литий-кислородные аккумуляторы (ЛКА) привлекли к себе пристальное внимание исследователей в связи с их высокой теоретической плотностью энергии. Однако на данном этапе разработки этих источников тока возникают существенные трудности в ходе разряда/заряда, связанные с основным продуктом разряда – пероксидом лития. В процессе разряда ЛКА происходит пассивация электрода  $\text{Li}_2\text{O}_2$ , а в процессе заряда ЛКА становится затрудненным его окисление, которое объясняется его низкой электронной проводимостью и малой растворимостью в электролите. Одним из способов решения вышеперечисленных проблем является введение в систему бифункциональных медиаторов, способствующих образованию пероксида лития в объеме раствора, а не на поверхности электрода в ходе разряда, и его разложению в ходе заряда.

В нашей работе в качестве бифункциональных медиаторов разряда/заряда были исследованы следующие соединения:  $\text{Ph}_3\text{Me}$  ( $\text{Me} = \text{Bi}, \text{Sb}$ ),  $\text{Ph}_3\text{MeHal}_2$  ( $\text{Me} = \text{Bi}, \text{Sb}$ ;  $\text{Hal} = \text{Cl}, \text{Br}$ ),  $\text{Ph}_3\text{MeCl}$  ( $\text{Me} = \text{Sn}, \text{Pb}, \text{Ge}$ ) и  $\text{R}_3\text{SbBr}_2$  ( $\text{R} = \text{Me}, i\text{-propyl}, \text{Ph}, p\text{-Tol}$ ). Для каждого соединения были проведены исследования механизма реакции восстановления/выделения кислорода, в том числе в присутствии ионов лития, в электролите на основе диметилсульфоксида на стеклоуглеродном рабочем электроде, а также исследованы кривые разряда и заряда литий-кислородной ячейки в электролите на основе диметилового эфира тетраэтиленгликоля с положительным электродом из углеродной бумаги.

Было установлено, что в условиях работы литий-кислородного аккумулятора  $\text{Ph}_3\text{PbCl}$  электрохимически неустойчив, поэтому в дальнейшем данное соединение не исследовалось. Добавление в ячейку  $\text{Ph}_3\text{Sb}$  никак не влияет на вольтамперограмму, полученную в его отсутствии, поэтому данное соединение не участвует в работе ячейки и, следовательно, не является медиатором разряда. Отсутствие анодных пиков на вольтамперограмме для  $\text{Ph}_3\text{SbCl}_2$  в насыщенном кислородом растворе свидетельствует о сильном связывании Sb с  $\text{O}_2^-$ , препятствуя образование  $\text{Li}_2\text{O}_2$ , поэтому данное соединение не проявляет свойств медиатора разряда. Те же самые результаты наблюдаются для бромидов сурьмы с другими органическими лигандами. Добавление в ячейку соединений на основе Bi, Sn и Ge приводит к увеличению разрядной ёмкости, достигающей наибольшего значения для  $\text{Ph}_3\text{BiHal}_2$ . Следовательно, данные соединения являются медиаторами разряда. При этом использование бромидных соединений приводит к уменьшению напряжения заряда на 0,4 В по сравнению с хлоридными, поскольку образующееся при окислении Br- соединение является медиатором заряда.

Таким образом, наиболее перспективным в качестве бифункционального медиатора разряда/заряда литий-кислородного аккумулятора из всех вышеперечисленных металлоорганических соединений является  $\text{Ph}_3\text{BiBr}_2$ , так как его добавление в ячейку приводит к значительному увеличению ёмкости разряда и к существенному снижению напряжения заряда.

## ЭЛЕКТРОАНАЛИЗАТОР $\text{H}_2\text{O}_2$ В ВЫДЫХАЕМОМ АЭРОЗОЛЕ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ПУЛЬМОНОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Студент 3 курса Дубов Л.А.<sup>1</sup>,**

Руководители к.х.н. Комкова М.А.<sup>2</sup>, д.х.н. Карякин А.А.<sup>2</sup>

*МГУ им. М.В. Ломоносова,*

*<sup>1</sup>Факультет наук о материалах, <sup>2</sup>Химический факультет  
leo.dubov@gmail.com*

Исследование содержания пероксида водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) в выдыхаемом аэрозоле имеет особую важность для исследования болезней легких. Легочные заболевания, такие как бронхиальная астма, ХОБЛ, пневмонии и легочные инфекции, сопровождаются повышением концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$  при наличии патологических изменений. В медицинской практике используется длительный сбор (до 30 минут) конденсата выдыхаемого воздуха с экстремальным охлаждением (до  $-78^{\circ}\text{C}$ ), что разбавляет получаемый конденсат выдыхаемым паром и закономерно приводит к снижению концентраций метаболитов. Нашей целью была разработка сенсорной системы анализа аэрозоля в момент выдоха без дополнительного охлаждения.

В качестве основы разрабатываемой системы используются электрохимические сенсоры на основе берлинской лазури (БЛ) как наиболее селективные и чувствительные в своем классе [1]. Для конденсации выдыхаемого аэрозоля на поверхность сенсора его покрывают слоем твердого гигроскопичного электролита и мембраной на основе аминированного оксида графена (ОГ). В условиях влажного воздуха ОГ обеспечивает улавливание и аккумуляцию аэрозоля за счет эффекта капиллярной конденсации, что обеспечивает проводимость 2 рода между электродами. Согласно данным циклической вольтамперометрии, максимальная электроактивность БЛ достигается в течение 15 секунд пропускания аэрозоля, при этом расстояние между катодными и анодными пиками снижается с 0,3–0,4 В до 50–150 мВ.

В разработанной сенсорной системе в качестве аналитического сигнала рассматривали амперометрический отклик при 0 В относительно хлоридсеребрянного электрода сравнения. Зависимость тока пика линейно зависит от скорости анализируемого потока аэрозоля, достигая насыщения при скоростях выше 100 мл/с, соответствующих скоростям, создаваемых при спокойном дыхании человека, что позволяет использовать систему в момент выдоха. Линейный диапазон детектируемых содержаний  $\text{H}_2\text{O}_2$  в аэрозоле определяется скачком потенциала: при скачке потенциала  $-0,7$  В – от 0,05 мкМ до 0,5 мкМ,  $-0,6$  В – от 5 мкМ до 20 мкМ. Таким образом, изменения скачок потенциала, можно управлять диапазоном детектируемых содержаний. Согласно данным спектрофотометрической детекции с использованием фермента пероксидазы, концентрации  $\text{H}_2\text{O}_2$  в выдыхаемом аэрозоле варьируются от 1 до 10 мкМ, при этом в выдохе курящих добровольцев концентрация достоверно выше (в 2–3 раза), чем у некурящих людей. Таким образом, разработанная система потенциально может быть использована для неинвазивного экспресс-мониторинга воспалительных процессов в легких.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № № 21–73–10123.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. A.A. Karyakin, Curr. Opin. Electrochem. **2017**, 5.

# МЕМБРАНЫ НА ОСНОВЕ СУЛЬФИРОВАННЫХ ПЕРФТОРПОЛИМЕРОВ В ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРАХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОМАРКЕРОВ ВИРУСНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

**Студент 3 курса Жучков Т.Р.**

Руководитель д.х.н. Паршина А.В.

Воронежский государственный университет

*timurzickov65617@gmail.com*

Аминокислоты и их производные являются маркерами многих социально-значимых заболеваний, что обуславливает актуальность разработки методов их экспресс-определения в физиологических средах. Для совместного определения родственных анализаторов в средах сложного состава может быть использован мультисенсорный подход, в котором отклики массивов перекрестно чувствительных сенсоров обрабатываются с помощью многомерных математических методов. Реализация такого подхода достигается совершенствованием хемометрических приемов и поиском новых сенсорных материалов с управляемой чувствительностью. Для анализа биологически активных сред важны также биосовместимость, низкая подверженность фаулингу, быстрота и эффективность регенерации материалов сенсоров. Этим требованиям наилучшим образом отвечают перфторированные сульфокислотные мембранны [1]. Варьирование их свойств может достигаться оптимизацией условий синтеза. При этом влияние предыстории мембран не столь хорошо изучено, но представляет большой интерес, поскольку природа диспергирующей жидкости и физическое воздействие на дисперсию полимера оказывают влияние на его морфологию и, как следствие, на микроструктуру мембранны.

Нашей целью была разработка потенциометрических перекрестно чувствительных сенсоров на основе перфторированных сульфокислотных мембран с длинной и короткой боковой цепью (комерческих и полученных методом отливки из дисперсий разного состава) для определения низкомолекулярных маркеров вирусных заболеваний (*N*-ацетил-*L*-метионина, *L*-карнитина и *L*-лизина). Для получения мембран были использованы дисперсии полимеров Nafion 212 и Aquilon 87 в *N*-метил-2-пирролидоне и смеси изопропилового спирта с водой (предоставлены Лабораторией ионики функциональных материалов ИОНХ РАН) [2]. Показана возможность варьирования чувствительности сенсоров к аминокислотам и их производным посредством изменения микроструктуры мембран в зависимости от длины боковой цепи полимера, природы диспергирующей жидкости и условий формирования пленок. Погрешность совместного определения ионов трех биомаркеров в растворах, имитирующих слону человека, с помощью мультисенсорной системы составила 3–18 %, а их группового определения с помощью отдельных сенсоров – 0,3–9 %. Повторная градуировка сенсоров после длительного контакта с биологически активными средами показала высокую устойчивость мембранны к фаулингу.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. П.Ю. Апель, С. Велизаров, А.В. Волков, Т.В. Елисеева, В.В. Никоненко, А.В. Паршина, Н.Д. Письменская, К.И. Попов, А.Б. Ярославцев, *Мем. и мем. техн.* **2022**, 12, 81.
2. A.V. Parshina, E.Y. Safronova, S.A. Novikova, N. Stretton, A.S. Yelnikova, T.R. Zhuchkov, O.V. Bobreshova, A.B. Yaroslavtsev, *Membranes*. **2023**, 13(8), Article 701.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСТВОРИТЕЛЯ НА ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИЮ [ $^{15}\text{N}_3$ ]МЕТРОНИДАЗОЛА И [ $^{15}\text{N}_3$ ] НИМОРАЗОЛА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА SABRE-SHEATH

**Студентка 4 курса И А.П.**

Руководитель к.х.н. Сальников О.Г.

*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет.*

*Международный томографический центр СО РАН*

*a.i@g.nsu.ru.*

[ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазол и [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазол, являются радиосенсибилизаторами гипоксии и в перспективе могут применяться в качестве контрастных агентов в МРТ для визуализации раковых опухолей. В ранее опубликованных работах [1, 2] изучалась перенос поляризации для [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола и [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола в метаноле- $d_4$ , однако поляризация данных веществ в недейтерированных растворителях до этого не исследовалась. Это представляет интерес, поскольку используемый в работе этанол является более биосовместимым растворителем по сравнению с метанолом- $d_4$ .

Из работ [1, 2] по гиперполяризации [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола и [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола известно, что на уровнях поляризации в значительной степени влияют магнитное поле, в котором происходит перенос, и температура. На основе этих работ устанавливались диапазоны варьирования температуры и поля, из полученных зависимостей определялись оптимальные условия для дальнейших экспериментов: зависимости поляризации от времени накопления поляризации, времён релаксации в микролесовых полях и в поле 1,4 Тл, скорости потока параводорода и давления в системе.

В нашей работе изучалось влияние растворителя на уровни поляризации [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола и [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола с помощью метода SABRE-SHEATH и определялись оптимальные условия поляризации субстратов. В результате были установлены оптимальные значения магнитного поля, в котором происходит перенос поляризации, и температуры: для [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола в метаноле максимальная поляризация наблюдалась при 23 °C и 0,72 мкТл, в этаноле – также при 23 °C и поле 0,67 мкТл, для [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола в метаноле – при 43 °C и 0,55 мкТл, в этаноле – при 33 °C и 0,62 мкТл при давлении 7,8 бар, скорости потока параводорода 70 см<sup>3</sup>/мин (в пересчёте на н.у.). Полученные данные хорошо сходятся с результатами более ранних работ [1, 2]. Наибольшие времена релаксации в поле 1,4 Тл для  $^{15}\text{N}$  ядра нитрогруппы наблюдались в метаноле для [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола, в этаноле – для [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола и составляли порядка нескольких минут. Для  $^{15}\text{N}-1$  и  $^{15}\text{N}-3$  ядер обоих субстратов поляризация спадала значительно медленнее. Также в ходе экспериментов наблюдалось, что максимальная поляризация для [ $^{15}\text{N}_3$ ]метронидазола падает при переходе от метанола- $d_4$  к недейтерированному метанолу и далее к этанолу. Для [ $^{15}\text{N}_3$ ]ниморазола наибольшие значения поляризации сопоставимы в  $\text{CD}_3\text{OD}$  и  $\text{CH}_3\text{OH}$  и выше для  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Полученные высокие уровни поляризации исследованных веществ, а также достаточно большие времена релаксации  $^{15}\text{N}$  ядер в исследованных гиперполяризованных молекулах демонстрируют хорошие перспективы для дальнейшего применения данных соединений в качестве контрастных агентов в МРТ для визуализации раковых опухолей.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Birchall J.R. et al. *Chem. Commun.* **2020**, 56, 9098.
2. Salnikov O.G. et al. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, 60, 2406.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ФЛУОРЕСЦЕНТНОГО МОЛЕКУЛЯРНОГО СЕНСОРА НА ОСНОВЕ BODIPY

**Студентка 4 курса Кокурина Т.В.**

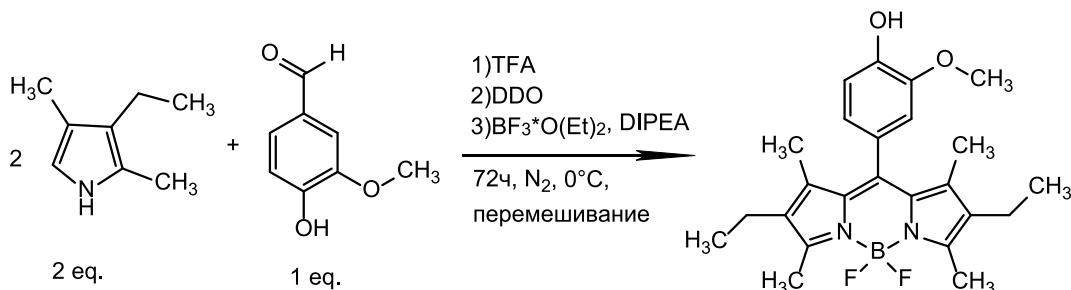
Руководитель к.х.н. Ксенофонтова К.В.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*kokurina-t@mail.ru*

Борфоридные комплексы дипиррометена (BODIPY) привлекают внимание из-за своих уникальных свойств и широкой области применения. Эти флуоресцентные красители характеризуются узкими полосами поглощения и флуоресценции, малыми стоксовыми сдвигами, высокими квантовыми выходами флуоресценции, а также простотой структурных модификаций, что открывает возможности для настройки спектральных свойств. BODIPY применяются в качестве маркеров биомолекул, «оп-off»-сенсоров для определения pH и полярности среды, агентов фотодинамической терапии, а также для производства органических светодиодов. Использование BODIPY в качестве флуоресцентных pH-сенсоров перспективно вследствие преимуществ флуоресцентных сенсоров по сравнению со стеклянным электродом, а именно отсутствием хрупкости, быстрым откликом, наглядностью и простотой использования.

В ходе нашей работы был синтезирован новый флуоресцентный pH-сенсор на основе комплекса BODIPY (van-BODIPY). Структура полученного соединения была подтверждена методами масс-спектрометрии, ИК- и ЯМР-спектроскопии.



**Рис.** Краткая схема синтеза флуоресцентного сенсора van-BODIPY

Были изучены спектральные свойства в различных средах, рассчитаны фотофизические характеристики. Установлено, что van-BODIPY не проявляет сольватохромных свойств и не является сенсором полярности среды. В ходе исследования спектральных свойств в кислотных и основных растворах было замечено, что van-BODIPY демонстрирует отклик на щелочную среду, – наблюдается затухание флуоресценции при  $\text{pH} \geq 10$ . Это свойство представляет интерес, так как число описанных в литературе производных BODIPY, сенсоров щелочной среды, крайне мало.

*Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 22-73-10167 с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ и Центра коллективного пользования научным оборудованием «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ *MACl* И РЕЖИМА ОТЖИГА НА МОРФОЛОГИЮ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОПОГЛОЩАЮЩИХ ПЛЁНОК ГИБРИДНЫХ ГАЛОГЕНОПЛЮМБАТОВ

**Студент 2 курса Мисютин В.А.**

Руководитель к.х.н. Белич Н.А.

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

Недавно был открыт новый класс материалов для солнечной энергетики — гибридные органо-неорганические перовскиты  $ABX_3$  ( $A$  = катион метиламмония ( $MA^+$ ), катион формамидиния ( $FA^+$ ),  $Cs^+$ ;  $B$  =  $Pb^{2+}$ ,  $Sn^{2+}$ ;  $X$  =  $I^-$ ,  $Br^-$ ). Эти материалы считаются весьма перспективными благодаря высокому КПД перовскитных солнечных элементов наряду с низкими материальными затратами на их производство.

Один из способов улучшения характеристик светопоглощающих плёнок гибридных перовскитов — введение добавок хлоридов в материал. Отмечается, что добавки на основе  $Cl$  увеличивают длину диффузии носителей заряда в перовските, повышая эффективность переноса заряда в целом. В то же время, в большинстве известных методик синтеза перовскитов с добавками хлора в материале формируется примесь  $PbI_2$  из-за частичного разложения фазы перовскита. В отличие от перовскита, примесь  $PbI_2$  является нефотоактивной фазой, которая разлагается под действием света на  $Pb$  и  $I_2$ , что приводит к увеличению скорости деградации плёнки. Результаты выполнения работы подтверждают, что избыток органического катиона может уменьшить количество  $PbI_2$  в конечных плёнках за счёт связывания в фазу перовскита. В связи с этим задачей исследования является установление зависимости влияния добавки хлоридов (в частности, хлорида метиламмония) в раствор прекурсоров и содержания  $PbI_2$  в конечной плёнке на состав, морфологию и функциональные свойства светопоглощающих плёнок.

Используя растворный метод — спин-коатинг, в ходе работы была изготовлена серия тонких плёнок  $FA_{0,85}Cs_{0,15}PbI_3$ , отожжённых при  $125\ ^\circ C$ ,  $150\ ^\circ C$  и  $175\ ^\circ C$ , в качестве хлоридного прекурсора был использован  $MACl$  с массовой долей от 0 %, до 33,33. Рентгенофазовый анализ показал наличие примесей  $PbI_2$ ,  $FACl$ ,  $FAPbCl_3$  и  $Cs_2PbI_2Cl_2$  в полученных пленках, причем наличие  $PbI_2$  было, в основном, выявлено у образцов отожжённых при  $175\ ^\circ C$ , причиной чему является летучесть органического компонента  $FA$  и  $MA$ .

С помощью электронной растровой микроскопии было обнаружено, что для плёнок  $FA_{0,85}Cs_{0,15}PbI_3$  при добавлении в смесь прекурсоров от 0 % до 26,7 % избытка  $MACl$  наблюдается монотонное увеличение среднего размера кристаллитов от 150 нм до  $\sim 700$  нм.

Было установлено оптимальное количество добавки  $MACl$ , при котором наблюдается наибольшая интенсивность фотолюминесценции образцов:  $125\ ^\circ C$  — 6,67 %...20 %;  $150\ ^\circ C$  — 33,33 %;  $175\ ^\circ C$  — 20 %  $MACl$ .

Изготовлены прототипы солнечных элементов на основе плёнок « $Cs_{0,15}FA_{0,85}PbI_3 + MACl$ » с архитектурой «ITO / PTAA / F-PEAI / перовскит /  $C_{60}$  / BCP / Cu /  $MgF_2$ ». Установлено, что с увеличением добавки  $MACl$  до 13–20 % увеличивается начальный КПД образцов с  $\sim 10$  до  $\sim 14,5$  %.

# СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ КАТАЛИЗАТОРА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСНЫХ ПОЛИМЕРОВ

**Студент 3 курса Низамов Р.Р.**

Руководитель к.х.н., доцент Луконина Н.С.  
*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет*  
*ruslan.nizamov@chemistry.msu.ru*

Перспективным способом решения проблемы перехода на возобновляемые источники энергии является использование топливных ячеек, в которых генерация энергии происходит путём каталитического электрохимического окисления водорода кислородом. Высокой эффективности удалось добиться при использовании в качестве катализаторов реакции электрохимического восстановления кислорода (РВК) материалов на основе Pt, однако из-за высокой стоимости этого металла возникает необходимость изучения и внедрения катализитических систем на основе более доступных материалов [1]. В частности, такими материалами могут быть металл-органические координационные полимеры (МОКП) [2]. Этот класс соединений обладает высокой пористостью, что способствует их катализитической активности. Возможность использования одного из представителей МОКП в катализе реакции восстановления кислорода изучена в нашей работе.

Нами разработана методика получения однофазных образцов МОКП на основе меди, терефталата и пиридина, впервые установлено строение полученного соединения методом РСА (рис. 1). Образцы синтезированного МОКП также охарактеризованы методами РФА, ИК-спектроскопии, СЭМ и ЭДРА. Катализическая активность синтезированного МОКП в реакции восстановления молекулярного кислорода была впервые исследована методом циклической вольтамперометрии (рис. 2).

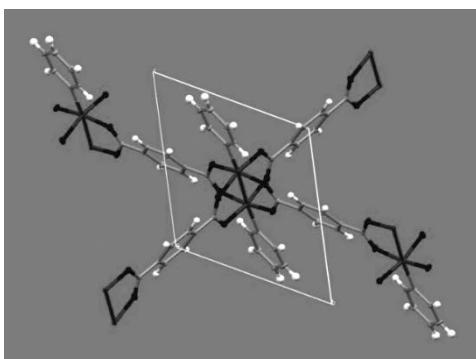


Рис. 1.

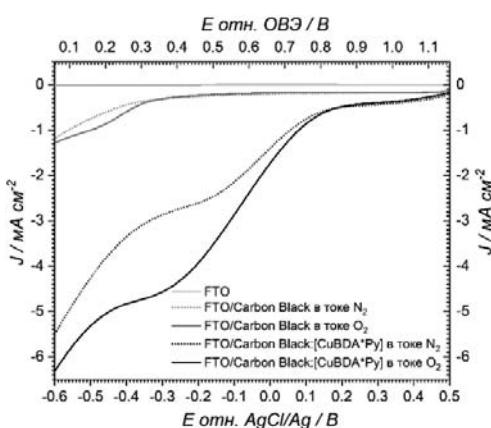


Рис. 2.

Установлено, что величина катодного тока в присутствии МОКП резко возрастает до значений, сравнимых с токами, наблюдаемыми при использовании платины в качестве катализатора (около  $5,5 \text{ mA/cm}^2$ ), и зависит от степени насыщения системы кислородом, что подтверждает катализитическую активность в РВК.

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. Stacy et al., *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2017**, 69.
2. S. Gonen et al., *Curr. Opin. Electrochem.* **2018**, 9.

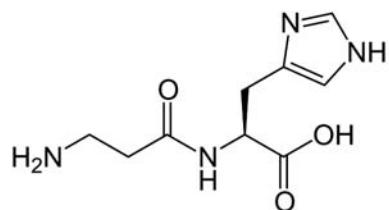
**МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ БИОСИСТЕМ  
НА ОСНОВЕ РЯДА КРАУН-ЭФИРОВ И L-КАРНОЗИНА  
МЕТОДАМИ КВАНТОВОЙ ХИМИИ: АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИИ  
И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ**

**Студентка 3 курса Павлова Э.А.**

Руководитель д.х.н. Белова Н.В.

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

Пептидные молекулы – класс соединений, играющих важную роль в биохимии растений и животных. Одним из представителей пептидов является L-карнозин, состоящий из остатков  $\beta$ -аланина и L-гистидина:



В качестве ряда модельных систем для изучения процессов комплексообразования были выбраны краун-эфиры 18-краун-6, 1,7-дигтиа-15-краун-5 и 1-аза-18-краун-6.

В нашей работе методами квантовой химии выполнен конформационный анализ молекулы карнозина и краун-эфиров, а также изучен процесс комплексообразования между компонентами модельных систем. Сведения о конформационных особенностях и электронном строении молекул карнозина и краун-эфиров необходимы для понимания механизмов биологических процессов, протекающих с их участием.

Квантово-химические расчеты выполнялись в рамках теории функционала электронной плотности с использованием программного пакета GAUSSIAN 03. Конформационные особенности молекул исследовали путем сканирования ППЭ (в приближении B3LYP/6-31G\*\*) относительно различных торсионных углов с шагом в  $10^\circ$  при оптимизации всех остальных геометрических параметров молекулы. Для стационарных точек ППЭ выполнялась полная оптимизация параметров и расчет частот колебаний с целью установления вида стационарной точки (с использованием функционала MO62X с базисными наборами aug-cc-pVTZ). Изучение распределения электронной плотности в молекуле проводилось в соответствии с теорией «Атомы в молекулах», реализованной в программе AIMALL, а также с помощью анализа натуральных орбиталей в рамках программы NBO 5.G, входящей в состав программного комплекса PC GAMESS.

При исследовании реакции комплексообразования была проведена оптимизация супрамолекулярных структур, а также проведён расчёт термодинамических характеристик. Анализ перераспределения электронной плотности выявил наличие неподеленных взаимодействий, играющих особую роль в биомолекулах. Был предложен механизм образования супрамолекулярных структур. Полученные результаты полезны для более глубоко понимания механизмов транспорта и переноса веществ в живых системах.

**КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СБОРКИ ФУРАНА ИЗ ХАЛКОНА И АЦЕТИЛЕНА  
В СУПЕРОСНОВНЫХ СРЕДАХ МОН/DMSO и МОtBu/DMSO  
(M = Na, K)**

**Студентка 4 курса Парахина П.Б.**

Руководитель к.х.н. Орел В.Б.

*Иркутский государственный университет*

*user2423@mail.ru*

В рамках метода B2PLYP(D2)/6-311+G\*\*//B3LYP/6-31+G\* исследован механизм сборки 2-метил-3,5-дифенилфурана из халкона (1,3-дифенил-2-пропен-1-она) и ацетилена в суперосновных средах МОН/DMSO и МОtBu/DMSO (M = Na, K) [1]. Моделирование этой реакции проводилось с явным включением в расчет сольватных комплексов МОН·nDMSO или МОtBu·nDMSO (M = Na, n = 4; M = K, n = 5) [2].

Сборка молекулы фурана из халкона и ацетилена в присутствии комплекса KOH·5DMSO (**1**) начинается с образования предреакционного комплекса KOH·5DMSO·HCCN (**3**) с понижением энергии на 0,9 ккал/моль относительно изолированных **1** и **2**. В комплексе **3** через переходное состояние **TS<sub>3@4</sub>** молекула ацетилена отдает протон гидроксид-иону, образуется комплекс с этинид-ионом KCCH·5DMSO·H<sub>2</sub>O (**4**). Активационный барьер образования этинид-иона составляет  $\Delta G^\ddagger = 2,1$  ккал/моль. Депротонирование ацетилена приводит к небольшому понижению энергии системы на 1,6 ккал/моль относительно **3**.

На следующем этапе сборки фурана этинид-ион в комплексе **4** образуется с молекулой халкона (**5**) предреакционный комплекс **6** с повышением энергии на  $\Delta G = 1,4$  ккал/моль. Далее этинид-ион в комплексе **6** присоединяется по C<sup>β</sup>-атому двойной C=C связи молекулы халкона с образованием комплекса β-ацетиленового енолят-иона (**7**). Это превращение осуществляется с активационным барьером  $\Delta G^\ddagger = 12,6$  ккал/моль и приводит к понижению энергии системы на 23,3 ккал/моль относительно **4** и **5**. Далее комплекс **7** претерпевает внутримолекулярное O-винилирование с образованием метилидендигидрофурана (**8**). Превращение **7→8** связано с активационным барьером  $\Delta G^\ddagger = 27,8$  ккал/моль и приводит к повышению энергии на 26,6 ккал/моль относительно **7**. Осуществляемое далее без активационного барьера протонирование комплекса **8** молекулой воды приводит к образованию 2-метилиден-3,5-дифенил-2,3-дигидрофурана (**9**) с понижением энергии системы на 23,1 ккал/моль. На заключительной стадии комплекс **9** претерпевает две прототропные перегруппировки, которые приводят к 2-метил-3,5-дифенилфурану (**10**) с понижением энергии еще на 21,6 ккал/моль.

Таким образом, на примере сборки фурана из халкона и ацетилена в явном присутствии комплекса KOH·5DMSO нами показано, что стадия образования дигидрофуранового цикла является лимитирующей. Энергия активации этой стадии ( $\Delta G^\ddagger = 27,8$  ккал/моль) труднопреодолима в условиях эксперимента 90 °C и 1 час.

Подробно были изучены реакционные профили сборки фуранов в присутствии комплексов оснований, моделирующих другие исследуемые суперосновные системы. Вид реакционных профилей во всех случаях схож. При этом различия в величинах лимитирующего активационного барьера стадии O-винилирования:  $\Delta G^\ddagger = 25,6$  ккал/моль (NaO'Bu·4DMSO),  $\Delta G^\ddagger = 28,4$  ккал/моль (NaOH·4DMSO),  $\Delta G^\ddagger = 27,8$  ккал/моль (KOH·5DMSO),  $\Delta G^\ddagger = 27,6$  ккал/моль (KO'Bu·5DMSO) хорошо объясняют экспериментально наблюдаемые различия в выходах фурана (42 %, 15 %, 24 %, 24 %).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. B.A. Trofimov, et al., *Asian J. Org. Chem.*, **2017**, 6, 6, 707.
2. V.B. Orel, et al., *J. Org. Chem.*, **2018**, 83, 7, 3719.

# ДИОКСИД ТИТАНА РАЗЛИЧНЫХ ПОЛИМОРФНЫХ ФОРМ КАК КАТАЛИЗАТОР АНАЛИТИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ТЕРМИНАЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПЕРХЛОРАТА

**Студент 4 курса Субботин Д.Р.**

Руководитель к.х.н. Лозинская Е.Ф.

*Курский государственный университет*

*dimonsubbotin7772002@gmail.com*

Свинцовые аккумуляторы занимают одну из лидирующих позиций в общем объеме выпуска вторичных химических источников питания. На стадии формирования поверхностной пластины используется электролит (содержание  $H_2SO_4$  80–250 г/дм<sup>3</sup>  $\rho = 1,05$ –1,15 г/см<sup>3</sup>) с добавкой перхлората калия 2–8 мг/см<sup>3</sup>. В ходе повторяющихся актов зарядки/разрядки формируется губчатый слой пластины, после чего присутствие перхлората в составе электролита приводит к охрупчиванию пластины, поэтому электролит необходимо сменить или разбавить.

Электролит – сложный объект для определения перхлората на фоне высокого содержания серной кислоты, учитывая, что точность определения должна быть на уровне 1 %. На производстве используется метод, основанный на нейтрализации электролита с последующим концентрированием пробы при выпаривании. Смесь кристаллических сульфатов и перхлоратов калия и натрия нагревают при температуре выше 700 °C в платиновом тигле до терминального разложения перхлората, после чего хлорид аргентометрически оттитровывают по методу Мора. Исключение платины, уменьшение температуры или времени экспозиции при обеспечении необходимой точности анализа приведет к снижению затрат на мониторинг содержания перхлората в электролите ванны формирования. Один из путей решения задачи – замена платины на оксиды 3d металлов. CuO, MnO<sub>2</sub> – известны как катализаторы разложения солей кислородсодержащих кислот хлора, но темный цвет создает неудобный фон для фиксации точки эквивалентности. Поэтому была предпринята попытка использования белого диоксида титана в качестве катализатора терминального разложения перхлората.

Целью работы является изучение возможности модификации существующего способа определения перхлората путём использования диоксида титана как катализатора реакции термического разложения до хлорида.

При изучении кинетики разложения перхлората калия в модели аналитической реакции пробоподготовки на 3-х образцах TiO<sub>2</sub> удалось отметить снижение энергии активации низкотемпературной стадии разложения твердой фазы KClO<sub>4</sub>.

№	Характеристики, по паспорту производителя*, по результатам рентгенофазового анализа**	$\Delta E_{акт}$ , кДж/моль
1	Рутил*,**, размер частиц 780 нм*, удельная поверхность по БЭТ 2,8 м <sup>2</sup> /г*	83
2	Микс-фаза анатаза и аморфного TiO <sub>2</sub> **, размер частиц 350 нм*, удельная поверхность по БЭТ 4,54 м <sup>2</sup> /г*	76
3	Анатаз **, размер частиц 24 нм*, удельная поверхность по БЭТ 61,2 м <sup>2</sup> /г*	37

При снижении температуры прокаливания на 100 °C при анализе электролита с содержанием перхлората 7,6 мг/см<sup>3</sup> удалось добиться желаемой точности определения.

## ПАССИВАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОКАТАДОВ Р-LaFeO<sub>3</sub>, ЭЛЕКТРООСАЖДЕННЫМИ ДВОЙНЫМИ ГИДРОКСИДАМИ НИКЕЛЯ И ЖЕЛЕЗА

**Студентка 4 курса Черткова В.П.**

Руководители к.х.н. Никитина В.А., н.с. Левин Э.Е.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

*viktoriiia.chertkova@chemistry.msu.ru*

Феррит лантана LaFeO<sub>3</sub> (LFO), обладающий проводимостью  $\rho$ -типа, является перспективным материалом для создания фотокатодов для фотоэлектрохимического разложения воды [1]. Высокая стабильность LFO в нейтральных и щелочных водных растворах является существенным преимуществом этого материала по сравнению с фотокатодами на основе оксидов меди, для которых характерна высокая скорость фотокоррозии. Однако, фотоэлектрохимическая активность LFO невысока, что связывают с высокой скоростью рекомбинации фотоиндущированных носителей заряда. Для преодоления этой проблемы поверхность оксидных фотокатализаторов модифицируют слоями других соединений, которые служат либо для более эффективного разделения заряда и предотвращения поверхностной рекомбинации (пассивирующие слои), либо для ускорения каталитической реакции (сокатализаторы) [2]. Настоящая работа посвящена исследованию влияния слоев двойных гидроксидов никеля и железа (NiFe-DH) на кинетику рекомбинации и межфазного переноса фотоиндущированных носителей заряда через границу LFO/раствор.

В качестве объекта исследования использовали пленки LFO, полученные методом золь-гель. Структуру и состав LFO характеризовали методами рентгенофазового и локального рентгеноспектрального анализа, оптические свойства пленок — методом спектроскопии поглощения. Электрохимически индуцированное осаждение аморфных слоев NiFe-DH проводили из водных растворов нитратов железа и никеля. Для получения количественной информации об изменениях скорости рекомбинации и скорости межфазного переноса заряда при нанесении покрытия NiFe-DH на поверхность LFO, из экспериментальных транзисторов фототока рассчитывали константы скорости межфазного переноса заряда и константы скорости рекомбинации [3]. Установлено, что константы скорости переноса заряда крайне слабо зависят как от потенциала, так и от наличия слоя NiFe-DH на поверхности LFO, в то время как константы скорости рекомбинации значительно снижаются в присутствии NiFe-DH. Полученные результаты позволяют заключить, что покрытие NiFe-DH проявляет пассивирующие, а не электрокатализические свойства.

*Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ № 22-23-20195.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Yu Q., *Chem. Commun.* **2015**, 51, 3630.
2. V.P. Chertkova *Nanomaterials*. **2022**, 12, 4327.
3. L.M. Peter J. *Electroanal. Chem.* **2020**, 872, 114234.

## ТЕМПЛАТНОЕ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ИНДИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ И ИЗМЕРЕНИЕ ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

**Студент 2 курса Шашков А.В.**

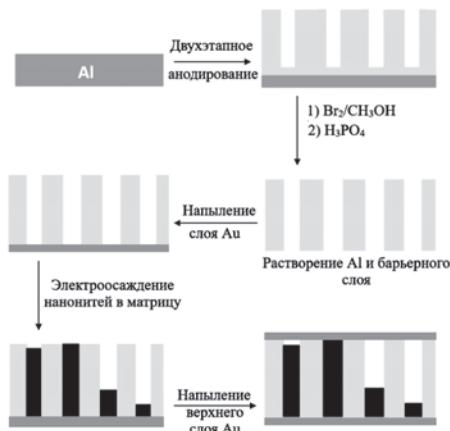
Руководители к.х.н., в.н.с. Напольский К.С., Ноян А.А.

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

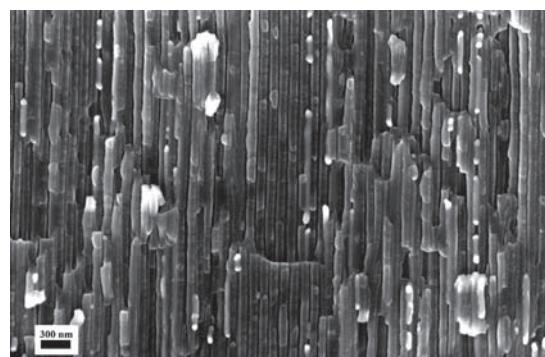
*shashkovav@my.msu.ru*

Металлические нанонити представляют большой научный интерес, так как вследствие геометрических и структурных параметров некоторые физические свойства нанонитей существенно отличаются от свойств объемных материалов. Благодаря своим особенностям нанонити перспективны для применения в сверхпроводящей микроэлектронике и нанофотонике. К свойствам, зависящим от размера, относится в том числе электронный транспорт. В связи с чем целью нашей работы была разработка методики получения массивов In нанонитей и измерение электрического сопротивления единичных In нанонитей разного диаметра.

Нанонити были получены нами электрохимическим осаждением In из сульфатного электролита в темплат на основе анодного оксида алюминия (АОА). Известно, что алюминий в процессе анодного окисления образует пористые оксидные плёнки с цилиндрическими порами, перпендикулярными плоскости пленки. Причем геометрические параметры пор можно изменять, подбирая соответствующие условия анодирования, благодаря чему были получены нанонити с диаметрами 45 и 200 нм. Процесс электроосаждения проводился при постоянном перенапряжении в 200 мВ.



**Рис. 1.** Схема темплатного синтеза In нанонитей



**Рис. 2.** Микрофотография скола нанокомпозита In/AOA

Для измерения сопротивления нанонитей был напылён токопроводящий слой на верхнюю часть образца. Измерение осуществлялось при развертке потенциала от  $-1$  до  $1$  мВ. В результате были получены значения сопротивления массивов нанонитей разного диаметра. Для определения сопротивления единичной нанонити была сделана развертка потенциала до  $1$  В. Было обнаружено, что при высоком напряжении нанонити отключаются дискретно, что позволило рассчитать сопротивление единичных нанонитей.

Резюмируя, в ходе работы были впервые получены значения сопротивления единичных In нанонитей. Для нанонитей с диаметром 45 нм сопротивление составило 3097 Ом, для 200 нм – 155 Ом. Тем самым было показано, что свойства электронного транспорта In нанонитей отличаются от свойств, характерных для объемного индия.

# СОЗДАНИЕ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СЕНСОРНЫХ ПЛАТФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКИ- АКТИВНЫХ ФТАЛОЦИАНИНОВ ДЛЯ АНАЛИЗА 3,3',5,5'-ТЕТРАМЕТИЛБЕНЗИДИНА

**Студентка 3 курса Ширяева О.А.<sup>1</sup>**

Руководители к.х.н. Звягина А.И.<sup>2</sup>, к.х.н. Капитанова О.О.<sup>1</sup>, д.х.н. Калинина М.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет,*

<sup>2</sup>*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН*  
*ola.shiryaeva@gmail.com*

Определение биологически активных соединений, а также мониторинг в режиме реального времени реакций с их участием являются одними из важнейших задач современной аналитической химии. Среди наиболее перспективных для этих целей методов как качественного, так и количественного анализа можно выделить спектроскопию комбинационного рассеяния. Однако ее применению препятствует ряд затруднений: низкая чувствительность данного метода и низкая или отсутствующая раман-активность многих анализаторов в исходной форме. Первая проблема может быть решена с помощью гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), возникающего при использовании плазмонных структур. Решением второго вопроса, в свою очередь, могут являться гетерогенные фотокаталитические реакции окисления с участием синглетного кислорода, приводящие к образованию раман-активного продукта. В качестве подходящего фотокатализатора с высокой активностью могут выступать фталоцианины, обладающие химической и термической устойчивостью. Представляется перспективным совмещение свойств покрытий на основе фталоцианина, как эффективного фотокатализатора, и плазмонных свойств металлических наноструктур, позволяющих использовать спектроскопию ГКР.

В ходе нашей работы была продемонстрирована фотокаталитическая активность фталоцианина в реакциях окисления модельных анализаторов *ortho*-фенилендiamina и дигидроксинафталина под действием видимого света. Методом послойной жидкостной эпитетаксии были получены ультратонкие покрытия на основе оксида графена, ацетата цинка и ZnPc(COONa)<sub>10</sub>. Было показано, что подобная иммобилизация фталоцианина препятствует агрегации молекул, а также деградации катализатора под действием света. Полученные структуры проявляют фотокаталитическую активность (на примере реакции окисления 3,3',5,5'-тетраметилбензидина) при воздействии света с длиной волны, близкой к Q-полосе фталоцианина.

Показана перспективная возможность определения органических соединений, не обладающих раман-активностью в исходной форме, методом спектроскопии ГКР с использованием наночастиц серебра, за счет окисления до раман-активных продуктов на поверхности ультратонкого фотокатализатора на основе оксида графена и фталоцианината цинка.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ДЕГРАДАЦИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ФОСФАТОВ КАЛЬЦИЯ В ПСЕВДОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Студент 4 курса Шлыков М.А.**

Руководитель к.т.н. Тетерина А.Ю.

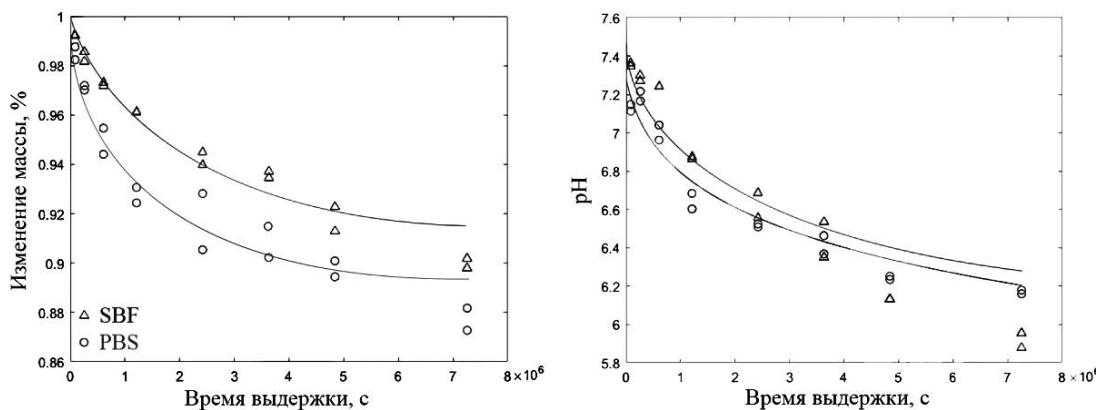
МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН  
ceshakov@gmail.com

После имплантации остеопластического материала в место костного дефекта протекают параллельные процессы: растворение материала, сорбция материалом белков из крови, образование гематомы перелома и развитие первичного иммунного ответа [1]. Данные процессы взаимосвязаны, поэтому оценить вклад каждого фактора можно только с помощью математического моделирования.

В данной работе изучался первый элементарный акт: кинетика растворения фосфатов кальция – наиболее распространенных остеопластических материалов – в буферных системах, имитирующих среды организма. В качестве объектов исследования были выбраны дикальцийфосфат дигидрат ( $\text{ДКФД}$ ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и октакальцийфосфат ( $\text{ОКФ}$ ,  $\text{Ca}_8(\text{HPO}_4)_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); были использованы два модельных раствора: SBF – имитирующий плазму крови, и PBS – стандартный раствор для исследования биоматериалов по ГОСТ.

Для  $\text{ДКФД}$  в обоих растворах наблюдалось уменьшение массы, снижение рН раствора и фазовый переход  $\text{ДКФД} \rightarrow \text{ОКФ}$ . Данный процесс представляет комбинацию растворения–кристаллизации, которая может быть описана кинетическими уравнениями (рисунок).



**Рис.** Результат моделирования в программе MatLab2022b.

Точки соответствуют экспериментальным данным, линии – расчетным

Решив систему уравнений из первых принципов, была разработана модель, которая точно описывает экспериментальные данные как для образцов  $\text{ДКФД}$ , так и для образцов  $\text{ОКФ}$ . Данная модель, созданная для закрытой системы, может хорошо коррелировать с условиями образования гематомы перелома. Поскольку фибриновый сгусток (свернувшаяся кровь), возможно, будет изолировать остеопластический материал, от внешней среды, обеспечивая квазизакрытую систему.

## ЛИТЕРАТУРА

1. C.S. Bahney et al. *Journal of Orthopaedic Research.*, 2019, 37, 1, 35.

**НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ**

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

## НОВЫЙ АДСОРБЕНТ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГИПЕРРАЗВЕТВЛЕННЫМ ПОЛИЭФИРОПОЛИБЕНЗОИЛТИОКАРБАМАТОМ

**Студентка 3 курса Конева А.М.**

Руководитель к.х.н. Максимов А.Ф.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет  
anitakoneva@mail.ru*

В последние годы ведутся интенсивные исследования в области химического модифицирования цеолитов [1]. Особый интерес представляют цеолиты, модифицированные гиперразветвленными полимерами [2]. Такие гибридные материалы перспективны в качестве индикаторов, мембран, фильтров, сорбентов, жидкокристаллических структур, биосенсоров, микроинструментов, катализаторов, экстрагентов и добавок в полимеры [3]. Было установлено, что гиперразветвленные полиэфирополибензоилтиокарбаматы обладают выраженным комплексообразующими и фунгицидными свойствами [4]. Цель нашей работы – синтез, цеолита, модифицированного гиперразветвленным полиэфирополибензоилтиокарбаматом, изучение его структуры и свойств, получение комплексов с ионами Cu(II) и Co(II).

Анализ литературы показывает, что гиперразветвленные полиэфиры придают композиционным материалам новые практические полезные свойства. Бензоилтиокарбаматный фрагмент полиэфира позволяет усилить адсорбционно-экстракционные свойства, что важно при флотационной переработке руд, экстракции ионов металлов, биосенсорике.

Нами разработан метод синтеза адсорбента – цеолита, модифицированного гиперразветвленным полиэфирополибензоилтиокарбаматом, и комплексов Cu(II) и Co(II) на его основе. Методами ИК, ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  спектроскопии и потенциометрического титрования установлено строение и степень функционализации гиперразветвленного лиганда. В 100 мг гибридного адсорбента содержится 12,17 мг полиэфира. Методом ИК-спектроскопии показано, что в комплексообразовании с ионами Cu(II) и Co(II) участвуют бензоилтиокарбаматные и сукцинатные группы полиэфира. Морфология частиц гибридного материала нерегулярная, средний размер частиц  $\sim 36,50$  мкм. Сорбционная емкость гибридного адсорбента по отношению к ионам Cu(II) составляет 4,26 %. Показано, что процесс десорбции ионов металла протекает в кислой среде при pH 3–4 с регенерацией исходного адсорбента, что позволяет многократно использовать его в процессах экстракции  $d$ -металлов.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. X. Zhang, X. Yu, Z. Xu, Q. Meng, C. Shen, G. Zhang, C. Gao, *Sep. Purif. Technol.*, **2023**, 324, 124531.
2. K. Ghomari, B. Boukoussa, R. Hamacha, A. Bengueddach, R. Roy, A. Azzouz, *Sep. Sci. Technol.*, **2017**, 52, 2421.
3. A. Maksimov, G. Kutyrev, *Chinese J. Polym. Sci.* **2022**, 40, 1567.
4. Г. А. Кутырев, А. А. Бусыгина, Э. Н. Ахмадуллина, Л. Р. Рахматуллина, М. П. Кутырева, А. Р. Гатаулина, *Вестн. Казанск. технол. унив.*, **2016**, 19, 15.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМОСБОРКИ БЛОК-СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СТИРОЛА И (МЕТ) АКРИЛАТОВ

**Студентка 3 курса Максимович М.С.**

Руководитель к.ф.-м.н. Иванов Д.А.

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

*Факультет фундаментальной физико-химической инженерии*

*E-mail: maksimovichms@my.msu.ru*

В настоящее время широкий класс блок-сополимеров используется во многих областях химии, физики, материаловедения и медицины. Интерес к этим системам обусловлен их уникальной способностью к самосборке, которая возникает при наличии двух или более различных термодинамически несовместимых блоков в одной макромолекуле [1]. Известно, что в зависимости от молекулярной массы, объемной доли блоков и параметра взаимодействия между химически различными сегментами, морфология оказывается совершенно разной на наноразмерном уровне. Архитектура и последовательность блоков также играют значительную роль в формировании наблюдаемых микрофазово-разделенных структур. Таким образом, подобрав необходимые параметры, можно синтезировать блок-сополимеры с четко определенной структурой.

В нашей работе оптимизирована методика получения блок-сополимеров путем варьирования температуры и соотношения между реагентами с помощью радикальной полимеризации с переносом атома, а также исследованы их свойства. В ходе экспериментов получены гомополимеры с функционально-активными концевыми группами, которые затем использовались в качестве макроинициаторов для получения блок-сополимеров. Для оптимизации методики синтеза проведены несколько серий экспериментов, в которых варьировались температура в пределах от 80 °C до 120 °C и количественное соотношение лиганд/катализатор/мономер реакционной смеси.

В результате успешно проведены реакции полимеризации, в ходе которых были получены диблок-сополимеры PS-PBA-Br, PBA-PS-Br и триблок-сополимеры типа АВА на основе стирола и бутилакрилата. Все образцы были проанализированы методом ГПХ. Показано, что в результате оптимизации методики синтеза, получены образцы с мономодальным распределением и значением полидисперсности ниже 1,15, что свидетельствует о протекании реакции по механизму живой радикальной полимеризации. Дополнительно, некоторые системы были охарактеризованы методом ИК-спектроскопии, ЯМР-спектроскопии, ДСК и ТГА, а также исследована структура сополимеров при помощи МУРР.

В дальнейшем на основе различных (мет)-акрилатов и стирола будут созданы триблок-сополимеры типа АВС. Кроме того, диблок- и триблок- сополимеры на основе перечисленных мономеров будут модифицированы посредством полимераналогичных превращений, что существенно может изменить их морфологию, физические и химические свойства. Благодаря разнообразию получаемых структур и размеров доменов, такие системы могут быть перспективными для литографии или использованы в фотонике.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Z. Wang et al., *Adv. Opt. Mater.*, **2021**, 9, 2100519.

# БИОСЕНСОРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТИМУЛЧУВСТВИТЕЛЬНОГО МИКРОГЕЛЯ И ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ: ФОРМИРОВАНИЕ И СВОЙСТВА БИОСЕНСОРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ГЛЮКОЗЫ

**Студент 2 курса Рудаков Н.С.<sup>1, 2</sup>**

Руководитель к.х.н. Пергушов Д.В.<sup>2</sup>

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

*<sup>1</sup>Факультет наук о материалах*

*<sup>2</sup>Химический факультет*

*n.s.rudakov@yandex.ru*

Стимулчувствительные (ко)полимерные микрогели способны обратимо изменять гидрофильно-гидрофобный баланс в соответствии с внешними условиями, такими как температура, pH и состав растворителя. Это замечательное свойство позволяет им легко адаптироваться к поверхностям различной природы, что обуславливает их применение для модификации проводящих поверхностей (золото, графит). Кроме того, (ко)полимерные микрогели представляют собой высокоеффективные контейнеры для недеструктивной иммобилизации биологически активных веществ, в частности ферментов, предоставляя им обогащённое водой микроокружение, что открывает широкие возможности для конструирования (био)сенсорных покрытий.

Целью нашей работы стало изучение условий формирования и свойств микрогель-ферментных покрытий, образованных pH- и термочувствительным катионным микрогелем (МГ) на основе сополимера *N*-изопропилакриламида и диметиламинонпропилметакриламида, П(НИПАМ-*со*-ДМАПМА), и ферментом глюкозооксидазой (ГО).

Исследование процессов формирования микрогелевых и микрогель-ферментных покрытий, а также влияющих на них факторов, было выполнено методами пьезоэлектрического микровзвешивания с мониторингом диссипации и атомно-силовой микроскопии. Обнаружено, что при pH 9,5 микрогель, находящийся в гидрофобизованном состоянии, эффективно адсорбируется и прочно удерживается на относительно гидрофобной (золотой) поверхности, при этом сохраняя свои стимулчувствительные свойства. Установлено, что адсорбированный микрогель, будучи положительно заряженным при pH 7, эффективно связывает глобулы ГО (pI 4,3), несущие в данных условиях суммарный отрицательный заряд. Показано, что электростатическое взаимодействие фермента с микрогелем не вызывает десорбцию микрогеля либо потерю им стимулчувствительности.

На основе данных, полученных двумя упомянутыми методами, были созданы реальные биосенсорные системы. Поверхность планарных графитовых электродов (ПГЭ) была последовательно модифицирована пероксидчувствительным медиатором (наночастицами диоксида марганца), микрогелем (адсорбция, pH 9,5, 25 или 50 °C) и глюкозооксидазой (электростатическая иммобилизация, pH 7, 25 °C). Методом амперометрии для полученных биосенсоров определены хорошие аналитические характеристики по β-D-глюкозе, а именно высокая чувствительность ( $2 \cdot 10^{-2}$  [МГ 25 °C] и  $3 \cdot 10^{-2}$  [МГ 50 °C]  $\text{A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ), низкий предел обнаружения (0,80 [МГ 25 °C] и 0,33 [МГ 50 °C] мкМ), а также широкий линейный диапазон (1–1000 мкМ). Отметим, что градуировочная зависимость по β-D-глюкозе имеет больший наклон в том случае, когда микрогель адсорбировался при повышенной температуре (50 °C). В то же время ПГЭ, модифицированные микрогелем при комнатной температуре (25 °C), демонстрируют лучшую операционную стабильность. Продемонстрировано, что при инкубации ПГЭ в 0,25 M NaCl происходит быстрое выделение части ГО из микрогелевого покрытия.

## ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯ ИЗ РАСТВОРОВ

**Студентка 3 курса Токарева М.Д.**

Руководитель профессор Русинова Е.В.

Уральский федеральный университет

*tokareva.masha.2003@gmail.com*

Синтез новых лекарств, так называемых «умных» материалов в значительной степени зависит от способности ученых целенаправленно «собирать» молекулы в твердые тела с наиболее подходящей структурой для того, чтобы получать материалы с заданными функциональными возможностями. Полимеры, состоящие из длинных макромолекул с огромным конформационным набором, обладают полиморфизмом и являются уникальными объектами для создания таких материалов. Поиск способов получения новых полиморфов является актуальной научной задачей, лежащей также в основе синтеза кристаллов низко- и высокомолекулярных веществ, и эффективных решений этой проблемы пока не найдено.

В нашей работе впервые обнаружено, что кристаллизация полимера (полиэтиленгликоля) из его растворов в этилацетате может существенно смещаться в область более низких температур, что свидетельствует об изменение морфологии поликристаллов и дает возможность управлять процессом кристаллизации. Исследования фазовых переходов в растворах полимеров сами по себе имеют как практическое, так и теоретическое значение. На сегодняшний день построено огромное количество фазовых диаграмм для систем полимер-растворитель с различными типами фазовых переходов: кристаллическим, аморфным, жидкокристаллическим. Интерес представляет информация об изменении температур фазовых переходов в растворах полимеров под влиянием механического, электрического или магнитного полей, поскольку она может быть использована для создания новых технологических схем направленного изменения структуры растворов и смесей полимеров при создании материалов с заданными оптическими, магнитными, механическими свойствами. Кроме того, такие данные необходимы для развития теоретических положений термодинамики полимерных систем во внешних полях.

Построены фазовые диаграммы системы полиэтиленгликоль (ММ = 6000) – этилацетат в магнитном поле (7,2 кЭ) и в его отсутствие. Впервые в данной работе обнаружено понижение температуры кристаллизации полимера в постоянном магнитном поле и инверсия этого эффекта в зависимости от концентрации полимера в растворе. Рассчитаны концентрационные зависимости термодинамического параметра взаимодействия Флори-Хаггинаса между компонентами растворов в магнитном поле и в его отсутствие.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ БИНАРНОЙ СИСТЕМОЙ БУТАДИЕН – СТИРОЛЬНЫЙ ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТ – СЕРА

**Студентка 4 курса Хайбулина Е.Е.**

Руководитель профессор Наумова Ю.А.

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

*hbek0001@gmail.com*

Улучшение качества дорожного покрытия – приоритетная задача транспортной отрасли, что обусловлено активным развитием дорожной инфраструктуры и ростом нагрузки на транспортные сети. Одним из наиболее эффективных методов решения этой задачи является модификация дорожных битумов, связующего вещества асфальтобетона, с помощью бутадиен – стирольных термоэластопластов (БСТЭП).

Применение БСТЭП в качестве модификатора позволяет расширить температурный диапазон применения битумов, увеличить их устойчивость к нагрузкам и деформации, улучшить адгезию битумной смеси к наполнителям и замедлить старение материала. В настоящее время в качестве модификатора битума применяется не только БСТЭП, но и его сочетание с серой. Использование этой системы позволяет, помимо исключения расслаивания битумного вяжущего на этапах его хранения и транспортировки, улучшить эксплуатационные характеристики вяжущего. Однако, на сегодняшний день все еще актуален вопрос о механизме взаимодействия БСТЭП и серы [1]. Поэтому целью нашей работы стало установления закономерностей взаимодействия между БСТЭП и серой.

В качестве модельного объекта исследования выступали пленки БСТЭП – сера, сформированные из 5 % масс. растворов БСТЭП в толуоле. Образцы пленок отличались содержанием серы (0, 1, 3 масс. ч. серы на 100 масс. ч. БСТЭП). Полимерной основой плёночных материалов являлся БСТЭП линейной структуры, марки ДСГ А 30–01, производства АО «Воронежсинтезкаучук» [2].

С помощью ДСК было установлено, что, при увеличении дозировки серы под действием повышенных температур, затрачиваемая энергия на термоокислительную деструкцию полибутадиеновых блоков термоэластопласта и температура, при которой наблюдается максимальная скорость данного процесса, увеличиваются.

Анализ ИК-спектров пленок путём определения отношения оптических плотностей функциональных групп полистирольной и полибутадиеновой фаз к реперному пику  $2845 \text{ cm}^{-1}$  (полоса поглощения валентных колебаний C-H в группах  $-\text{CH}_2-$ ) показал устойчивое снижение функциональных групп  $-\text{HC}=\text{CH}-$  транс после действия температуры 140C на образцы, содержащие серу.

Выявленные закономерности свидетельствуют о протекании химического взаимодействия серы с функциональными группами  $>\text{CH}=\text{CH}<$  полибутадиеновой фазы БСТЭП, приводящего к структурированию по мономерным звеньям, присоединенным в положении 1,4 – транс полибутадиеновой фазы. Наиболее ярко указанные эффекты проявляются при содержании серы 1 масс. ч. на 100 масс. ч. БСТЭП.

### ЛИТЕРАТУРА

1. S. Shaur, S.H. Unterberger, R. Lackner, *Eur. Polym. J.*, **2017**, 96, 256.
2. URL <https://sibur-int.ru/product/rubber/catalog/item74.php> (дата обращения 28.11.2023).

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

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

## ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРАТОВ

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

Руководитель к.х.н. Квиткова Е.Ю.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*ekaterinaaurova@yandex.ru*

В настоящее время очень остро стоит проблема загрязнения окружающей среды фармацевтическими соединениями и их метаболитами. Эти соединения устойчивы в окружающей среде и токсичны для гидробионтов. Одним из основных источников поступления лекарственных средств в окружающую среду являются сточные воды фармацевтических предприятий. Эти стоки являются многокомпонентными смесями, в них присутствуют остатки лекарственных средств в значительных концентрациях, достигая десятков и даже сотен мкг/л [1]. Традиционные методы очистки, используемые на предприятиях, оказываются малоэффективными для удаления фармацевтических субстанций из воды. Поэтому для предотвращения попадания лекарственных средств в окружающую среду необходима очистка сточных вод непосредственно в месте их образования новыми высокоеффективными технологиями. К таким методам можно отнести использование ферратов щелочных металлов для очистки воды. Ферраты (VI) являются одними из сильнейших окислителей, окислительный потенциал  $\text{FeO}_4^{2-}$  выше, чем у озона, хлора или пероксида водорода [2].

Цель нашей работы – изучение окислительной деструкции ибупрофена под действием феррата натрия.

Эксперимент проводился с модельными водными растворами ибупрофена с начальной концентрацией от 8,6 до 100 мг/л. Феррат с концентрацией 1 г/л, синтезированный из хлорида железа, добавляли к модельному раствору ибупрофена (объем пробы 100 мл) в различных соотношениях. Время обработки проб изменялось в диапазоне 1–30 минут.

Установлено, что процесс деструкции ибупрофена под действием феррата протекает эффективно (степень разложения составляет 99,3–99,9 %) при стехиометрическом соотношении объемов ибупрофена и феррата. Уменьшение объема добавляемого феррата до 1/16 от стехиометрического незначительно снижает степень разложения ибупрофена (до 97 %). Оценка кинетических параметров протекающих процессов разложения ибупрофена показала, что с ростом начальной концентрации ибупрофена в 5 раз скорость его деструкции увеличивается в 3,7 раза.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что использование раствора феррата может являться эффективным методом очистки воды от фармацевтических соединений, в частности, от ибупрофена.

*Работа выполнялась в рамках государственного задания на выполнение НИР: тема № FZZW-2023-0010.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. С.С. Тимофеева, О.С. Гудилова, *XXI век. Техносферная безопасность*, 2021, 6, 3 (23), 251.
2. В.Е. Брунман, М.В. Брунман, В.А. Дьяченко и др. *Вода Magazine*, 2018, 4 (128).

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЭТЕРИФИКАЦИИ НЕОПЕНТИЛГЛИКОЛЯ НА СУЛЬФОКАТИОНИТАХ

**Студентка 4 курса Еремина А.И.**

Руководитель профессор Красных Е.Л.

*Самарский государственный технический университет*

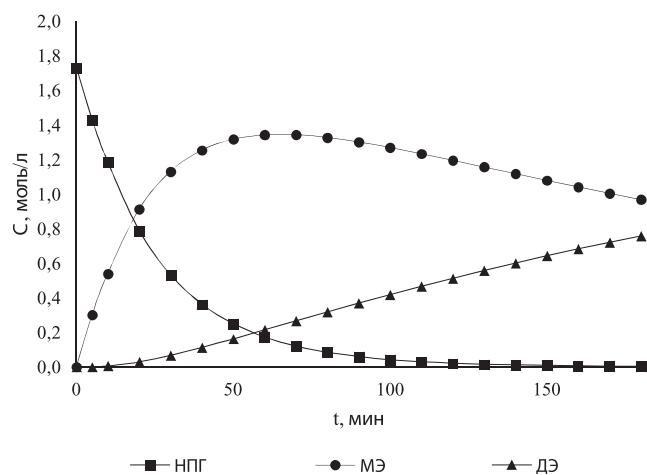
*anna.yermina.02@mail.ru*

Вследствие наращивания объёмов производства продуктов полимерной промышленности растёт спрос на различные модификаторы для полимеров и каучуков, в том числе на пластификаторы, смазочные вещества и регуляторы вязкости. Однако наиболее распространённые пластификаторы – диоктилфталат и диоктилтерефталат – относятся ко второму и третьему классу опасности соответственно и не удовлетворяют современным экологическим требованиям.

Решением этой проблемы могло бы стать производство бесфталатных пластификаторов, относящихся к четвёртому классу опасности. В качестве таких пластификаторов можно использовать сложные эфиры лимонной кислоты, гидроксикислот и неополиолов, в частности неопентилгликоля (НПГ).

Моноэфиры НПГ можно использовать в качестве регуляторов вязкости и смазочных веществ, а диэфиры – в качестве пластификаторов. Кроме того, НПГ производят по технологии оксосинтеза из природного газа, что соответствует стратегическому направлению развития производства сжиженного природного газа.

Целью нашей работы было проведение кинетических исследований реакции этерификации неопентилгликоля уксусной кислотой.



**Рис.** Концентрационная зависимость реакционной смеси от времени реакции  
для системы в присутствии Tulsion T-66MP

При исследовании реакций этерификации НПГ уксусной кислотой для достижения 95 % конверсии спирта требовалось 22 часа. Чтобы ускорить процесс было решено провести кинетические исследования в условиях гетерогенного катализа в присутствии промышленных гетерогенных катализаторов – сульфокатионитов. При использовании 1 % масс. катализатора конверсия 98 % была достигнута в течение трёх часов.

## ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ БЕНЗИНОВОЙ ФРАКЦИИ НА ПРОЦЕСС ПИРОЛИЗА

**Студент 2 курса магистратуры Королев А.Н.**

Руководитель д.т.н. Николаев А.И.

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

*waterpolist2000@yandex.ru*

Пиролиз углеводородного сырья – основной способ получения этилена и пропилена, которые являются сырьем для производства полиэтилена и полипропилена, а также ряда других продуктов. В настоящее время производственные мощности по этилену оцениваются на уровне свыше 150 млн т, а пропилена 70 млн т, но этих мощностей не хватает для удовлетворения существующего спроса на низшие олефины. Удовлетворить растущие потребности в олефинах можно, увеличив мощность установок пиролиза за счет повышения эффективности применения бензиновой фракции. В нашей работе представлены результаты исследований, направленных на изучение влияния кавитационной обработки бензиновой фракции на выход и характеристики продуктов пиролиза.

Исследование пиролиза исходной (О-1) и модифицированной (О-2) бензиновой фракции проводилось на лабораторной установке проточного типа. Обработка бензиновой фракции осуществлялась в аппарате марки Донор-2. Для интенсификации процесса кавитации в состав исходной бензиновой фракции добавляли воду в количестве 50 % об (О-3), а также пропан-бутановую фракцию (О-4) и подвергали смеси обработки.

Установки пиролиза бензиновой фракции в промышленных условиях эксплуатируются в этиленовом (температура 800 °C, время пребывания сырья в реакционной зоне 1 сек), и пропиленовом (температура 750 °C, время пребывания сырья в реакционной зоне 0,5 сек) режимах. В таблице представлены данные о выходе газообразных и жидких продуктов процесса.

**Таблица.** Выход (% масс.) газообразных и жидких продуктов процесса

Образец	Этиленовый режим		Пропиленовый режим	
	Газообразные продукты	Жидкие продукты	Газообразные продукты	Жидкие продукты
О-1	52	46,2	37	62,2
О-2	62	36,3	39	60,3
О-3	67	31,4	44	55,4
О-4	72	26,5	48	51,5

Содержание этилена в составе газа полученного при проведении пиролиза в этиленовом режиме составило 29 % об для образца О-1, 41 % об. для образца О-2, 42 % об для образца О-3, 42,5 % об для образца О-4, а пропилена 5,3 % об, 12 % об, 12,8 % об, 13,6 % об соответственно. Содержание этилена в составе газа полученного при проведении пиролиза в пропиленовом режиме составило 27,8 % об для образца О-1, 38,9 % об для образца О-2, 39,5 % об для образца О-3, 40 % об для образца О-4, а пропилена 14,1 % об, 19,1 % об, 19,2 % об, 19,2 % об соответственно.

Кавитационная обработка бензиновой фракции способствует увеличению выхода газообразных продуктов пиролиза и содержанию в них этилена и пропилена.

# ПОЛУЧЕНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УРЕАТНЫХ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК, СОДЕРЖАЩИХ СИЛИКОНОВОЕ И УГЛЕВОДОРОДНОЕ/СЛОЖНОЭФИРНОЕ МАСЛО

**Студент 2 курса магистратуры Кузнецов М.С.**

Руководители к.т.н. Киташов Ю.Н.<sup>1</sup>, к.х.н. Лядов А.С.<sup>2</sup>

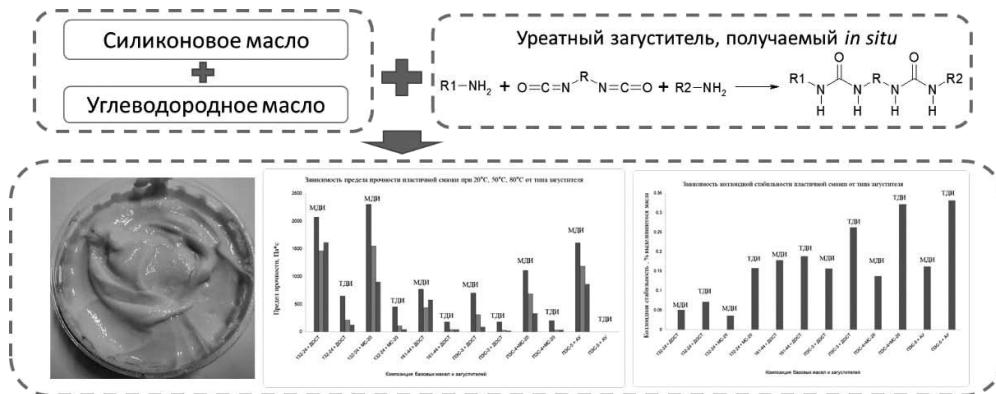
<sup>1</sup>Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина

<sup>2</sup>Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиеva РАН

max05.02.2000@mail.ru

Создание оригинальных композиций пластичных смазок с улучшенными физико-химическими и эксплуатационными свойствами – актуальная задача смазочно-маслобедения. Наиболее современным и перспективным классом пластичных смазок являются смазки, получаемые загущением различных базовых масел ди- и олигомочевинами различного состава, синтезируемых *in situ*.

Нами был предложен оригинальный подход по загущению смеси силиконо-вого и углеводородного или сложноэфирного масла димочевиной, получаемой взаимодействием дизоцинатов (МДИ и ТДИ), анилина и н-додециламина *in situ* (непосредственно в базовом масле, рисунок). В качестве базовой основы смазок были использованы следующие компоненты: полиэтилсиликсановые жидкости (жидкость 132-24, ПЭС-3, ПЭС-4, ПЭС-5) с различной вязкостью, углеводородные масла марок АУ (веретенное) и МС-20, а также сложноэфирное масло на основе диалкилсебацината. В процессе синтеза загустителя во всех случаях происходило формирование структуры пластичной смазки. Образцы были изучены комплексом физико-химических методов и определены следующие показатели: температура каплепадения, предел прочности, коллоидная стабильность, диаметр пятна износса. Установлено влияние состава дисперсионной среды и уреатного загустителя, а также их соотношения в смазочной композиции на основные физико-химические свойства. Показано, что увеличение доли загустителя в составе пластичной смазки способствует улучшению свойств смазочной композиции, показано также, что димочевины, получаемые с использованием МДИ приводят к формированию пластичных смазок с улучшенными свойствами.



**Рис.** Схема получения уреатных пластичных смазок

Определен оптимальный состав уреатных пластичных смазок на основе использованных масел. Полученные результаты могут быть использованы при создании технических решений для создания высокоэффективных смазочных материалов.

# ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ РЕАКЦИИ ТРЕТ-БУТАНОЛА С ВОДНЫМ ФОРМАЛЬДЕГИДОМ В ПРИСУТСТВИИ Н-ФОРМ СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ

Студент 1 курса магистратуры Сайфутдинов А.А.

Руководитель доцент Тухватшин В.С.

Уфимский университет науки и технологий, г. Уфа

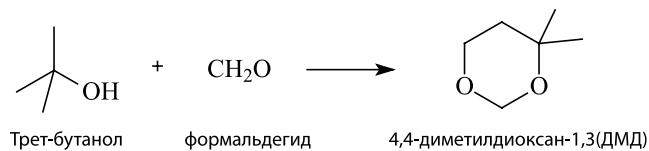
*savfutdinov.2014225@list.ru*

Основной промышленный способ получения изопрена – «диоксановый» метод, основанный на термокатализитическом разложении 4,4-диметил-1,3-диоксана (ДМД). В свою очередь, ДМД получают конденсацией изобутилена или *трем-бутанола* с водным формальдегидом в присутствии фосфорной кислоты [1]. Важным недостатком этого метода является низкая селективность процесса, обусловленная образованием на первой стадии до 30 % побочных продуктов (пираны, диолы-1,3 и т.д.).

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

Целью представленной работы является линейная оптимизация параметров получения 4,4-диметил-1,3-диоксана при конденсации формальдегида с изобутиленом в присутствии Н-форм синтетических цеолитов.

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



В результате проведенных исследований нами установлено, что оптимальными параметрами проведения реакции водного формальдегида с *трет*-бутанолом в присутствии цеолитов в Н-форме являются: время реакции (150–180 мин), температура реакции (170–190 °C), содержание цеолита (5–6 мас %), соотношение реагентов (*трет*-C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>OH / CH<sub>2</sub>O = 1:1 и 1:2). При проведении конденсации *трет*-бутанола с формальдегидом в указанных условиях селективность образования ДМД достигает 94–95 %.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н.А. Платэ, Е.В. Сливинский, *Основы химии и технологии мономеров*. 2002, М: Наука.
  2. O.Y. Kirova, I.V. Vakulin, R.F. Talipov, *Computational and Theoretical Chemistry*, 2013, 1013, 57.
  3. В.А. Крайкин, А.Е. Егоров, С.Н. Салазкин, *Пластические массы*, 2008, 4, 17.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ $\text{Pd}(\text{OAc})_2\text{--HClO}_4\text{--N-МП--H}_2\text{O}$ С УЧЕТОМ ПЕРСПЕКТИВ ПОЛУЧЕНИЯ ЦИКЛОГЕКСАНОНА ОКИСЛЕНИЕМ ЦИКЛОГЕКСЕНА

**Студентка 1 курса магистратуры Усова А.А.**

Руководитель к.х.н. Ошанина И.В.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
anna.usova29@mail.ru*

Известно, что циклогексанон (ЦГ-он) можно получить, окисляя циклогексен (ЦГ-ен) *n*-бензохиноном. Процесс проводят в органическом растворителе, в присутствии комплексов палладия. Преимуществом катионных комплексов  $[\text{PdL}_4]^{2+}$ , по сравнению с анионными комплексами  $[\text{PdX}_4]^{2-}$  является высокая скорость реакции. Высокая селективность образования ЦГ-она (более 95 %) и высокая скорость реакции получена в каталитической системе  $\text{Pd}(\text{OAc})_2\text{--HClO}_4$  – ацетонитрил –  $\text{H}_2\text{O}$  [1]. Однако низкая температура кипения ацетонитрила (АН) не позволяет эффективно выделять ЦГ-он из контактного раствора без разрушения катализатора. В связи с этим нужно подобрать растворитель с температурой кипения выше, чем у ЦГ-она, и который не будет образовывать азеотропов с компонентами системы. Подбор растворителя, обеспечивающего высокую селективность ЦГ-она и возможность выделять продукт ректификацией, позволит разработать новый одностадийный метод получения ЦГ-она из ЦГ-ена. Ранее было показано, что наиболее удобным с точки зрения выделения продуктов из контактного раствора и повторного многократного использования катализатора является высококипящий растворитель – N-метилпирролидон (N-МП) [2].

В ходе работы при приготовлении контактного раствора было зафиксировано образование нового кристаллического продукта при смешении N-МП и хлорной кислоты. Продукт взаимодействия N-МП и  $\text{HClO}_4$  может оказывать влияние и на процесс формирования катионного комплекса палладия, и на скорость окисления ЦГ-ена *n*-бензохиноном. Исследование состава продукта взаимодействия N-МП и  $\text{HClO}_4$  проводили методами кислотно-основного титрования и ИК-спектроскопии. Показано, что в состав комплекса входит 2 молекулы N-МП и 1 молекула хлорной кислоты. Показано, что комплекс растворим в ацетонитриле, ацетоне и воде. Растворение комплекса в АН приводит к появлению в ИК спектре полосы поглощения свободного N-МП, что свидетельствует об изменении состава комплекса в растворе АН. Использование комплекса N-МП– $\text{HClO}_4$  в процессе окисления ЦГ-ена *n*-бензохиноном, к сожалению, привело к снижению скорости процесса и к заметному снижению селективности. Причиной изменения свойств каталитической системы может быть прочное связывание протона N-метилпирролидоном. В связи с этим даны рекомендации о необходимости учета основности растворителя при разработке каталитических систем для процессов, протекающих в присутствии катионных комплексов.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. О.Н. Темкин, Л.Г. Брук, Д.С. Захарова, К.Ю. Одинцов, Е.А. Кацман, И.В. Петров, О.Ю. Истомина, *Кинетика и катализ*, 2010, 51, 5, 1.
2. A.V. Frolkova, M.A. Mayevskiy, A. Y. Smirnov, *J. Chem. Eng. Data*, 2019, 64, 5.

## ВЛИЯНИЕ ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА ЭФФЕКТ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАЗУТА

**Студентка 1 курса магистратуры Шебаршинова П.М.**

Руководитель инженер Никишин Д.В.

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

*sebarsinova@gmail.com*

Рост добычи тяжелого нефтяного сырья требует совершенствования технологии нефтепереработки. Решением проблемы может быть внедрение дополнительных модулей предварительной обработки нефтяного сырья [1], например, модулей гидродинамической кавитационной обработки [2], эффективность которой зависит от свойств сырья, условий воздействия и наличия в объеме обрабатываемой среды добавок [3].

Цель нашей работы – изучение влияния водородсодержащих добавок в мазуте на изменение его физико-химических характеристик в процессе кавитационной обработки. Установлено, что предварительное насыщение прямогонного мазута водородом или пропан-бутановой фракцией (ПБФ) или добавка декалина перед кавитационной обработкой увеличивает эффективность воздействия. Это отражается в снижении вязкости, плотности и увеличении выхода фракций, выкипающих до 400 °C. По нашему мнению, различия в результатах, полученных при применении водорода и ПБФ связаны с различной растворимостью этих газов. Рост содержания газа в сырье усиливает эффект.

**Таблица.** Влияние газов на эффект обработки мазута

Показатель	Без насыщения газом	Расход газа, мл/мин			
		Водород		ПБФ	
		100	200	75	225
Кинематическая вязкость при 50 °C, сСт	377,7	356,8	347,2	345,2	338,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	0,9500	0,9475	0,9449	0,9463	0,9438
Температура начала кипения, °C	225	216	210	212	205
Фракционный состав, % масс.					
НК-400 °C	24,6	26,3	27,7	27,5	28,9
400 °C и выше	75,4	73,7	72,3	72,5	71,1
Групповой состав, % масс.					
Асфальтены	3,7	1,4	1,2	2,1	0,5
Смолы	12,0	11,3	7,4	9,6	7,6
Масла	84,3	87,3	91,4	88,3	91,9

Обнаружено, что изменение фракционного состава мазута в процессе кавитационной обработки сопровождается изменением его группового состава. Содержание смол и асфальтенов снижалось. Наблюдалось увеличение содержание насыщенных углеводородов. Полученные результаты позволяют предполагать, что происходит разрушение структурных единиц дисперсной фазы нефтяной системы в процессе обработки.

### ЛИТЕРАТУРА

1. N.A. Pivovarova, Pet. Chem., 2019, 59, 6, 559.
2. Э.Б. Гафарова, Д.В. Свиридов, Оборуд. и техн. для нефтегаз. комплекса, 2020, 2 (116), 71.
3. J. Cui, Fuel. 2020, 275, 117976.

# РАЗРАБОТКА АЛЬТЕРНАТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА-ТРЕТ-БУТИЛФЕНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА – ПОЛУПРОДУКТОВ СИНТЕЗА УНИКАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Студентка 1 курса магистратуры Шестакова А.И.**

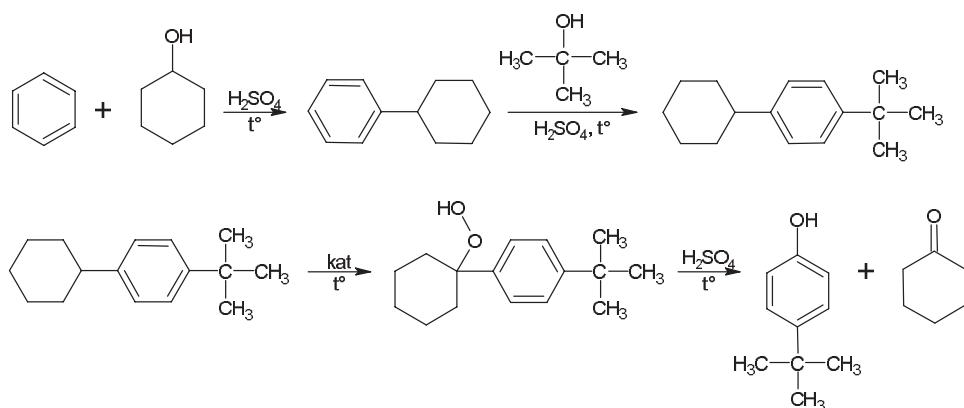
Руководители профессор Курганова Е.А., аспирант Баёв Е.И.

*Ярославский государственный технический университет*

*shestakovaai.19@edu.ystu.ru*

Наша цель состоит в разработке высокоэффективного способа совместного получения *пара*-*трет*-бутилфенола и циклогексанона. *пара*-*трет*-Бутилфенол используется для создания термостойких полимеров, выдерживающих температуру эксплуатации 200–300 °C. Из циклогексанона можно синтезировать капролактон, полимеризацией которого получают инновационные медицинские материалы. В промышленности *пара*-*трет*-бутилфенол получают алкилированием фенола изобутиленом. Недостатки этого метода – использование дорогостоящих катализаторов, трудность разделения реакционной смеси вследствие образования смеси изомеров [1]. Известный метод получения циклогексанона совместно с циклогексанолом – окисление циклогексана – характеризуется низкой конверсией, образованием большого количества отходов, жесткими условиями процесса [2].

Для решения этих проблем предлагается способ получения, основанный на гидропероксидном методе. Он заключается в окислении *пара*-*трет*-бутилциклогексилбензола, получаемого последовательным алкилированием бензола циклогексанолом и циклогексилбензола *трет*-бутилалогенидом, до гидропероксида, с последующим кислотным разложением последнего до целевых продуктов – *пара*-*трет*-бутилфенола и циклогексанона.



Нами был экспериментально апробирован альтернативный способ получения *пара*-*трет*-бутилфенола и циклогексанона. Исследованы все стадии нового способа синтеза. Доказано, что на стадии окисления образуется третичный гидропероксид *пара*-*трет*-бутилциклогексилбензола. Полученные соединения были идентифицированы методами ИК- и 1Н ЯМР-спектрометрии. Результаты работы можно использовать для реализации предлагаемого способа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Терехов, *Нефтехимия*, 2017, 57, 4.
2. D. Peng, *Applied Catalysis A: General*, 2023, 653.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОРБЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ СОРБЕНТОМ ЦЕОЛИТОМ

**Студентка 1 курса магистратуры Шмелева Е.С.**

Руководитель к.х.н. Гусев Г.И.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*Ekaterinasmelova6691@gmail.com*

Одна из глобальных экологических проблем современности – загрязнение окружающей среды, в том числе поверхностных и подземных вод, обусловленное сбросом бытовых, промышленных и ливневых сточных вод [1].

Широкое использование синтетических органических красителей в современных технологиях, приводит к интенсивному загрязнению гидросферы. Поэтому, удаление красителей из сточных вод становится важной задачей. Однако из-за разнообразия органических соединений, используемых в качестве красителей, нет универсальных химических методов удаления красителей из сточных вод [2].

Традиционный метод очистки сточных вод – адсорбционный метод, к достоинствам которого, относятся высокая эффективность и возможность очистки сточных вод от многокомпонентных смесей. Изучение адсорбции красителей является актуальной задачей.

Цель нашей работы – изучение процессов очистки сточных вод от красителей адсорбентом марки ЦТР-сорб, с возможностью дальнейшего комбинирования сорбционных и плазменных технологий.

В данном исследовании в качестве красителей применялись водные растворы метиленового синего (МС) и ледерос (С-2) с концентрациями ( $C_0$ ) 5–100 мг/л. Адсорбцию красителей проводили в статических условиях путем смешения навески (m) 1 г адсорбента с ( $V_0$ ) 50 мл модельного раствора красителя при постоянном перемешивании в течение 5–120 мин. Концентрация красителя в воде определялась спектрофотометрическим методом (Спектрофотометр марки «UNICO, мод. 2804»). Обработка кинетики сорбции красителей ЦТР-сорб проводилась в координатах моделей первого и второго порядков.

Максимальная сорбционная емкость сорбента ЦТР-сорб составила 23,5 мг/г по МС и 13 мг/г по ледеросу С-2. Максимальная степень очистки составила 92 % при очистке воды от МС и 52 % по ледеросу С-2. В качестве перспективного направления дальнейшей работы можно рекомендовать совмещение плазменных и адсорбционных технологий.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. A.A. Gushchin et al., *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2018, 38, 1, 123.
2. F. Huang et al., *Chemical Engineering Journal*, 2010, 162, 1, 250.

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ  
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ»**

**ПОВЕДЕНИЕ ФОЛИЕВОЙ КИСЛОТЫ  
В СОСТАВЕ КОНЬЮГАТА С ФУЛЛЕРЕНОМ C<sub>60</sub>  
И ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Студент 5 курса Байков Д.В.**

Руководитель к.ф.-м.н. Борисенкова А.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
baykovdm42@gmail.com*

Разработка систем направленного транспорта лекарственных препаратов – одно из ключевых направлений современной фармакологии. Препараты, предназначенные для адресной доставки, должны включать напцеливающий лиганд, одним из которых является фолиевая кислота (ФК). Взаимодействие ФК с клетками опосредовано фолатными рецепторами, количество которых повышенено на поверхности некоторых типов раковых клеток. Фуллерен C<sub>60</sub> рассматривается как один из возможных носителей лекарственного препарата. Его молекула может заключать в себе, например, радионуклид [1].

Установлено, что ФК разлагается под воздействием УФ [2] и ионизирующего излучения [3], поэтому целью нашей работы была оценка поведения ФК в составе коньюгата ФК-поливинилпирролидон (ПВП)-C<sub>60</sub> – прототипа системы адресной доставки радиоизотопа <sup>177</sup>Lu. ПВП использовался в качестве стабилизатора, предотвращающего агрегацию частиц коньюгата в растворе, и для придания высокой растворимости полученному соединению. Структуру и состав ФК-ПВП-C<sub>60</sub> устанавливали с помощью элементного анализа, ИК-, УФ-спектрометрии, термического анализа. Поведение частиц коньюгата в водных растворах исследовали с помощью динамического светорассеяния. Водные растворы коньюгата в диапазоне концентраций 0,1–25 мг/мл облучали электронами с энергией 5 МэВ дозой 25 кГр и УФ-лампой коротковолнового спектра (180–275 нм) в течение 180 минут.

По данным элементного анализа синтезированный коньюгат с растворимостью в воде ~ 50 мг/мл содержал 8,9 % масс. ФК и 2,8 % масс. C60. Коньюгаты ФК-ПВП-С60 образовывали в воде достаточно стабильные агрегаты со средними размерами около 150 нм, благоприятными для использования *in vivo*. Установлено, что деструкция ФК в составе коньюгата при воздействии УФ-облучения носит дозозависимый характер. Выявлено отсутствие влияния фуллерена C<sub>60</sub> на фотодеградацию ФК в составе коньюгата. Показано, что при облучении электронами концентрация коньюгата на процесс радиолиза не влияет. Наиболее чувствительной к облучению оказалась связь между такими составляющими ФК как 6-метилгтерин и *n*-аминобензойная кислота-глютаминовая кислота и наиболее вероятными продуктами фотолиза и радиолиза являются *n*-аминобензоил-L-глютаминовая кислота и 6-формилгтерин, что характерно и для нативной ФК.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 23-73-01085.*

---

**ЛИТЕРАТУРА**

1. W.P. Kopcha, *Chem.Comm.*, **2023**, 91.
2. S.E. Attaf, *Pharmacy and Pharm. Sci.*, **2019**, 8. 8.
3. M.M. Araújo, *LWT-Food Sci. and Tech.*, **2015**, 63. 1.

## ИММОБИЛИЗАЦИЯ ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ НА МАГНИТООТДЕЛЯЕМЫЕ НОСИТЕЛИ

**Студентка 1 курса магистратуры Балакшина Д.В.**

Руководитель к.х.н. Сульман А.М.

Тверской государственный технический университет  
*dasha.balakshina.01@bk.ru*

В современной биотехнологии особое внимание уделяется ферментам, так как они являются эффективными биокатализаторами, которые нашли широкое применение в различных областях промышленности.

Глюкозооксидаза (GOx) используется в пищевой и текстильной промышленности и в медицине благодаря своей способности ускорять окисление D-глюкозы до D-глюконовой кислоты [1]. Однако из-за чувствительности аминокислотных групп ферментов к неблагоприятным изменениям окружающей среды, необходимо подбирать подходящие методы иммобилизации, а также носители для того, чтобы их стабилизировать.

В качестве носителей для иммобилизации ферментов можно использовать материалы различного происхождения, из которых наиболее эффективны мезопористые магнитные материалы. Их главное преимущество состоит в возможности легкого отделения от субстрата в магнитном поле для повторного использования. Кроме того, они отличаются термической и химической устойчивостью, большой удельной площадью поверхности и объемом пор, а также регулируемой структурой [2].

Исследование магнитоотделяемых композиций магнетита с оксидами кремния ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2$ ) и алюминия ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), чья поверхность была модифицирована с помощью 3-аминопропилтриэтоксисилана, показало, что образцы являлись магнито-мягкими ферромагнетиками с одинаковой намагниченностью. Максимум распределения пор по размерам составил 6 и 5 нм. Активность биокатализаторов на их основе при pH 7 составляла 95 % и 90 %, а при 35–50 °C активность в 95 % показал биокатализатор  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-SiO}_2\text{-GOx}$ .

В результате у фермента не только повысилась стабильность и относительная активность, но и появилась возможность его извлечения и повторного использования.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. S.B. Bankar, *An overview. Biotechnol. Adv.*, **2009**, 27, 489.
2. M. Faraji, *Nanochem Res.*, **2016**, 264.

## МОДИФИКАЦИЯ ВОС-ПРОТОКОЛА СИНТЕЗА ОЛИГОМЕРОВ $\gamma$ -(S)-КАРБОКСИЭТИЛ (СЕ) ПЕПТИДНО-НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ (ПНК)

**Студентка 2 курса магистратуры Есенина А.А.**

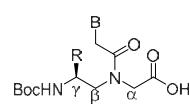
Руководитель Прохоров И.А.

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

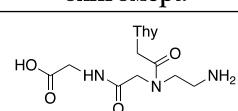
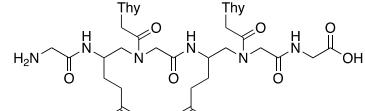
*annesenina37@gmail.com*

ПНК – класс полiamидных миметиков нуклеиновых кислот, представляющий научно-практический интерес [1]. Факторами, ограничивающими применение ПНК являются недостаточная растворимость в воде и трудности при доставке в клетку [2]. Для обхода этих ограничений предлагается введение карбоксиэтильного остатка в  $\gamma$ -положение мономеров ПНК. Предыдущие исследования показали перспективность такой модификации, но имеющиеся протоколы [3] синтеза содержат слишком жёсткие условия отщепления и не позволяют получать количества необходимые для дальнейших исследований. Нами предложены способы модификации протоколов синтеза и отщепления от полимерного носителя модельных олигомеров  $\gamma$ -с-ПНК растворами трифторуксусной кислоты (таблица 1) или основных условиях (таблица 2).

**Таблица 1.** Сравнение расчетных выходов тетрамеров (1–4)

№	Последовательность олигомера	Спейсер, R	Выход, %	
1	ACAT $^{\gamma\text{-}ce}$	H (нет)	—	
2	ACAT $^{\gamma\text{-}ce}$	Gly	7	
3	ACAT $^{\gamma\text{-}ce}$	$\beta$ -Ala	9	
4	ACT $^{\gamma\text{-}ce}$ A	$\beta$ -Ala	10	 ац-мономеры B= Thy, Cyt <sup>Cbz</sup> , Ade <sup>Cbz</sup> R=H $\gamma$ (S)-с-монар B= Thy, R=CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> COOR <sup>1</sup> $R^1=CH_2Ph$ или циклогексил

**Таблица 2.** Сравнение расчетных выходов модельных олигомеров при отщеплениях в разных условиях

№	Структурная формула олигомера	NaOH	NH <sub>3</sub> /rt	NH <sub>3</sub> /65 °C
5		53 %	74 %	—
6		55,7 %	5 %	20%

Введение линкера между смолой и олигомером ПНК, приводит к возможности синтеза и отщепления  $\gamma$ -с-ПНК. Замена Gly на  $\beta$ -Ala увеличила эффективность ТФС. (таблица 1).

### ЛИТЕРАТУРА

- P.E. Nielsen, *Science*, **1991**, 254, 5037.
- N. Brodyagin, *Beilstein J. Org. Chem.*, **2021**, 17, 1641.
- A.V. Dezenkov, *Mend. Comm.*, **2015**, 25, 1.

# РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИЙ СИНТЕЗА И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КОНЬЮГАТОВ МЕЗО-АРИЛПОРФИРИНОВ С НАЦЕЛИВАЮЩИМ ЛИГАНДОМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ ФДТ

**Студент 1 курса магистратуры Захаров Н.С.**

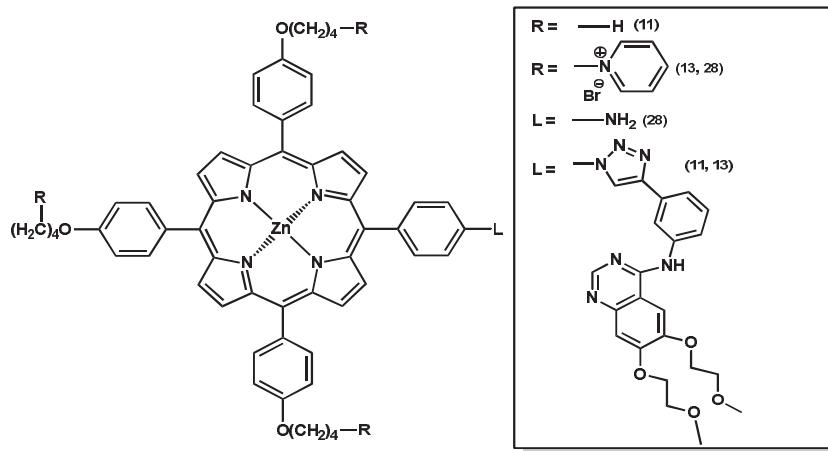
Руководитель доцент Жданова К.А.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*  
*nikita\_zakharov\_0\_0@mail.ru*

Фотодинамическая терапия (ФДТ), характеризующаяся неинвазивностью и отсутствием общего токсического действия, является перспективным направлением в борьбе с онкологическими заболеваниями [1]. Развитие ФДТ тесно связано с разработкой высокоэффективных фотодинамических агентов, отличающихся направленным действием. Наличие в препарате лигандов, способных адресно доставлять фотосенсибилизатор к раковым биомаркерам, позволяет существенно повысить эффективность лечения онкологических заболеваний [2].

Наша работа посвящена синтезу ФС на основе мезо-арилпорфиринов, содержащих низкомолекулярный нацеливающий лиганд Эрлотиниб®. Для полученных ФС были проведены исследования физико-химических свойств, фотохимической активности и агрегационного поведения в водно-мицеллярных средах.

Биологические испытания включали оценку клеточного накопления и цитотоксического действия целевых коньюгатов 11, 13 и соединения сравнения 28 (схема), на клеточные линии, характеризующиеся низким уровнем и гиперэкспрессией EGFR.



**Схема.** Структура полученных соединений, исследованных *in vitro*

В результате исследования жизнеспособности клеток *in vitro* установлено, что токсичность соединения 13 при облучении в 50 раз превышает значение в темновых условиях. После облучения максимальная активность коньюгата 13 наблюдается на клеточных линиях, гиперэкспрессирующих EGFR: MDA-MB-231 и A431.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-73-10176).*

## ЛИТЕРАТУРА

- Shramana M. Banerjee, *J Clin Med.*, **2020**, 9, 2.
- Yu. S. Bortnevskaya, *Pharmaceutics*, **2023**, 15, 4.

## ХИТОЗАН КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ И КАТАЛИЗАТОРОВ

**Студент 4 курса Лисичкин Д.Р.**

Руководитель доцент Тихонов Б.Б.

*Тверской государственный технический университет*

*danok9900@gmail.com.*

Целью работы является получение наночастиц и катализаторов на основе хитозана. Основная идея состоит в использовании способности хитозана как поликатиона связываться с веществами, обладающими полианионной структурой. Достоинство хитозана – биосовместимость, что способствует использованию его в качестве носителя для иммобилизации ферментов [1].

Решение задачи получения наночастиц хитозана связано с использованием метода ионотропного гелеобразования с триполифосфатом натрия, который обладает необходимой полианионной структурой. Для получения катализатора использовали тот же метод, но с добавлением магнетита и последующей иммобилизацией на носителе фермента – глюкозооксидазы [2].

В ходе экспериментов были получены данные об оптимальных условиях, необходимых для получения наночастиц с определенным размером, дзета-потенциалом и дисперсностью. Для катализатора с иммобилизованной глюкозооксидазой проведен анализ активности спектрофотометрическим методом [3].

Наночастицы обладали устойчивой структурой, легко отделялись центрифугированием. Оптимальные концентрации хитозана и триполифосфата – 3 и 0,25 мг/мл соответственно, что позволяет получать частицы размером 267 нм.

В процессе испытаний катализатор показал прочную связь фермента с носителем и незначительное падение активности, что говорит о его пригодности для многократного использования.

На основе полученных данных, сделан вывод о перспективности хитозана для получения наночастиц и катализаторов.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Б.Ц. Шагдарова, *Диссертация канд. наук, 2016.*
2. Б.Б. Тихонов, *Катализ в промышленности, 2019, 19, 59.*
3. Б.Б. Тихонов, *Вестник ТвГУ. Сер. хим., 2021, 2 (44), 18.*

## ОПТИМИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ДИМЕРНОГО ПОЛИКАТИОННОГО АМФИФИЛА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ГЕННОЙ ТЕРАПИИ

**Студентка 4 курса Милагина С.В.**

Руководитель к.х.н. Пучков П.А.

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

*milagina.s.v@yandex.ru*

В настоящее время пристальное внимание уделяется новому направлению в медицине – генной терапии. Это высокоэффективный метод лечения многих заболеваний, в том числе наследственных. Генная терапия основана на доставке в клетки организма терапевтических нуклеиновых кислот (ТНК). Для доставки ТНК используют вирусные или невирусные системы. Более безопасными являются невирусные, такие как катионные липосомы. Основным компонентом катионных липосом являются катионные амфифили, которые отвечают за упаковку и защиту ТНК на пути к месту ее действия. Проведение испытаний на животных требует большого количества катионного амфифила, поэтому оптимизация синтеза таких соединений всегда актуальна.

Ранее нами был синтезирован поликатионный амфи菲尔 2Х3, катионные липосомы на его основе превзошли по эффективности трансфекции коммерческий аналог Липофектамин2000 [1, 2]. Цель нашей работы – оптимизация синтеза димерного поликатионного амфифила 2Х3. Ключевой стадией синтеза является реакция конденсации, в которой происходит взаимодействие между региоселективно защищенным спермином и спейсерированным производным холестерина. Для ее оптимизации мы опробовали несколько подходов, основанных на реакции Мицунобу. В ней спирты взаимодействуют с карбоксильной компонентой в присутствии азодикарбоксилата и замещенного фосфина. Выход этой реакции преимущественно зависит от показателей кислотности ( $pK_a$ ) ее участников [3]. Использование в качестве карбоксильной компоненты стандартного для синтеза 2Х3 сульфонамида и классических для реакции Мицунобу дизопропилазодикарбоксилата и трифенилфосфина не приводило к образованию целевого продукта, по-видимому, из-за недостаточной кислотности сульфонамида. Введение в структуру сульфонамида дополнительной нитрогруппы для снижения  $pK_a$  вызывало существенное снижение стабильности соединения. Лишь замена дизопропилазодикарбоксилата и трифенилфосфина на более реакционноспособные азодикарбонилдипиридин и трибутилфосфин позволило увеличить выход реакции конденсации на 16% по сравнению со стандартным протоколом. Кроме того, время реакции сократилось в 4,5 раза.

Таким образом, нами был оптимизирован синтез димерного поликатионного амфифила.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. O.O. Markov et al., *J. Control. Release*, **2012**, *160*, 200.
2. M.A. Maslov et al., *J. Control. Release*, **2012**, *160*, 182.
3. Tsunoda T. et al., *Tetrahedron Letters*, **1993**, *34*, 1639–1642.



**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

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

## ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ СИСТЕМ НОВЫМИ МАГНИТНЫМИ ФЛОКУЛЯНТАМИ

**Студентка 1 курса магистратуры Алексеева А.А.**

Руководитель д.х.н. Проскурина В.Е.

Казанский национальный исследовательский технологический университет

*gavrilovaanastasia09@yandex.ru*

При разработке новых материалов для очистки сточных вод от дисперсных примесей неорганического и органического характера актуально получение функциональных материалов на основе наночастиц магнетита и анионных сополимеров акриламида. Полимерная композиция на базе наночастиц магнетита, ионогенных сополимеров и суспензии бентонитовой глины отличается высокой сорбционной способностью и может выступать в качестве эффективной и экономически выгодной альтернативы в процессах очистки талых и сточных вод.

В режиме стесненного оседания изучены процессы флокуляции суспензии бентонитовой глины при дозированном введении ионогенных флокулянтов и магнитных флокулянтов на их основе с высокой молекулярной массой и с различной концентрацией ионогенных звеньев. Бентонитовая глина характеризовалась средним радиусом частиц  $\Delta F R = 7,28 \cdot 10^{-6}$  м, плотностью  $- 2,63 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и дзета-потенциалом  $\zeta = -11$  мВ. В качестве анионных флокулянтов использовались: статистический сополимер акриламида с акрилатом натрия ( $M = 13,5 \cdot 10^6$ ,  $\beta = 71,2$  % мол.) и промышленный полимерный образец «Аккофлок» – статистический сополимер акриламида с акрилатом калия ( $M = 4,27 \cdot 10^6$ ,  $\beta = 18$  % мол.) мол.). Установлена высокая эффективность флокулообразования в суспензии бентонитовой глины с участием анионного сополимера акриламида с акрилатом натрия по сравнению с промышленным полимерным образцом «Аккофлок». По сравнению с индивидуальными полимерными добавками установлено, что в присутствии магнитных флокулянов закономерно возрастает флокулирующий эффект, при этом наблюдается существенное повышение константы уплотнения, связанное с образованием флокул на первой стадии процесса седиментации. После достижения максимальной степени осветления осадок трансформируется в сложную, гетерофазную систему в жидком агрегатном состоянии с сильно набухшими частицами дисперсной фазы – изолированными или входящими в состав полидисперсных по размерам частиц флокул, который проявляет высокую адсорбционную активность по отношению к примесям неорганического характера.

Полученные в ходе выполнения работы закономерности позволяют прогнозировать эффективность применения магнитных флокулянтов для интенсификации процессов очистки многокомпонентных сточных вод.

## НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ ГЕПТАСУЛЬФИДА РЕНИЯ

**Студентка 5 курса Дмитриева А.А.**

Руководитель к.х.н. Егоров Н.Б.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*

*aad64@tpu.ru*

Цель нашей работы – создание физико-химических основ фотохимического синтеза наночастиц гептасульфида рения ( $\text{Re}_2\text{S}_7$ ) при УФ-облучении водных растворов, содержащих перренат натрия ( $\text{NaReO}_4$ ) и тиосульфат натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ).

Поиск новых способов синтеза наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  представляет интерес из-за его применения в промышленности в качестве катализатора селективного гидрирования и в медицине в качестве реагента для лимфосцинтиграфии.

На основании проведенной работы получены следующие результаты.

1. Наиболее эффективно накопление продуктов фотолиза происходит при УФ-облучении водных растворов, содержащих 0,096 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 0,008 M  $\text{NaReO}_4$ , эксимерной лампой KrCl ( $\lambda_{\max} = 222$  нм) в интервале pH от 6,8 до 7,1 с квантовым выходом по рению равным  $0,009 \pm 0,002$ . Кинетика образования ренийсодержащих продуктов при УФ-облучении водных растворов, содержащих тиосульфат- и перренат-ионы, протекает по нулевому порядку.

2. Образование  $\text{Re}_2\text{S}_7$  происходит при последовательном замещении атомов кислорода в перренат-ионе на атомы серы, в результате взаимодействия перренат-ионов с сероводородом, образующимся при фотораспаде тиосульфат-ионов УФ-излучением с  $\lambda_{\max} = 222$  нм.

3. Состав  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , полученного фотохимическим способом, был сопоставлен с составом образцов  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , полученных известными из литературы способами его синтеза (тиосульфатным, сульфидным и тиоацетамидным). Состав установлен по данным химического анализа, ИК- и рентгенофотоэлектронной спектроскопии. Определено, что по составу они практически не отличаются, что однозначно указывает на образование  $\text{Re}_2\text{S}_7$  при УФ-облучении водных растворов, содержащих тиосульфат- и перренат-ионы.

4. Образцы рентгеноаморфного  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , полученного фотохимическим способом в своем составе содержат воду, избыток серы по сравнению со стехиометрическим составом и гидросульфат-ионы, а также тиоперренат-ионы.

5. Предложена принципиальная схема синтеза наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  фотохимическим способом, включающая стадии приготовления раствора, содержащего 0,096 M  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  и 0,008 M  $\text{NaReO}_4$  в фосфатном буферном растворе с pH = 7,0, УФ-облучения приготовленного раствора эксимерной лампой KrCl на воздухе и выделения наночастиц  $\text{Re}_2\text{S}_7$  из фотолита с помощью центрифугирования.

6. Исследование гидродинамического диаметра  $\text{Re}_2\text{S}_7$  показало, что образующиеся наночастицы, выделенные из фотолита центрифугированием имеют размер  $125 \pm 15$  нм и способны при контакте с водой в ней растворяться с образованием коллоидного раствора, который может быть стабилизирован поливинилпирролидоном.

Таким образом, реализован принципиально новый вариант синтеза  $\text{Re}_2\text{S}_7$ , который основан на фотохимической реакции, осуществляется без использования токсичных реагентов и в нейтральной среде.

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ ОГНЕУПОРНЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СУСПЕНЗИЙ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ В 3D-ПЕЧАТИ

**Студент 1 курса магистратуры Меженин А.В.**

Руководитель профессор Казьмина О.В.

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
avm106@tpu.ru*

Перспективным и ранее неиспользуемым для 3D-печати материалом являются широко применяющиеся при производстве кварцевой керамики и огнеупоров высококонцентрированные вяжущие сусpenзии (ВКВС) на основе кварцевого стекла, сочетающие концентрацию твёрдой фазы более 80 % мас. с низкой вязкостью и способностью твердеть при сушке за счёт перехода кремнезоля в кремнегель [1]. В ходе нашей работы исследовано влияние введения наполнителей (кварца, электрокорунда, муллита, шпинели) и добавок (суперпластификатора Sika 225, поливинилового спирта (ПВС), лимонной кислоты) на реологические характеристики ВКВС кварцевого стекла и физико-механические свойства получаемых из них огнеупорных композитов.

Композиты, обожжённые при температурах 1100–1600 °C, характеризуются грубозернистой и макропористой структурой, которая зависит от свойств наполнителей и их физико-химического взаимодействия с матрицей кварцевого стекла при обжиге. Кристаллизация кварцевого стекла с образованием кристобалита при температурах выше 1200–1300 °C приводит к снижению прочности материалов из-за полиморфных превращений кристобалита. Полученные огнеупорные материалы по прочности (30–110 МПа) и пористости (10–20 %) сопоставимы с традиционной кварцевой керамикой и превосходят динасовые огнеупоры (прочность 20–30 МПа), благодаря чему могут быть использованы при производстве огнеупорных и жаростойких изделий с рабочими температурами до 1400–1600 °C.

ВКВС кварцевого стекла с наполнителями в виде электрокорунда, шпинели и муллита имеют дилатантный характер течения, что затрудняет их экструзию и ограничивает их применение в области аддитивных технологий [2]. ВКВС с наполнителем в виде кварца (при его содержании более 50 % мас.) имеют нелинейно-вязкопластичный характер течения с пределом текучести от 1,5 до 2,7 Па, что делает возможным их использование в 3D-печати. Дополнительное введение в ВКВС добавки ПВС до образования 5 % раствора увеличивает вязкость наполненных супензий и коэффициент сохранности формы при экструзии с 0,2–0,3 до 0,5–0,6. Установлено, что оптимальным для экструзионной печати данных материалов является использование экструдера с диаметром сопла 8–10 мм и углом конуса 10°. Дальнейшие исследования включают сборку рабочего прототипа 3D-принтера, проектирование и изготовление оснастки для 3D-печати и подбор технологических режимов печати материалов на основе ВКВС с наполнителем в виде кварца, обладающих наилучшими реологическими характеристиками и достаточно высокими физико-механическими свойствами изделий после обжига.

*Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ (проект № 23 29-00471).*

### ЛИТЕРАТУРА

1. D.V. Kharitonov et al, *Glass. Ceram.*, **2018**, *75*, 5.
2. L. del-Mazo-Barbara, M.-P. Ginebra, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **2021**, *41*, 16.

# СИНТЕЗ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

**Студент 4 курса Мощенко В.В.**

Руководитель к.т.н. Храменкова А.В.

Южно-Российский государственный политехнический университет

им. М.И. Платова

*moshenkovalentin02@gmail.com*

Суперконденсаторы (СК) представляют собой устройства накопления электрической энергии, обладающие высокой удельной мощностью, стабильностью при циклировании и быстрой скоростью заряда-разряда [1]. Свойства СК в целом во многом определяются характеристиками электродных материалов.

Целью нашей работы является синтез гибридных электродных материалов на основе углеродной ткани, модифицированной оксидами переходных металлов, в частности молибдена, и полиакриловой кислотой с улучшенными характеристиками для суперконденсаторов с щелочным электролитом.

Синтез гибридных электродных материалов проводили с использованием метода нестационарного электролиза, основанного на применении переменного асимметричного тока. Электролиз проводили из водного электролита, содержащего сульфат железа(II) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); сульфат кобальта ( $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); сульфат никеля ( $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ); гептамолибдат аммония ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ); борную кислоту ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ); лимонную кислоту ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) и полиакриловую кислоту ( $(\text{C}_2\text{H}_3\text{COOH})_n$ ). Температура электролиза  $60^\circ\text{C}$ , pH 4. Время электролиза – 40 мин.

Для повышения адгезии углеродную ткань предварительно модифицировали оксидами ванадия.

Исследование фазового состава проводили с помощью просвечивающего электронного микроскопа Zeiss Libra 200FE (Carl Zeiss) с длиной камеры 567 мм при ускоряющем напряжении 200 кВ.

Основными фазами полученных гибридных материалов, по данным электронной дифракции, являются смесь оксидов молибдена  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mo}_4\text{O}_{11}$ , оксиды никеля и ванадия,  $\text{NiO}$  и  $\text{V}_2\text{O}_5$  соответственно.

Исследование электрохимических свойств синтезированного электродного материала в 2М KOH в трехэлектродной ячейке на потенциостате-гальваностате Р-40Х показало, что он характеризуется достаточно высокой емкостью – 1115 мФ/см<sup>2</sup> при плотности тока 5 мА/см<sup>2</sup>. Синтезированные гибридные электродные материалы превосходят по удельной емкости прошлые разработки [2], что позволяет сделать вывод о том, что добавка полиакриловой кислоты повышает ионную проводимость электродных материалов, и соответственно, удельную емкость.

## ЛИТЕРАТУРА

1. S. Sahoo, T.T. Nguyen, J.J. Shim, *J. Ind. Eng. Chem.*, **2018**, 63, 181.
2. A.V. Khramenкова, A.I. Izvarin, E.A. Yatsenko, *J. Surf. Invest.: X-Ray, Synchrotron Neutron Tech.*, **2022**, 16, 151.

## ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА ВТ1-0

**Студентки 3 курса Носова М.А., Маркина Л.М., Мамедова Ф.Г.**

Руководитель к.т.н. Тамбовский И.В.

*Костромской государственный университет*

*mari.nosova.04@bk.ru*

Несмотря на преимущества титановых сплавов, которые обладают высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью, их производство, или разработка новых рецептур, всегда трудоемко, энерго- и ресурсозатратно. В качестве альтернативы дорогостоящему легированию для улучшения эксплуатационных свойств готовых изделий могут использоваться различные технологии поверхностного модифицирования, одной из которых является технология плазменно-электролитной химико-термической обработки (ПЭХТО), позволяющая в сочетании с плазменным электрохимическим полированием увеличивать твердость и положительно изменять трибологическое и коррозионное поведение металлов и их сплавов.

Цель нашей работы – изучение влияния ПЭХТО и модифицирования поверхности технического титана марки ВТ1-0 анодными нитроцементацией и полированием на твердость и износстойкость материала.

Плазменно-электролитной нитроцементации (ПЭНЦ) подвергались цилиндрические образцы из технически чистого титана марки ВТ1-0 диаметром 11 и высотой 15 мм в электролите, содержащем аммиак (5 % масс.), ацетон (5 % масс.) и хлорид аммония (10 % масс.), °С в течение 5 минут. Последующее плазменное электрохимическое полирование (ПЭП) проводилось в 4 %-ном растворе фторида аммония при 90 °С.

ПЭНЦ при температуре 900 °С позволяет сформировать наружный закаленный слой, максимальная микротвёрдость которого составляет 1280 HV, что в 5 раз превышает микротвёрдость исходной структуры. Последующее ПЭП продолжительностью до 3 минут во фторсодержащем электролите эффективно и позволяет сохранить модифицированную структуру высокой твердости в поверхностном слое. При этом после ПЭП при 275–300 В за счет равномерного удаления наружного оксидного слоя, сформированного в процессе ПЭНЦ при высокотемпературном окислении, и в результате снижения Ra шероховатости поверхности в 1,1–1,6 раза относительно исходного значения нитроцементованных образцов, в зависимости от режима ПЭП, улучшаются характеристики трения и износа. Наилучший результат сочетания трибологических характеристик получен после нитроцементации и последующего ПЭП в течение 3 минут при напряжении 300 В. В этом случае коэффициент трения, весовой и объемный износ могут быть снижены в 2, 8,3 и 10,7 раза соответственно по сравнению с нитроцементированными образцами и 2,2, 4,7 и в 7,6 раза по сравнению с необработанным титаном ВТ1-0. При этом, после комплексной обработки практически в 2 раза уменьшаются значения критерия Крагельского-Комбалова, что указывает на повышение несущей способности шероховатого профиля после такой обработки, о чем также свидетельствуют низкие значения коэффициента трения.

Таким образом, комплексная плазменно-электролитная обработка позволяет устранить существующие недостатки ПЭХТО, повысить твердость и износстойкость и материала.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОКСИДНЫХ $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА МЕТАНОЛА

**Студентка 2 курса Папулова Э.Л.**

Руководитель к.т.н., Румянцев Р.Н., аспирант 3 курса Смирнова А.А.

*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*papulova.elvira@gmail.com*

Производство метанола – одно из самых крупнотоннажных производств; оно основано на катализитической переработке природного газа или другого углеводородного сырья [1]. Наиболее распространенным способом получения метанола является катализитическая переработка синтез-газа, полученного путем риформинга метана, на оксидных катализаторах  $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Рынок катализаторов для синтеза метанола в России, в основном, был занят зарубежными производителями Haldor Topsoe (Дания), Perstorp (Швеция), Clariant (Швейцария). В настоящее время разработка и совершенствование российских аналогов катализаторов для данного процесса весьма актуальны [1, 2].

Опубликовано большое число работ, посвященных исследованиям медьцинка-алюминиевых катализаторов процесса синтеза метанола. Однако в литературе практически отсутствуют исчерпывающие данные по промышленным катализаторам. Поэтому целью нашей работы является исследование свежего и отработанного катализатора синтеза метанола.

Для изучения физико-химических характеристик катализатора были использованы методы рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии, низкотемпературной адсорбции-десорбции азота (БЭТ), индикаторный метод Гаммета, газовая хроматография. В работе приведены данные по фазовому составу катализатора, его морфологии и физико-химическим свойствам [2]. Также приведены данные по катализитической активности катализатора в реакции синтеза метанола. Кроме исследования состава и свойств в работе проведена адаптация стандартов ASTM для исследования механической прочности и устойчивости катализаторов к истиранию. Установлено влияние предварительной сушки свежего и отработанного катализатора при 120 и 400 °C на их механическую прочность и устойчивость к истиранию.

*Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ №21-73-10210.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. П. В. Мокриенко, *Вестник ТОГУ*, 2009, 3(14), 175.
2. Р.Н. Румянцев, А.А. Батанов, И.Н. Цымбалист, А.А. Ильин, Н.Е. Гордина, И.С. Гришин, *Известия вузов. Серия «Химия и химическая технология»*, 2021, 64, 56.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ $ZnO-Al_2O_3$ ДЛЯ ПРОЦЕССА СЕРООЧИСТКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

**Студент 4 курса Усов В.В.**

Руководитель профессор Ильин А.А.

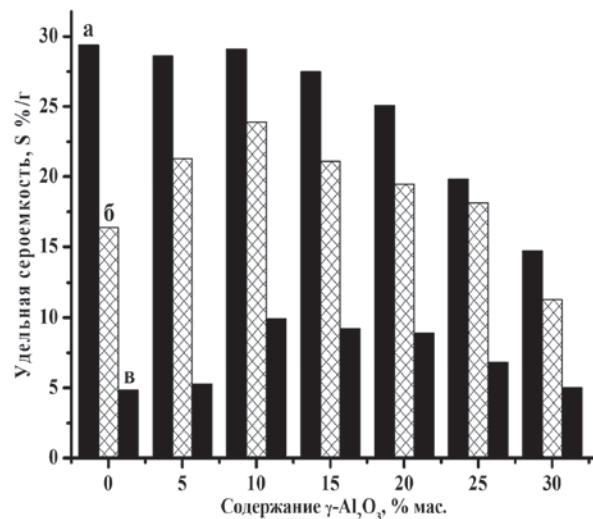
*Ивановский государственный химико-технологический университет*

*vladus1202@gmail.com*

Твердофазные процессы, инициируемые механическим воздействием, давно стали важным предметом исследований. Такие реакции имеют хорошие перспективы использования в промышленности. Они особенно актуальны при разработке так называемых сухих технологических процессов.

В нашей работе исследованы адсорбционные и каталитические свойства системы  $ZnO-Al_2O_3$ , проявляемые в процессе комплексной, одностадийной очистки природного газа от органических и неорганических соединений серы.

Исследование каталитической активности в реакции гидрирования пропилмеркаптана водородом изучено в течение полного цикла эксплуатации  $ZnO$  при температурах 350 и 400 °C на установке проточного типа. Выявлены стадии процесса взаимодействия компонентов газовой смеси (пропилмеркаптана и сероводорода) с чистым оксидом цинка. Установлено, что в процессе каталитического восстановления  $C_3H_7SH$  водородом протекают процессы образования и поглощения  $H_2S$  с образованием сульфида цинка.



**Рис.** Зависимость величины удельной сероемкости при температуре в реакторе 350 °C по (а) сероводороду, (б) пропилмеркаптану и (в) тиофену от содержания оксида алюминия в образце.

Оксид алюминия применялся в качестве текстурного промотора, для увеличения дисперсности и механической прочности системы. Его содержание в образцах варьировалось от 0 до 30% мас. Установлено влияние содержания  $\gamma\text{-}Al_2O_3$  на дисперсность, удельную поверхность и сероемкость лабораторных образцов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. К.А. Верес, А.А. Ильин, В.В. Усов, М.Б. Сейоум, Н.Н. Смирнов, *Изв. вузов. Химия и хим. технология*, 2023, 66, 5, 96.

## ПИРОТЕХНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДЛЯ ФАЛЬШФЕЙЕРА БЕЛОГО ОГНЯ

**Студентка 4 курса Якимова А.Р.**

Руководитель доцент Выборнов С.А.

*Казанский национальный исследовательский технологический университет*

*yakimovaangelina@mail.ru*

Фальшфейер белого огня (ФБО) – пиротехническое устройство для подачи светового сигнала бедствия в дневное и ночное время суток. Наибольшее применение ФБО нашли на морских и речных судах; они входят в перечень обязательных средств для оснащения судов, спасательных шлюпок и плотов. Белый огонь используется при подаче сигнала для предупреждения столкновения судов.

При использовании ФБО возникают следующие проблемы:

- нет устойчивого перехода горения от звездки к звездке у ФБО (приходится вводить подсыпку переходного состава между звездками, но и подсыпка не обеспечивает 100 % воспламенения);
- горение штатного образца сопровождается искрообразованием, что повышает пожароопасность;
- отсутствует время замедления при запуске.

Цель нашего исследования – разработка пиротехнического состава для снаряжения фальшфейера белого огня.

В ходе выполнения работы были испытаны составы ФБО на основе солей азотной кислоты и хлорсодержащих соединений; проведен анализ влияния природы горючего, окислителя и добавки, а также соотношения компонентов на специальные и термодинамические характеристики составов белого огня.

По результатам работы предложен новый состав, который:

- обеспечивает плавный переход от звездки к звездке;
- обладает меньшим искрообразованием;
- обладает лучшими значениями силы света и скорости горения.

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СТРУКТУРУ КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ $\text{InGaMgO}_4$

**Студент 4 курса Янишевский А.В.**

Руководители к.х.н. Юловская В.Д., к.х.н. Кондратьева О.Н.

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

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

*y\_alexander\_v@mail.ru*

Все известные способы синтеза керамических материалов требуют либо длительной термической обработки, либо дорогостоящего и/или громоздкого оборудования (метод распылительной сушки). Целью нашей работы является разработка технологических условий получения керамического материала на основе сложного оксида  $\text{InGaMgO}_4$ , которые позволяют упростить синтез таких материалов. Для достижения этой цели нами был предложен метод сжигания нитрат-органических прекурсоров (метод горения геля). В основе этого метода лежит реакция термического разложения гелеобразного прекурсора, приготовленного из водных растворов солей металлов и органического топлива. После полного растворения навесок металлов в азотной кислоте к раствору добавлялось органическое топливо [1]. Полученная смесь упаривалась до состояния геля, в момент полного обезвоживания геля начинался процесс «горения» органического топлива с образованием порошка прекурсора. Далее образец проходил постадийный отжиг в диапазоне температур от 400 °C до 1400 °C с шагом 200 °C. Образцы исследовались методами РФА и растровой электронной микроскопии.

По результатам РФА образцов было обнаружено, что целевая фаза начинает образовываться при температуре 800 °C. Повышение температуры термообработки порошка-прекурсора способствует увеличению кристалличности образца.

Заметный рост зерен оксида  $\text{InGaMgO}_4$  наблюдается при температуре 1000 °C. После отжига образцов при температуре 1000 °C зерна были сильно агломерированы, имели шарообразную форму и приблизительно один размер, который составлял ≈ 0,2 мкм. После термообработки прекурсора при температуре 1200 °C зерна приобретают четкую огранку, происходит рост отдельных зерен до размера ≈ 1 мкм, часть зерен размером 0,2 мкм при этом остаются. При температуре 1400 °C размер зерен варьируется от 1 до 10 мкм.

Таким образом, предложенный метод позволяет получить сложный оксид  $\text{InGaMgO}_4$  и сократить время термической обработки (по сравнению с твердофазным методом синтеза) почти на два порядка (со 144 ч до 4 ч).

В ходе исследований полученных образцов выявлено, что использование азотсодержащего органического топлива не позволяет достичь требуемого результата в рамках поставленной задачи, в отличие от органического топлива полимерной природы. Также выявлено влияние температуры отжига на фазовый состав и морфологию целевой фазы. Керамический материал, полученный путем спекания спрессованных заготовок из порошка  $\text{InGaMgO}_4$ , имеет относительную плотность ≈ 86 % от теоретической.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. А.В. Янишевский, М.Н. Смирнова, О.Н. Кондратьева, Г.Е. Никифорова, XIII Конференция молодых ученых по общей и неорганической химии: Тезисы докладов, Москва, 2023. с. 122.

**НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

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

## ПОЛУЧЕНИЕ РАНЕЗАЖИВЛЯЮЩИХ ПОРИСТЫХ ПЛАСТИН НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ НАТРИЕВЫХ СОЛЕЙ N-СУКЦИНИЛХИТОЗАНА

**Студент 1 курса магистратуры Алмаев Б.Ф.**

Руководитель к.х.н. Базунова М.В.

*Уфимский университет науки и технологий*

*almaevbulat@yandex.ru*

В настоящее время предложен ряд полимерных ранезаживляющих материалов в качестве альтернативы традиционным текстильным повязкам. Среди них значительное распространение получили пленки на основе природных полимеров, например, хитозана и его производных. Однако все предложенные на данный момент полимерные ранезаживляющие пленки обладают существенным недостатком, затрудняющим их активное применение: потеря целостности пленки в ходе эксплуатации вследствие недостаточной прочности материала. Одним из перспективных способов устранения этого недостатка является использование полимерных смесей и модифицирующих добавок. Целью работы было получение ранезаживляющих пластин на основе полимерных смесей натриевых солей N-сукцинилхитозана (СХТЗ) и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) с глицерином в качестве пластификатора.

Пластины получены лиофилизацией растворов различных составов: 3 % СХТЗ, КМЦ 1–1,5 %, глицерин 0,25–2 %. Условия лиофилизации сохранялись постоянными для всех пластин. Оптимальный состав композиций для создания ранезаживляющих пластин должен, с одной стороны, обеспечивать сохранение текучести исходных растворов, с другой – исходные растворы должны характеризоваться высокой степенью структурированности для обеспечения необходимых деформационно-прочностных свойств готового материала. Поэтому было оценено влияние реологического поведения растворов смесей СХТЗ и КМЦ, в том числе в присутствии глицерина, на физико-химические и физико-механические получаемых пористых пластин. В случае пластин с содержанием глицерина до 1 % масс., формирование более плотной структуры материалов сопровождается улучшением деформационно-прочностных свойств, а именно, ростом прочности пленки на 218–936 % и эластичности на 140–760 % по сравнению с пленками на основе индивидуальной СХТЗ. Дальнейшее увеличение содержания глицерина приводит к ухудшению прочностных свойств композиционных пленок.

Показана возможность управления сорбционными свойствами композиционных материалов на основе СХТЗ путем введения в систему глицерина и за счет варьирования соотношений полимеров в смеси.

Предложен оптимальный состав композиции для получения ранезаживляющих пластин: 3 % СХТЗ, 1,5 % КМЦ, 1 % глицерина, обеспечивающий превосходство полученных пластин по сравнению с имеющейся в свободной продаже пластины «Хитокол» по показателю разрывного напряжения на 381 %, а по показателю разрывного удлинения на 710 %.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. S. Raj, P. Kumar Sharma, R. Malviya, *Current Smart Materials*, 2018, 1, 3.
2. Y. Mansur, *Polysaccharides: Syntheses, Modifications and Structure/Property Relations*, Elsevier, 2013, 22 p.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕТРАХЛОРИДНОГО КОМПЛЕКСА ПАЛЛАДИЯ АЗОТСОДЕРЖАЩИМ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИМ СОПОЛИМЕРОМ

**Студентка 2 курса магистратуры Грачева З.В.**

Руководитель к.х.н. Шаулина Л.П.

*Иркутский государственный университет*

*e-mail: wh1t397@mail.ru*

Для определения микроколичеств благородных металлов, в частности палладия, в сложных по составу растворах, применяется сорбционное извлечение с использованием комплексообразующих сорбентов. Метод отличается высокой эффективностью, избирательностью, экологической безопасностью, а также удобством сочетания с последующими методами определения. Среди комплексообразующих сополимеров практический интерес представляют азотсодержащие полимерные сорбенты, широко используемые для извлечения и разделения благородных металлов [1, 2].

Цель нашей работы – изучение сорбционных характеристик сополимера 1-винил-1,2,4-триазола с акрилонитрилом и метилен-бис-акриламидом по отношению к тетрахлоридному комплексу палладия.

Сорбционная активность сополимера обусловлена наличием четвертого атома азота гетероцикла и его протонированием [3]. Сорбционные свойства сополимера изучали в статических условиях при комнатной температуре. Концентрацию палладия контролировали атомно-абсорбционным методом.

Тетрахлоридный комплекс палладия извлекается из растворов в соляной и серной кислотах в интервале  $10^{-6}$  – 6 М при времени установления равновесия 30 мин. Наибольшая степень извлечения достигается из 2 М растворов. По характеру кривых зависимости извлечения палладия от кислотности раствора сделано предположение о двухстадийном ионно-координационном механизме извлечения. Для подтверждения механизма образования твердофазного комплекса палладия с активными группами сополимера состава 1:2 использовали данные элементного анализа и ИК спектроскопии.

Сорбционная емкость и коэффициент распределения определены из кривых равновесного распределения тетрахлоридного комплекса палладия от его концентрации при сорбции из 2 М раствора соляной кислоты и, составляют, соответственно, 285 мг/г и  $1 \cdot 10^5$  см<sup>3</sup>/г<sup>-1</sup>. Высокое значение коэффициента распределения свидетельствует об эффективном извлечении низких концентраций палладия. Для выяснения типа кинетики изучено влияние скорости перемешивания, концентрации палладия на процесс сорбции. Вид кинетических кривых указывает на диффузионный тип кинетики. Выяснено, что палладий полностью элюируется из фазы сорбента солянокислым раствором тиомочевины. Показано, что в условиях извлечения палладия происходит сорбция ионов цветных металлов. Причина сорбции связана как с образованием анионных хлоридных комплексов, так и возможностью координации с атомом азота триазольного цикла.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.К. Неудачина, А.Я. Голуб, А.С. Холмогорова, *Журн. прикладной химии*, **2014**, 87, 7.
2. G. Prozorova, N. Kuznetsova, L. Shaulina, Y. Bolgova, *J. Organomet. Chem.*, **2020**, 916, 121273.
3. Т.Г. Ермакова, Н.П. Кузнецова, *Изв. РАН. Серия химическая*, **2017**, 66, 12, 2298.

## СИНТЕЗ СОПОЛИМЕРОВ СТЕАРИЛМЕТАКРИЛАТА С N-ВИНИЛПИРРОЛИДОНОМ И ПРИМЕНЕНИЕ ИХ В КАЧЕСТВЕ ДЕПРЕССОРНЫХ ПРИСАДОК К ДИЗЕЛЬНОМУ ТОПЛИВУ

**Студент 1 курса магистратуры Долганов Е.Д.**

Руководитель доцент Павловская М.В.

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского*  
*raseroviaraser@gmail.com*

В связи с климатическими особенностями Российской Федерации остро стоит вопрос о производстве дизельных топлив (ДТ) с улучшенными низкотемпературными характеристиками. Одним из решений этой проблемы является синтез депрессорных присадок (ДП) на основе высокомолекулярных соединений. В качестве ДП нередко используются сополимеры высших алкил(мет)акрилатов, при этом депрессорный эффект в значительной степени определяют молекулярно-массовые характеристики полимеров. Применение методов контролируемой радикальной полимеризации позволяет получать (со)полимеры заданной молекулярной массы, заданным составом, что увеличивает эффективность использования таких соединений в качестве ДП.

В контролируемом режиме по механизму обратимого присоединения-фрагментации синтезированы статистические сополимеры стеарилметакрилата (СМА) с N-венилпирролидоном (N-ВП). В качестве агентов, контролирующих рост полимерной цепи, использованы тритиокарбонаты: 2-цианоизопропилдодецилтритиокарбонат и дигензилтритиокарбонат. Показано, что они являются эффективными контролирующими агентами молекулярно-массовых характеристик синтезируемых (со)полимеров. Коэффициент полидисперсности синтезированных образцов не превышает 1,7 на глубоких степенях превращения мономеров. Методом  $\text{H}^1\text{ЯМР}$  – спектроскопии определен состав (со)полимеров и относительные активности мономеров.

Были изучены низкотемпературные свойства – определены температура помутнения, застывания и предельная температура фильтруемости ДТ в присутствии синтезированных (со)полимеров СМА – N-ВП. Установлено, что вовлекаемая присадка на основе СМА – N-ВП значительно улучшает низкотемпературные свойства ДТ, не уступая по депрессорному эффекту широко используемой товарной присадке Dodiflow. Депрессорный эффект в данном случае составил 21 градус.

При сравнении синтезированных (со)полимеров СМА – N-ВП с депрессорными присадками на основе высших алкил(мет)акрилатов [1–2] показано, что полученные соединения превосходят аналоги по депрессорному эффекту при концентрации 800 – 1600 ppm, тогда как сополимеры алкил(мет)акрилатов эффективны при 2000 – 3500 ppm.

Таким образом, (со)полимеры на основе СМА – N-ВП, синтезированные в условиях контролируемой радикальной полимеризации по механизму обратимой передачи цепи, представляют определенный интерес в качестве присадок, улучшающих низкотемпературные свойства и характеристики ДТ.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. I. Pucko, M. Racan, F. Faraguna, *Fuel*, **2022**, 1.
2. Liu Yuping, Xu Guangwen, Zhu Liying, Lin Hualin, Qiu Feng, Han Sheng, Xue Yuan, *Pet Sci Technol.*, **2019**, 7.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ПОЛИИМИДОВ

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

**Студентка 1 курса магистратуры Сухарева Е.М.**

Руководитель доцент Ваниев М.А.

Волгоградский государственный технический университет  
*dubinina.anastasia01@gmail.com, esuhareva2001@gmail.com*

С целью создания полииимида материалов (ПИ) [1, 2], обладающих комплексом ценных эксплуатационных характеристик, необходимо учитывать различные факторы, такие как: структура мономера, используемый растворитель, температура процесса и температура выдержки полииимида пленки. Для этого необходимо проводить большое количество экспериментов, позволяющих получать полииимиды с наилучшим комплексом эксплуатационных характеристик, что является трудоёмкой задачей. В связи с этим, целью нашей работы является целенаправленный синтез полииимида с заданными свойствами на основе предварительных квантово-химических расчетов.

Для целенаправленного синтеза полииимида необходимо оценивать влияние природы мономеров и растворителя, так как причины цвета у пленок полииимида связаны с формированием комплекса между электронодонорными (диамин) и электроноакцепторными (диангидрид) частями, а также внутри- и межмолекулярными взаимодействиями. Так как формирование такого комплекса напрямую связано со структурой и геометрией молекулярных орбиталей, были проведены квантово-химические расчеты с использованием программы GAMESS (US) с методом теории функционала плотности и гибридным функционалом B3LYP / 6-31G (d) с предварительной оптимизацией геометрии молекул полуэмпирическим квантово-химическим методом PM3. С помощью расчёта гаря выбраны системы мономеры-растворитель, позволяющие получать оптически прозрачные пленки с необходимыми физико-химическими характеристиками.

Прозрачность синтезированных ПИ пленок составила 70–85 % при 400 нм, индекс желтизны от 1,19 до 2,5,  $T_{5\%}$  от 450 до 510 °C. При этом, лучшие оптические свойства получены при использовании в синтезе ПИ в качестве растворителя 1,2-дихлорбензола, а в качестве растворителя для отлива ПИ пленки – ТГФ. В то же время использование для синтеза ПИ такого растворителя, как сульфолан позволяет не только расширить возможности метода за счет его лучшей растворяющей способности, но и получить ПИ с большими значениями приведенной вязкости.

Таким образом изучено влияние комплекса факторов на свойства синтезируемых ПИ. Показана возможность целенаправленного синтеза ПИ с комплексом заданных ценных эксплуатационных характеристик.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZU§-2023-0003).*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. H. Zuo, S. He, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **2017**, 64, 6319.
2. E. Cunaj, P.S. Petrou, G.D. Kaprou, S.E. Kakabakos, E. Gogolides, A. Tserepi, *Surf. Coatings Technol.*, **2018**, 334, 292.

# ЭЛЕКТРОСИНТЕЗИРОВАННЫЙ Cr(2-ЕН)<sub>3</sub> КАК ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЙ ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНЫЙ ПРЕ-КАТАЛИЗАТОР РЕАКЦИИ ГОМОГЕННОЙ ОЛИГОМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГЕКСЕНА-1

**Студент 5 курса Иванов А.С.**

Руководитель к.х.н. Сухов А.В.

*Казанский (Приволжский) государственный университет*

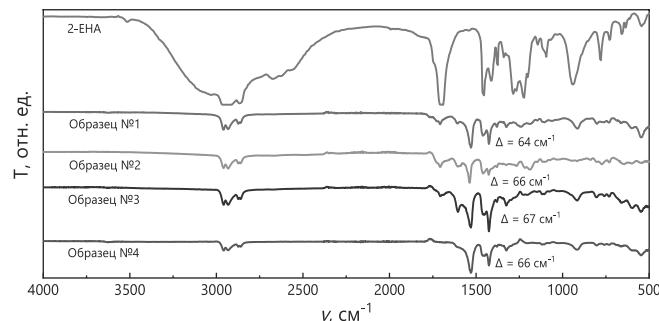
*Химический институт им. А.М. Бутлерова,*

*Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова РАН*

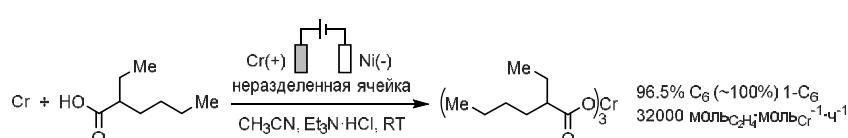
*minandreybit@mail.ru*

Потребность промышленности в линейных альфа-олефинах (ЛАО) довольно значительна и имеет тенденции к росту [1]. Так, сильно возрос спрос на гексен-1 и октен-1 в качестве сомономеров для производства особо прочных пластиков. Олигомеризация этилена, селективно приводящая к гексену-1 или октену-1, является важной промышленной задачей [2]. Среди катализитических систем, способных эффективно тримеризовать этилен, особое внимание уделяют пре-катализаторам на основе карбоксилатов хрома, которые в зависимости от метода их синтеза проявляют различные катализитические свойства [1].

В нашей работе представлена новая электрохимическая технология синтеза 2-этилгексаноата хрома(III) (Cr(2-ЕН)<sub>3</sub>) (схема), в качестве основы для создания высокоселективной катализитической системы тримеризации этилена с целью получения гексена-1. Методом ИК-спектроскопии (рис.) было доказано образование не мостикового комплекса [Cr<sub>3</sub>O(2-ЕН)<sub>6</sub>]<sup>+</sup>, а бидентатного Cr(2-ЕН)<sub>3</sub>, синтез которого классическими химическими методами является крайне сложным процессом, из-за необходимости тщательной очистки от следовых (менее 20 ppm) примесей воды.



**Рис.** ИК спектр образцов №1–№4.  $\Delta = \nu_{\text{as}}(\text{-CO}_2) - \nu_s(\text{-CO}_2)$   
96.5% C<sub>6</sub> (~100%) 1-C<sub>6</sub>  
32000 мольC<sub>2</sub>H<sub>4</sub> мольCr<sup>-1</sup>·ч<sup>-1</sup>



**Схема.** Электросинтез 2-этилгексаноата хрома (III) в присутствие Et<sub>3</sub>N·HCl

Было показано влияние состава фонового электролита, используемого в ходе электросинтеза Cr(2-ЕН)<sub>3</sub>, на катализитические свойства системы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ведущих научных школ РФ НШ-4078.2022.1.3 (грант Президента Российской Федерации).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. G.E. Bekmukhamedov и др., *Catalysts*, **2020**, *10*, 5, 498.
2. K.A. Alferov и др., *Applied Catalysis A: General*, **2017**, *542*, 71.

## РАЗРАБОТКА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ ГЕРМЕТИКОВ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И ХЛОРПОЛИМЕРОВ

**Магистранты 1 курса Климешина Е.Ю., Заседателева Д.А.**

Руководитель к.т.н., доцент Котова С.В.

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

*Email: elizavetaklimeshina@yandex.ru*

В настоящий момент в РФ существует острая потребность в эластомерных герметизирующих композициях (ЭГК), полученных из доступного сырья. Существующие отечественные технологии производства и рецептуры ЭГК требуют улучшений для соответствия по качеству мировым продуктам. В рамках решения данной проблемы на базе кафедры ХТПЭ совместно с российскими предприятиями индустрии герметиков (в том числе с научно-производственной фирмой «Стегер-У») реализовывается масштабная программа по разработке способов модифицирования промышленных рецептур герметиков на основе отечественного бутадиен-нитрильного каучука (БНК).

В статье представлены результаты исследований одного из способа модифицирования однокомпонентных ЭГК: создание рецептур бинарных полимерных композиций на основе БНК. Способ модифицирования заключается в добавлении к основному компоненту полимерной основы (ПО) второго полимера. Для герметика на основе БНК марки СКН-3365 в качестве второго компонента ПО использовался БНК марки СКН-3335, а для герметика на основе БНК марки БНКС-28АМН – хлорполимер (хлорированный поливинилхлорид, ХПВХ).

Полученные композиционные материалы – неотверждаемые невысыхающие герметики, отличающиеся друг от друга соотношением компонентов ПО (диапазон варьирования составлял от 20 до 80 масс. ч.). Для проведения объективного сравнительного анализа были изготовлены контрольные смеси на основе СКН-3365 для первого способа и на основе БНКС-28АМН – для второго. Оценка влияния введения вторых компонентов ПО на адгезионные и эксплуатационные свойства герметиков проводилась в режимах, моделировавших реальные условия эксплуатации ЭГК.

Исследование адгезионных свойств проводилось в соответствии с ГОСТ-14759-69. Получены результаты: при соотношении СКН-3365/СКН-3335 равном 50/50, прочность при сдвиге связи металл-герметик повышается на 22%, по сравнению с контрольным образцом. В случае совмещения БНКС-28АМН и ХПВХ в соотношении 80/20 прочность повышается на 29 %.

При исследовании эксплуатационных свойств было выявлено:

- введение до 30 масс. ч. второго компонента ПО в обеих рецептурах позволяет повысить водостойкость ЭГК (согласно ГОСТ Р ИСО 1817-2009);
- при эксплуатации ЭГК в агрессивной среде нефраса, оптимальными соотношениями компонентов являются СКН-3365/СКН-3335 50/50 и БНКС-28АМН/ХПВХ 60/40 (в соответствии с ГОСТ Р ИСО 1817-2009);
- введение до 30 масс. ч. СКН-3335 и до 50 масс. ч. ХПВХ позволило повысить стойкость ЭГК к воздействию минерального масла (ГОСТ IEC 60811-2-1-2011).

Полученные результаты подтверждают обоснованность предложенных рецептур и способов модификации герметиков на основе БНК. Исследование имеет практическую значимость, поскольку разработанные герметики могут быть изготовлены из доступного на российском рынке сырья и использованы в качестве изоляционного слоя кабелей в машинных отсеках в среде нагретого масла.

## СОЗДАНИЕ ГЕМОСТАТИЧЕСКИХ РАНЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ КОЛЛАГЕНСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ РЫБНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Студентка 4 курса Кондратова А.Н.**

Руководитель к.х.н. Грехнёва Е.В.

*Курский государственный университет*

*UkolovKSO@yandex.ru*

В настоящее время коллаген, выделяемый из рыбной чешуи, не находит должного применения в промышленном масштабе, хотя способы его выделения известны, малозатратны и позволяют переработать большой объем такого сложного отхода как чешуя рыб [1]. Рыбный коллаген в последнее время активно конкурирует с коллагеном животного происхождения благодаря особенностям своей структуры и свойств [2, 3].

Наша работа направлена на получение гемостатических губок на основе коллагена, полученного путём переработки рыбной чешуи, а также на изучение их физико-механических, сорбционных и эксплуатационных свойств.

Губки получали путем лиофилизации водной дисперсии коллагена с модификаторами. В работе применяли лиофильную сушилку Alpha 1-2 LD plus, производства MartinChrist (Германия), температура конденсора: -500 °C, вакуум: 0,012 мбар. Полученные в таких условиях материалы имеют пористую структуру, с большой площадью внутренней поверхности. Устойчивость губок к действию водных сред достигалась использованием спивающего агента, в качестве которого применяли глутаровый альдегид или глиоксал. Было установлено, что глутаровый альдегид, при прочих равных условиях обеспечивает большую целостность губки при помещении в водные растворы. Кроме того, образцы, спитые глиоксалем, уступают по сорбционным свойствам образцам с глутаровым альдегидом. Сшивка глутаровым альдегидом повышает удельную поверхность губки, что, в свою очередь, ведет к увеличению ее водопоглотительной способности. Использование пластификатора позволяет получать мягкие гибкие материалы, более пригодные к различным видам эксплуатации.

В качестве пластификатора мы предлагаем использовать глицерин в количестве 50 % от массы полимера. Для расширения спектра свойств коллагеновых губок нами предложено в основной состав вводить эфиры целлюлозы в качестве связующего полимера. Наличие второго полимера улучшает основные органолептические свойства губок. Повышается их мягкость, снижается шероховатость, уменьшается липкость. Помимо этого, возрастает способность губки впитывать раневой экссудат, что подтверждено исследованием сорбционных свойств материалов.

Таким образом, в нашей работе предложен простой и экономически привлекательный способ получения раневых покрытий и продемонстрирована возможность квалифицированного использования отходов рыбоперерабатывающей промышленности.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. В.И. Воробьев, Е.В. Нижникова, *Изв. КГТУ*, 2021, 62, 80.
2. Л.С. Байдалинова и др.. *Биотехнология морепродуктов: учебники и учеб. пособия для студ. высш. учеб. завед.* Москва: МИР, 2006, 560 с.
3. А.С. Ванина, Е.В. Грехнева, Т.Н. Кудрявцева и др., *Разработка гемостатических губок на основе рыбного коллагена*, изд-во «Инновационные технологии», 2022, с. 117.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИ НАПЫЛЕННОГО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

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

**Руководитель к.т.н. Алексимов Н.В.**

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

Одной из крупнейших групп полимерных композиционных материалов (ПКМ) являются армированные пластики. В них в качестве связующего применяются полимерные матрицы различной природы (термопласты и реактопласты), которые склеивают наполнитель (высокопрочные армирующие волокна, частицы) в монолитный материал, образуя устойчивый в использовании ПКМ.

Целью работы явилось исследование физико-механических характеристик армированных композиционных материалов, изготовленных методом электростатического напыления термопластичного связующего на стеклянную ткань с последующим прессованием

Нами была разработана технология изготовления препрега состава полифениленсульфид марки DIC B-100-C и полизэфирсульфон марки Ultrason E и армирующего наполнителя – стеклоткани марки Т-10, – подвергавшемуся последующему компрессионному прессованию.

В результате проведения работы полученный образец АрПКМ при данном содержании связующего и наполнителя ( $\varphi_{\text{пfc}} = 12,5 \text{ об. \%}$ ,  $\varphi_{\text{пэс}} = 37,5 \text{ об. \%}$ ,  $\varphi_{\text{ткани}} = 50 \text{ об. \%}$ ) достигается максимум эксплуатационных характеристик АрПКМ:  $\sigma_p = 380 \text{ МПа}$ ,  $\varepsilon_p = 3,74 \text{ \%}$ ,  $E = 19,5 \text{ ГПа}$ .

Таким образом, был создан АрПКМ с оптимальными эксплуатационными характеристиками и были даны рекомендации по использованию смеси полимерных связующих и конструкционной стеклянной ткани марки Т-10 в качестве армирующего элемента.

## КОМБИНИРОВАННАЯ ПОЛИМЕРНАЯ МИЦЕЛЛЯРНАЯ НАНОСИСТЕМА ДЛЯ ТАРГЕТНОЙ ДОСТАВКИ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

**Студентка 2 курса магистратуры Куковякина Е.В.**

Руководители: д.х.н. Кусков А.Н., к.б.н. Яголович А.В.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
*kev0700@yandex.ru*

Цель работы заключается в создании комбинированной мицеллярной полимерной наносистемы для таргетной доставки терапевтических молекул.

Нами была получена комбинированная мицеллярная полимерная наносистема на основе амфифильных производных поли-*N*-винилпирролидона (ПВП) с инкапсулированным противоопухолевым протеасомным ингибитором бортезомибом (*Velcade*<sup>TM</sup>) в гидрофобном ядре и ковалентно конъюгированная с противоопухолевым белком, рецептор-специфичным вариантом цитокина TRAIL DR5-B, на поверхности мицелл. Поскольку рецептор DR5 гиперэкспрессирован в большинстве опухолей, такая система способна направленно доставлять в опухоль биологически активные молекулы, обладающие противоположными физико-химическими свойствами и синергичным терапевтическим эффектом.

Амфифильные мицеллярные наночастицы были получены следующим образом: амфифильный ПВП, содержащий гидрофобную стеароильную группу на одном конце, был получен радикальной полимеризацией мономера в диоксане в присутствии стеароилхлорида в качестве регулятора роста и обрыва цепи. Далее гидрофильный конец полимерной цепи был модифицирован малеимидными группами. Наночастицы на основе амфифильных производных ПВП с инкапсулированным бортезомибом были получены эмульсионным методом. Ковалентная конъюгация мицеллярной ПВП-наносистемы с DR5-специфичным лигандом проводилась путем клик-химии по аминокислотному остатку цистеина на N-конце полипептидной цепи DR5-B.

Полученная комбинированная мицеллярная полимерная наносистема проявила повышенную цитотоксическую активность *in vitro* на 2D и 3D моделях опухолевых клеточных линий глиобластомы человека в сравнении со свободным DR5-специфичным лигандом, а также была безопасна для здоровых клеток. Высокая противоопухолевая активность в отношении DR5-позитивных солидных опухолей объясняется тем, что DR5-B одновременно выступает как таргетный агент, нацеливающий мицеллярные ПВП-наночастицы напрямую в опухоли, гиперэкспрессирующие рецептор DR5, так и как активный противоопухолевый агент, способный селективно уничтожать опухолевые клетки путем апоптоза. Важно отметить, что DR5-B, иммобилизованный на поверхности ПВП-мицелл, сохранил свою биологическую активность. Инкапсуляция бортезомиба в полимерные мицеллы обеспечивает снижение побочных эффектов, пролонгированное действие и синергичный противоопухолевый эффект с DR5-специфичным лигандом. Таким образом, разработанная комбинированная мицеллярная наносистема является потенциальной платформой для новой стратегии противоопухолевой терапии.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-15-00468.*

# ПОКРЫТИЕ НА ОСНОВЕ СОПОЛИМЕРА ГЛИЦИДИЛМЕТАКРИЛАТА И ЛАУРИЛМЕТАКРИЛАТА НА ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОДОМАСЛЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

**Студент 1 курса магистратуры Кусаковский Д.А.**

Руководитель к.х.н. Климов В.В.

Волгоградский государственный технический университет  
*k4isern@yandex.ru.*

Придание супергидрофобных свойств поверхности материалов необходимо для использования таких материалов в промышленности, технике и быту [1]. Одним из важных направлений использования супергидрофобных материалов является создание супергидрофобных/олеофильных фильтров для очистки топлив и масел от примесей воды.

Цель нашей работы – изучение влияния состава сополимеров на основе глицидилметакрилата (ГМА) и лаурилметакрилата (ЛМА) на супергидрофобные, олеофильные свойства и эффективность разделения водомасляных эмульсий фильтровальными материалами на основе хлопчатобумажной ткани.

В работе использовалась хлопчатобумажная ткань гладкого и вафельного плетения – один из перспективных материалов, обладающих иерархической структурой переплетения, что является одним из условий придания супергидрофобных свойств. Сополимер глицидилметакрилата и лаурилметакрилата содержит эпоксидные группы, которые способны взаимодействовать с гидроксильными группами на поверхности ХБТ и образовывать ковалентные связи. Углеводородный заместитель в составе сополимера придаёт его поверхности гидрофобные и олеофильные свойства. Такие фильтры перспективны для разделения водомасляных эмульсий [2].

В работе проводили исследование влияния состава (варьировали соотношение мономерных звеньев [ГМА]:[ЛМА] = 1,5:1; 4:1; 9:1) сополимеров на основе ГМА и ЛМА на фильтрующую способность гладких и вафельных полотен ХБТ. Фильтрующую способность модифицированных образцов измеряли сразу после модификации.

Наилучшие результаты достигаются на ХБТ гладкого и вафельного плетения, модифицированной сополимером поли-(ГМА-со-ЛМА) с соотношением мономерных звеньев 1,5:1. Увеличение содержания ЛМА в сополимере приводит к увеличению гидрофобных и олеофильных свойства фильтрующего материала, и обеспечивает достижение высокой эффективности разделения (до 99,2 %) водомасляных смесей.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Б. Бойнович, Успехи химии, 2008, 77, 619.
2. B. Bhushan, Progress in Materials Science, 2011, 56, 1.

## ПОЛУЧЕНИЕ НОВОГО ПОЛИМЕРНОГО ЭЛЕКТРЕТНОГО МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО В ВИДЕ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА КОМПЛЕКСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НИТРАТА И ПЕРХЛОРАТА НИКЕЛЯ(II) С АМИДАМИ

**Студент 3 курса Малушко Е.Б.**

Руководитель к.х.н. Караваев И.А.

*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*  
*malushko2003@mail.ru*

Цель настоящей работы – получение электретных полимерных пленок с высокими эффективной поверхностной плотностью зарядов и временем жизни электретного состояния путем интеркаляции полярных макромолекул комплекса нитрата и перхлората никеля(II) с различными лигандами в полимерную матрицу на основе диацетата целлюлозы (при действии постоянного внешнего электрического поля) [1].

Синтез комплексных соединений нитрата и перхлората никеля(II) с амидными лигандами (карбамид, ацетамид, N,N-диметилформамид) осуществляли из водных растворов путем смешивания навесок кристаллогидратов солей с амидами в различных мольных соотношениях. Состав, фазовую чистоту и строение выделенных соединений определяли набором современных физико-химических методов анализа. Формирование полимерных пленок осуществляли из раствора комплекса (примерно 0,25 г.) в тетрагидрофуране (3 мл).

Результаты проведенных исследований показывают, что сухое формирование полимерной диацетатной целлюлозной пленки из раствора в тетрагидрофуране с этиловым спиртом, содержащим полярные макромолекулы комплекса  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{Ur}$ , в условиях приложенного к раствору постоянного электрического напряжения 2–4 кВ/см позволяет получать электретные полимерные материалы. Внедренные в полимерную пленку дипольные молекулы металлокомплекса вызывают появление на температурных зависимостях диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, а также токов термостимулированной деполяризации модифицированных пленок дополнительных максимумов, величина которых существенно увеличивается с ростом концентрации молекул.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности применения метода интеркалирования полярных макромолекул в полимерную матрицу в процессе ее формирования в условиях приложенного постоянного электрического поля для получения новых электретных материалов.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. E.V. Savinkina, N.A. Efimova, M.S. Grigoriev, M.N Davydova, V.V. Fomichev , T.A. Ageeva, *J. Coord. Chem.*, **2022**, 75, 3–4, 362.

## ПРОВОДЯЩИЕ СЛОИ НА ОСНОВЕ ВОДОРАСТВОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПОЛИАНИЛИНА С ПОЛИМЕРНЫМИ СУЛЬФОКИСЛОТАМИ

**Студентка 2 курса магистратуры Мельникова Е.И.**

Руководители д.х.н. Тверской В.А., к.х.н. Грибкова О.Л.

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

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН*

*catia.melnickowa2017@yandex.ru*

Цель работы: получение масштабируемым методом пульверизации проводящих слоёв на основе водорастворимых комплексов полианилина с полимерными сульфокислотами.

Преимуществом получения полианилина в присутствии полисульфокислот является растворимость получаемых комплексов в воде, что делает синтез и дальнейшее применение полианилина более экологичным процессом [1].

Химическую полимеризацию анилина проводили в присутствии полимерных сульфокислот различного строения: гибкоцепной поликислоты – поли-2-акриламидо-2-метил-1-пропансульфокислотой (ПАМПСК) и жёсткоцепной поликислоты – поли-4,4'-(2,2'-дисульфокислота)дифенилентерефталамида (тере-ПАСК). В первом случае использовали поликислоту различного молекулярного веса, а во втором – меняли соотношение мономера к поликислоте.

Показано, что при уменьшении молекулярной массы ПАМПСК и в случае жёсткоцепной тере-ПАСК при недостатке поликислоты возможно образование дефектных структур и замедление скорости синтеза. Полимеризация анилина в присутствии ПАМПСК приводит к образованию интерполимерных комплексов с высоким содержанием локализованных поляронов. Полимеризация анилина в присутствии тере-ПАСК приводит к образованию комплексов с высоким содержанием делокализованных поляронов.

Методом пульверизации были получены слои комплексов ПАНИ и исследованы их проводящие свойства. Самое низкое поверхностное сопротивление демонстрируют слои из комплексов ПАНИ с тере-ПАСК, полимеризация анилина при синтезе которых проведена при соотношениях анилин:сульфокислотные группы от 1:2 до 1:2,5 моль/г-экв. Поверхностное сопротивление исследованных слоёв находится в диапазоне  $7 \cdot 10^4$ – $5 \cdot 10^6$  Ом, что удовлетворяет требованиям для их использования в качестве оптически прозрачных проводящих покрытий для защиты от статического электричества и электромагнитного излучения [2].

Таким образом, в работе синтезированы водорастворимые комплексы ПАНИ с поликислотами; продемонстрировано влияние структуры поликислоты, её молекулярной массы и соотношения количеств анилина и сульфокислотных групп на синтез ПАНИ; получены проводящие слои на основе комплексов ПАНИ-поликислота, исследованы их проводящие и спектральные свойства.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. V.F. Ivanov, O.L. Gribkova, K. V. Cheberyako, A.A. Nekrasov, V.A. Tverskoi, A.V. Vannikov, *Russ. J. Electrochem.*, **2004**, 40(3), 299.
2. F. Zeng, X. Xu, Y. Shen, Y. Liu, X. Shan, Z. Qin, *Cellulose*, **2021**, 28(16).

## ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОНОЛИТНЫХ КОЛОНОК ДЛЯ ДВУМЕРНОЙ ВЭЖХ С НОВЫМИ ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ НЕПОДВИЖНЫМИ ФАЗАМИ

**Студентка 5 курса Осечкова А.Е.<sup>1,2</sup>**

Руководитель к.х.н. Сотникова Ю.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Новосибирский национальный исследовательский государственный университет,*

<sup>2</sup>*Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН*

*a.osechkova@g.nsu.ru*

Двумерная высокоэффективная жидкостная хроматография (2D-ВЭЖХ) позволяет анализировать очень сложные смеси, которые невозможно исследовать методом одномерной хроматографии. 2D-ВЭЖХ является эффективным инструментом для анализа метаболитов, биологических жидкостей, фармацевтических препаратов и объектов окружающей среды, поскольку разделение происходит одновременно на двух колонках различной селективности, соединенных с помощью модулятора.

Наиболее широко в ВЭЖХ используются насадочные колонки, которые представляют собой трубку, заполненную гранулами сорбента. Однако у данных колонок есть ряд недостатков, которые затрудняют их использование. Альтернативным вариантом, минимизирующим недостатки насадочных колонок, выступают колонки с монолитным сорбентом, который представляет собой единый химически связанный каркас, пронизанный порами. Монолитные колонки для ВЭЖХ отличаются простотой приготовления, высокой проницаемостью, отсутствием усадки сорбента и возможностью приготовления неподвижных фаз с заданными свойствами на стадии синтеза. Коммерчески доступных монолитных колонок крайне ограниченное количество, они достаточно дороги. В связи с этим необходимо разрабатывать новые колонки с различной селективностью и морфологией для решения сложных аналитических задач.

В данной работе представлены результаты приготовления и исследования монолитных колонок для ВЭЖХ, которые в качестве сорбента содержат сополимер дивинилбензола, стирола, а также функционального мономера (ФМ): 4-фторстирол, аллилпентафторбензол, 4-(трифторметил)стирол, 1Н,1Н,2Н-перфтор-1-гексен. Было приготовлено 7 новых типов колонок с монолитами, содержащими различное относительное количество ФМ в исходной полимеризационной смеси. Оценку относительной полярности приготовленных колонок с различным содержанием ФМ проводили по изменению фактора удерживания фенола и толуола. Показано, что с увеличением относительного содержания ФМ в исходной полимеризационной смеси значение фактора удерживания как фенола, так и толуола увеличивается. Это свидетельствует об одновременном увеличении гидрофобности и полярности монолитного сорбента.

Исследованы химические и текстурные свойства приготовленных колонок. По данным спектрофотометрии, ИК-спектроскопии и сканирующей электронной микроскопии определено содержание и распределение фтора в монолитах. Подтверждено, что функциональные мономеры встраиваются в монолитный каркас, фтор равномерно распределяется по всему сорбенту. Установлено, что морфология приготовленных сорбентов имеет типичный для органических монолитов вид, т.е. представляет собой ассоциаты глобул размером 1–2 мкм, которые образуют единый монолитный каркас, пронизанный транспортными порами размером 4–10 мкм.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ТВЁРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА, НАПОЛНЕННЫХ СОЛЯМИ ЛИТИЯ

**Студент 2 курса магистратуры Ревенков А.Р.**

Руководитель к.х.н. Климов В.В.

Волгоградский государственный технический университет,  
*Ar-rev1@mail.ru*

В современном мире большими темпами растёт производство литий-ионных аккумуляторов, которые, будучи эффективными химическими источниками тока, однако, не лишены недостатков: ограниченный температурный диапазон эксплуатации, коррозия электродов, высокая вероятность короткого замыкания, а также активный рост дендритов – недиссоциирующих комплексов лития, способных нарушать герметичность системы и приводить к утечке жидкого электролита [1].

Перспективной заменой аккумуляторов с жидким электролитом являются батареи с твёрдым полимерным электролитом (ТПЭ). Такие системы более безопасны, обладают высокой электрохимической стабильностью, способностью образовывать хороший контакт с электродом на границе раздела фаз, низкой токсичностью, низкой воспламеняемостью, позволяют получать устройства любых форм и размеров, характеризуются стабильной работой с литиевым анодом, что позволит увеличить удельную энергию аккумулятора до 10 раз.

Цель нашей работы – изучение влияния неорганического наполнителя диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  на ионную проводимость полимерных электролитов на основе полимерных смесей поливинилиденфторида (ПВДФ) с полиглицидиалметакрилатом (ПГМА) и поли-2-гидроксизтилметакрилатом (ПГЭМА).

Ионная проводимость полученных ТПЭ составила до  $10^{-5} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$ , а для квазиполимерных электролитов, содержащих до 20 масс. % остаточного растворителя-пластификатора, составила до  $10^{-3} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$ . Наилучших показателей проводимости при комнатной температуре до  $3,28\cdot10^{-3} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$  удалось достичь при введении 15 масс. % наполнителя в композицию ПВДФ-ПГМА. Однако мы пришли к выводу, что данное массовое содержание диоксида кремния значительно ухудшает физико-механические характеристики пленок – образцы растрескиваются из-за образования агрегатов. Пленки с содержанием наполнителя 5 масс. % показали наилучшие показатели проводимости до  $2,83\cdot10^{-3} \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$  при комнатной температуре при сохранении физико-химических характеристик. Данные композиции могут быть использованы в качестве полимерных электролитов для литий-полимерных аккумуляторов.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FZUC-2023-0003).*

## ПРИМЕНЕНИЕ АНИЛОВ МОНОТЕРПЕНОИДНЫХ КЕТОНОВ В КАЧЕСТВЕ УФ-АБСОРБЕРОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ (ФПК) ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ

**Студент 2 курса Салыкин Н.А.**

Руководитель доцент Сидоренко Н.В.

*Волгоградский государственный технический университет  
behefun@gmail.com*

3D-печать объединяет химию и инженерное дело, обеспечивая точное изготовление сложных микроархитектур с новыми функциональными возможностями и оптимизированной производительностью из различных материалов. 3D-печать на основе DLP (Digital Light Procession, цифровая обработка светом) реализуема с использованием специально разработанных фотополимеризующихся композиций (ФПК) и часто не требует использования вспомогательных материалов для печати полых или пористых компонентов. Когда массив световых пятен проецируется на слой ФПК, свет распространяется внутри каждого освещенного voxel'a в направлении луча и обеспечивает энергию активации для инициирования реакции селективной фотополимеризации в присутствии подходящего фотоинициатора. Толщина отверженного слоя является ключевым параметром в процессе и зависит от взаимодействия между лучом света и компонентами ФПК. Эту взаимосвязь можно легко контролировать, используя небольшие количества подходящего УФ-абсорбера.

Нами впервые показано, что полученные анилы могут быть использованы в 3D-печати в условиях фотоинициированной полимеризации (технология DLP) для получения изделий с высокой детализацией.

Синтезированы, выделены и очищены анилы терпеноидных кетонов с различными вариантами замещения молекулярного строения, подтверждена их структура. Расширен ассортимент УФ-абсорберов, используемых при 3D-печати из ФПК. Полученные соединения способны обеспечить высокую детализацию получаемых полимерных изделий, упрощать и ускорять приготовления ФПК за счет исключения технологической операции, требующей нагревания и перемешивания до достижения гомогенизации.

Путем технико-экономического анализа определен наиболее дешевый анил монотерпеноида. Исследован процесс фотополимеризации полученных композиций. Определены физико-механические характеристики полученных материалов, оценена детализация при 3D-печати. Выявлено, что наилучшие свойства характерны для материала, полученного из ФПК, имеющей в своем составе технический анил камфоры. Он проявляет себя лучше остальных, давая увеличение прочностных свойств изделий и повышая детализацию печати лучше коммерческих УФ-абсорберов, и не уступает по остальным параметрам. Вероятно, побочные компоненты синтеза оказывают влияние на смачивание поверхности контейнера 3D-принтера содержащей неочищенный анил ФПК, однако, это предположение требует дополнительной верификации.

*Исследование выполнено за счет средств гранта РНФ (№ 22-13-20062) и гранта Администрации Волгоградской области по соглашению № 2 от 10.06.2022 г.*

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ 2794337 С1, 17.04.2023.
2. А.А. Вернигора и др., Доклады РАН. Химия, науки о материалах, 2023, 512, 1, 52.

# РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ ПЛАСТИКОВ ПУТЕМ ЛАЗЕРНОГО СТРУКТУРИРОВАНИЯ

**Студент 2 курса бакалавриата Сафонов Т.С.**

Руководитель к.т.н. Рябков Е.Д.

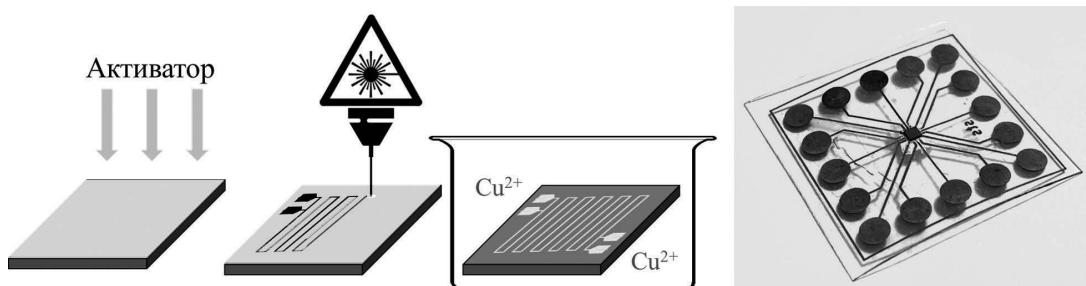
*Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА*

*timsafonov@yandex.ru*

В настоящее время наблюдается огромный рост интереса к разработке, созданию и производству устройств на основе гибкой электроники, которая представляет собой технологию сборки электронных схем путем установки ее элементов на гибкую пластиковую подложку с предварительно нанесенными токопроводящими структурами.

Целью нашей работы является исследование и разработка методики производства токопроводящих элементов на пластиковых и полимерных подложках на основе методов лазерного структурирования и химического меднения [1–3], которая не требует использование специальных композитных материалов, дорогостоящих химических компонентов или соединений драгоценных металлов. Такая методика позволит быстро и экономически выгодно создавать токопроводящие структуры любой требуемой формы, в том числе для быстрого прототипирования.

В ходе выполнения работы был предложен новый аддитивный метод нанесения меди на полимерные и пластиковые поверхности. На поверхность пластика наносится раствор активатора на основе фосфорномолибденовой кислоты. При лазерном структурировании с использованием установки со специально созданной лазерной головкой на поверхности пластика образуются каталитические центры на основе карбида молибдена, на которых в дальнейшем происходит рост зерен металла в ванне химического меднения.



Этапы изготовления токопроводящих структур на пластике и полученный образец

Для определения оптимальных режимов процесса на микроуровне была проведена характеристизация полученных образцов с использованием оптической и сканирующей электронной микроскопии. Также с помощью измерения электрического сопротивления было показано, что полученные медные структуры обладают высокой электрической проводимостью и могут быть использованы при создании электронных устройств с высокой плотностью монтажа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Й. Франке, 3D MID Материалы, технологии, свойства. 2014.
2. H. Xu et al. ACS Appl Mater Interfaces, 2022, 14, 27, 31411.
3. E.M. Khairullina et al. Microchimica Acta, 2022, 189, 259.

## ГЕЛЬ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО ХИТОЗАНА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ РАЗЛИВОВ НЕФТИ

**Студентка 1 курса магистратуры Семенова А.Ю.**

Руководитель к.х.н. Чистяков Е.М.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
*n.semenova.28@mail.ru*

Целью работы было создание дешевого, эффективного и экологически чистого полимерного сорбента на основе возобновляемого сырья, способного разлагаться в окружающей среде после использования.

Загрязнение водных объектов различными загрязняющими веществами, такими как тяжелые и радиоактивные металлы,<sup>1</sup> красители,<sup>2</sup> пестициды,<sup>3</sup> органические растворители и нефтепродукты,<sup>4</sup> является серьезной экологической проблемой.

Известен широкий спектр неорганических и полимерных сорбентов. Предпочтительны полимерные сорбенты на основе полипропилена, сополимера стирола/дивинилбензола и др. Они обладают высокой сорбционной способностью по отношению к нефтепродуктам, но не поддаются биоразложению; поэтому в настоящее время растет интерес к биоразлагаемым сорбентам.

Нами разработан полимерный сорбент на основе хитозана, глутаральдегида и циатраля. Он представляет собой перспективный материал для удаления нефтепродуктов при аварийных разливах на поверхности воды. Это обусловлено его экологической безопасностью, низкой стоимостью, гидрофобностью и олеофильностью, высокой пористостью, плавучестью, высокой емкостью по отношению к маслам на нефтяной основе, структурной стабильностью и возможностью повторного использования после десорбции нефти. Сорбционная способность сорбента по отношению к маслу примерно в два раза выше, чем у сорбента на основе нативного немодифицированного.

Сорбент оставался плавучим при насыщении маслом благодаря большому количеству открытых ячеек. Также он был пригоден для вторичной переработки, так как его сорбционная способность не ухудшалась после трех циклов использования. Маслонасыщенный сорбент может быть легко отделен от водной фазы с помощью нетканого фильтровального мешка и повторно использован после очистки. После промывки летучим органическим растворителем для удаления остатков масла и сушки использованный сорбент может разлагаться в почве под действием микрофлоры.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. T.R. Martins, P.S. Costa, D.A. Bertuol, M.L. Aguiar, E.H. Tanabe, *Metals*, **2022**, *12*, 1334.
2. F. Pinelli, C. Piras, L.P. Nogueira, F. Rossi, *Gels*, **2023**, *9*, 110.
3. C. Valdés, O. Valdés, D. Bustos, D. Abril, G. Cabrera-Barjas, A. Pereira, A. Marican, *Polymer*, **2021**, *13*, 3993.
4. H.J. Perera, A. Goyal, S.M. Alhassan, H. Banu, *Polymer*, **2022**, *14*, 5310.

## РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОГО СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТВЕРДЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ

**Студент 5 курса Шведский Б.В.**

Руководитель к.х.н. Коротнева И.С.

*Ярославский государственный технический университет*  
*shvedskiy\_bv@mail.ru*

В настоящее время особо остро встает вопрос независимости российской фармацевтической промышленности от импорта компонентов, необходимых для производства лекарственных средств. При производстве твердых лекарственных форм, актуальным вопросом является выбор связующего, которое способствует сцеплению частиц порошка таблетируемой массы до требуемых размеров, улучшая технологические характеристики: прессуемости, сыпучести, дозируемости гранулята в матрицы таблеточного пресса, формы частиц и предотвращение сегрегации.

Нашей целью была разработка состава нового отечественного связующего на основе водных дисперсий акриловых сополимеров, его апробация в процессе влажного гранулирования и изучение свойств таблетированных лекарственных форм, полученных из гранулята на его основе.

Нами предлагается получение и использование водных дисперсий акриловых сополимеров в качестве связующих на основе отечественных компонентов. Применение водных дисперсий акриловых сополимеров вместо органических растворов позволит повысить безопасность лекарственного средства, будет способствовать улучшению условий работы в цехе, упростив организацию рабочих мест, а также исключит потребность в использовании электрооборудования во взрывозащищенном исполнении.

В ходе исследований были разработаны рецептуры и установлены условия проведения синтеза водных дисперсий акриловых сополимеров (соотношение компонентов реакционной смеси и температурный режим), обеспечивающие высокую скорость реакции. В результате синтезированы латексы карбоксилсодержащих метилметакрилат-бутилакрилатных сополимеров различного состава, которые успешно испытали в качестве связующих для влажной грануляции фармацевтических порошков, в том числе на промышленной установке с псевдоожижением слоем. Показано, что получение гранулятов в псевдоожиженному слое является более предпочтительной технологией по сравнению с продавливанием увлажненных фармацевтических порошков через перфорированную поверхность сетки гранулятора. Установлены количество и концентрация связующего, обеспечивающие минимальный выход мелкодисперсной фракции гранулята.

На основе полученных гранулятов спрессованы модельные двояковыпуклые круглые таблетки с метамизолом натрия в качестве активной субстанции. Таблетированные лекарственные формы, спрессованные с синтезированным связующим, отвечают требованиям фармакопейных статей Государственной фармакопеи РФ по показателям прочности на истираемость. Показано, что варьируя мономерный состав при синтезе связующей жидкости и концентрацию связующего, можно получать таблетки с контролируемым, более равномерным высвобождением лекарственного вещества.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ  
ВНУТРЕННЕГО ЛАЙНЕРА ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ  
АРМИРОВАННЫХ ТРУБ, ПРИМЕНЯЕМЫХ  
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

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

Руководитель к.х.н. Моисеева С.В.

*Самарский государственный технический университет*

*Shiryaeva.100.anne@yandex.ru*

Полимерные материалы имеют важное значение для нефтедобывающей отрасли. Одной из инновационных практик является применение полимерных материалов для обустройства месторождений нефти и газа, поскольку стальные трубы и арматура подвержены коррозии. Эффективность эксплуатации стальных трубопроводных систем снижается из-за внешней и внутренней коррозии металла. Поэтому широкое распространение получает использование пластмассовых труб.

Цель настоящей работы – исследование химической стойкости внутреннего лайнера полиэтиленовой трубы по ГОСТ 12020-2018; определение изменений характеристик (массы, внешнего вида), а также механических свойств по ГОСТ 11262-2017 образцов пластмасс до и после выдержки в модельных средах, имитирующих состав транспортируемых нефтепродуктов.

Нами исследована химическая стойкость внутреннего лайнера гибких полимерных армированных труб.

– Проведен поиск и изучены модельные среды, которые в полной мере имитируют состав транспортируемой нефти и нефтепродуктов.

– Исследована химическая стойкость полиэтилена марки ПЭ-100 в различных модельных средах.

– Изучена зависимость изменения механических свойств образцов до и после выдержки в модельной среде.

## ТЕПЛОСТОЙКИЕ ЭПОКСИЗОЦИАНАТНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ

**Студент 2 курса магистратуры Ярославцев Н.А.**

Руководитель к.т.н. Борисов С.В.

*Волгоградский государственный технический университет*

*nikita.yaroslavtsev2@mail.ru*

В производстве строительных материалов, прежде всего бетонов, широко применяется стальная арматура. Недостатки её – слабая химическая стойкость и возможность электрохимической коррозии, обусловленная высокой электропроводностью металла. В тех случаях, когда применение стальной арматуры невозможно, в качестве альтернативы может быть использована стеклопластиковая арматура. Она находит применение в качестве армирующего элемента конструкций, контактирующих с агрессивными средами; в элементах дорожного строительства, подвергающихся воздействию противогололёдных реагентов; в бетонах с высоким содержанием активных минеральных добавок; в бетонах с хлоридсодержащими противоморозными добавками; в пористых бетонах; при армировании кирпичной кладки.

Однако стеклопластиковая арматура не может быть использована там, где требуется огнестойкость бетонных конструкций. Это связано с недостаточной тепло- и термостойкостью эпоксиангиридных связующих, традиционно используемых при производстве такой арматуры, поскольку при температурах выше 100 °C начинается размягчение полимерного связующего, при температурах выше 300 °C – его деструкция, а при температурах выше 600 °C стеклопластиковая арматура полностью теряет свою несущую способность. В то же время в научно-технической литературе отсутствуют сведения о связующих эпоксидного типа с достаточно высокими тепло- и термостойкостью, которые могли бы использоваться для получения композитной арматуры. Поэтому целью нашего исследования стала разработка связующего, которое позволит получить стеклопластиковую арматуру с повышенными тепло- и термостойкостью.

Для исследования были выбраны эпоксидная смола марки ЭД-20, полизицианат, триэтиламин, изометилтетрагидрофталевый ангидрид, 2,4,6-три(диметиламинометил)фенол, алюмоборосиликатное стекловолокно с номинальной линейной плотностью 1217 текс.

Исследования показали, что разработанные эпоксицианатные связующие характеризуются меньшим временем гелеобразования (более 500 %), повышенными значениями прочности и модуля упругости при статическом изгибе (до 26 % и 17 % соответственно), температуры изгиба под нагрузкой по методу А (увеличение достигает 106 %) и температуры потери 5 % и 10 % массы при термогравиметрическом анализе в атмосфере воздуха. Стеклокомпозиты на основе разработанных связующих также обладают более высокой прочностью при статическом изгибе (до 13 %). Улучшение физико-механических свойств, теплостойкости и термостойкости разработанных связующих может быть связано с более высокой плотностью сшивки и наличием гетероциклических молекул в структуре полимера.

Таким образом, разработанные эпоксицианатные связующие позволяют получать армированные стекловолокном материалы с улучшенными физико-механическими свойствами, тепло- и термостойкостью.

## НОМИНАЦИЯ I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

### Секция «Неорганическая химия и материаловедение»

<p><b>Васильева Д.Н.</b> (4 курс, Высшая школа экономики Факультет химии). Синтез и физико-химические свойства кристаллических ортофосфатов церия(IV)</p> <p><b>Верзун С.А.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Синтез, оптические и электрохимические свойства и электронная структура циклометаллированных комплексов Ru(II) с 1-бензил-2-арил-5-метиленимидазолами</p> <p><b>Грязнов А.Н., Слесарев Д.С.</b> (4 курс, Мурманский арктический университет, Филиал в г. Апатиты). Электрохимическое получение композиционных материалов «карбид хрома – углеродное волокно»</p> <p><b>Дегтярева С.С.</b> (3 курс, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Высшая школа экономики Факультет химии). Комплексы лантанидов с полидентатными N-донорными лигандами</p> <p><b>Листова А.Л.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет) Фазовые превращения наночастиц CeO<sub>2</sub> в фосфатных буферных растворах: структура и свойства продуктов переформирования</p> <p><b>Манин А.Д.</b> (4 курс, Высшая школа экономики Факультет химии) Гибридные анионообменные мембранны с частицами фосфатов церия</p> <p><b>Митюшев Н.Д.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах). Легирование азотом пленок оксида графена для контроля проводящих свойств</p> <p><b>Можаров Я.М.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах). Газочувствительные материалы на основе нанокристаллического InVO<sub>4</sub> для селективного определения NO<sub>2</sub> и его сравнение с V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и In<sub>2</sub>O<sub>3</sub></p> <p><b>Новикова В.А.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН) Синтез, строение и свойства координационных соединений Dy(III) и Co(II) с анионами замещенных малоновых кислот и n-донорными лигандами</p> <p><b>Панина М.В.</b> (2 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН). Разработка новых синтетических подходов к получению молекулярных карбоксилатных комплексов платины(II)</p> <p><b>Паршукова К.Н., Баданина К.А.</b> (1 курс магистратуры) (Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина) Синтез и физико-химические свойства мультиэлементных пирохлоров на основе tantalата и ниобата висмута</p> <p><b>Пизин М.М.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Поиск условий упорядочения пористых пленок анодного оксида алюминия в смеси серной и щавлевой кислот</p> <p><b>Полухин М.С.</b> (3 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА). Координационные соединения нитратов редкоземельных элементов с N,N-диметилацетамиодом: синтез, структура, свойства</p> <p><b>Рябчикова М.Н.</b> (2 курс, Высшая школа экономики Факультет химии). Методы клик-химии для получения замещенных производных клозо-додекабордатного аниона амидинового типа</p> <p><b>Сабитова И.А.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Синтез и изучение люминесцентных свойств комплексов пивалатов РЗЭ с триэтаноламином</p>	<p>6</p> <p>7</p> <p>8</p> <p>9</p> <p>10</p> <p>11</p> <p>12</p> <p>13</p> <p>14</p> <p>15</p> <p>16</p> <p>17</p> <p>18</p> <p>19</p> <p>20</p>
--	---

<b>Сарвин И.А.</b> (4 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет) Комплексы Zn(II) и Mg(II) с нитрозамещенными фталоцианинами: синтез, исследование и особенности спектрального отклика на N-донорные лиганды	21
<b>Сибиряков М.С.</b> (4 курс, Новосибирский национальный исследовательский университет, Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН). Новые октаэдрические метоксидные кластерные комплексы рения как потенциальные прекурсоры для модификации лигандного окружения	22
<b>Соболь М.Е.</b> (4 курс, Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина). Синтез и изучение функциональных свойств сложных оксидов $\text{La}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_{0.6}\text{Cu}_{0.4}\text{O}_{4+\delta}$ ( $x=0.5, 1.0, 1.5$ ) как катодных материалов ТОТЭ	23
<b>Сосунов Е.А.</b> (3 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Синтез, структура и каталитические свойства полиядерных гетерометаллических карбоксилатных комплексов платины	24
<b>Хвощевская Д.А.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН) $(\text{NH}_4)_3\text{H}(\text{Ge}_7\text{O}_{16})(\text{H}_2\text{O})_{2.72}$ – прекурсор для аэрогелей $\text{GeO}_2$ и $\text{GeO}_2\text{:PZT}^{3+}$	25
<b>Храмцова Д.М.</b> (3 курс, Новосибирский национальный исследовательский университет, Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН). Исследование фазовой диаграммы системы $\text{CaMoO}_4\text{--CaWO}_4$ и изучение люминесцентных свойств твердых растворов $\text{Ca}(\text{Mo}, \text{W})\text{O}_4$	26

## НОМИНАЦИЯ I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

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

<b>Афанасьева А.В.</b> (4 курс, Высшая школа экономики Факультет химии). Метатезис олефинов: разработка эффективного способа гексенолиза и бутенолиза метилолеата	28
<b>Горлов С.Н.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет, Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова РАН). Получение C(20)-трифторметилтивинолов	29
<b>Заикина А.А.</b> (3 курс, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, ВХК РАН). Сульфонилирование энолацетатов: электрохимический подход к синтезу $\beta$ -кетосульфонов	30
<b>Карчевский А.А.</b> (4 курс, Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии). Ациклические диаминокарбоновые комплексы платины(IV), полученные на основе окислительного присоединения MEI и $\text{I}_2$	31
<b>Копытов С.О.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). “UMPOLUNG”-стратегия C <sub>3</sub> -Н-функционализации индола	32
<b>Котикова П.Ф.</b> (3 курс, Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии). Синтез 2-аминохинолинов на основе золото-катализируемой реакции инамидов и аминокарбонильных соединений	33
<b>Кузнецов А.Н.</b> (4 курс, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН). Синтез и исследование конформационных и иммунологических свойств $\beta$ -(1→2)-олигоглюказидов, родственных полисахариду В бактерий <i>Brucella</i> spp	34

<b>Мещерякова Е.А.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН). Экспериментальное и теоретическое исследование циклометаллированных комплексов иридия(III) с жесткими донорно-акцепторными лигандами	35
<b>Молчанова М.В.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет, Институт биоорганической химии им. акад. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН). Циклоприсоединение хинолин- и бензотиазол-илидов. Синтез ингибиторов интегразы ВИЧ-1	36
<b>Муртазин А.Р.</b> (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им. А. М. Бутлерова). Синтез, строение и свойства триазолильных производных на основе пропаргиловых эфиров тиазоло[3,2- <i>d</i> ]пириимидинового ряда	37
<b>Петрова А.Ю.</b> (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова). Новая перегруппировка в ряду 2-арилметилиденовых производных тиазоло[3,2- <i>a</i> ]пириимидина	38
<b>Рогозин П.Е.</b> (4 курс, Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет). Синтез мочевин и тиомочевин, сочетающих 2-адамантановый и монотерпеновые фрагменты, потенциальных ингибиторов вируса SARS-COV-2	39
<b>Сивачев А.А.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Новый метод синтеза 2,3-дигидро-1 <i>H</i> -Бензо[ <i>d</i> ]пирроло[1,2- <i>a</i> ]-имидаэлов	40
<b>Стеблецова И.А.</b> (4 курс, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева ВХК РАН, Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН). Региоселективный синтез NO-донорных (4-нитро-1,2,3-триазолил)фуроксанов методом азид-олефинового циклоприсоединения	41
<b>Стыпник Н.В.</b> (4 курс, Новосибирский национальный исследовательский университет, Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН). Оксирановая модификация двойной связи цианенононовых производных тритерпеновых кислот	42
<b>Третьякова Д.А.</b> (4 курс, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова). Синтез диспиропроизводных тиазоло[3,2- <i>a</i> ]пириимидина и изучение их супрамолекулярной организации в кристаллической фазе	43
<b>Черновский Н.Д.</b> (2 курс, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирский институт органической химии СО РАН). Фотохимическое фторирование С-Н связей ароматических карбонильных соединений без добавления катализаторов	44
<b>Шевалёв Р.М.</b> (4 курс, Санкт-Петербургский государственный университет Институт химии). Новые эффективные лиганды CRBN на основе 1-окса-2,7-диазаспиро[4.5]деп-2-ен-6,8-дионового скраффолда	45

## НОМИНАЦИЯ I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

### Секция «Физическая и аналитическая химия»

<b>Абдуллин Я.Р.</b> (4 курс, Уфимский университет науки и технологий). Вольтамперометрическая сенсорная система на основе графитированной сажи и производных циклопентадиена для распознавания энантиомеров клопидогrella	48
<b>Абишев М.А.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Разработка высокоеффективного электрокатализатора на основе углеродной черни, модифицированной наночастицами берлинской лазури	49

<b>Александрович А.С.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Включение глюкозодегидрогеназ в прямой биоэлектрокатализ с использованием наночастиц полиазинов для высокоэффективных биосенсоров	50
<b>Батогова И.Д.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Метанофуллерены на основе C <sub>1</sub> -C <sub>70</sub> (CF <sub>3</sub> ) <sub>10</sub> : получение, идентификация и электронные свойства	51
<b>Гайнанова С.И.</b> (4 курс, Уфимский университет науки и технологий). Вольтамперометрический сенсор на основе гибридного материала тритерпеноид-оксид графена для распознавания и определения энантиомеров пропранолола	52
<b>Дернов Г.В.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Поиск бифункциональных медиаторов разряда/заряда литий-кислородных аккумуляторов среди металлоорганических соединений <i>p</i> -металлов	53
<b>Дубов Л.А.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах, Химический факультет). Электроанализатор H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> в выдыхаемом аэрозоле для неинвазивной диагностики пульмонологических заболеваний	54
<b>Жучков Т.Р.</b> (3 курс, Воронежский государственный университет). Мембранны на основе сульфирированных перфторполимеров в потенциометрических сенсорах для определения биомаркеров вирусных заболеваний	55
<b>И А.П.</b> (4 курс, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет. Международный томографический центр СО РАН). Исследование влияния растворителя на гиперполаризацию [ <sup>15</sup> N <sub>3</sub> ]метронидазола и [ <sup>15</sup> N <sub>3</sub> ]ниморазола с помощью метода SABRE-SHEATH	56
<b>Кокурина Т.В.</b> (4 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Синтез и исследование спектральных свойств флуоресцентного молекулярного сенсора на основе BODIPY	57
<b>Мисютин В.А.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах). Исследование влияние добавки MACl и режима отжига на морфологию и функциональные свойства светопоглощающих плёнок гибридных галогеноплюмбатов	58
<b>Низамов Р.Р.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Синтез и изучение катализатора электрохимического восстановления кислорода на основе металл-органических каркасных полимеров	59
<b>Павлова Э.А.</b> (3 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Моделирование модельных биосистем на основе ряда краун-эфиров и L-карнозина методами квантовой химии: анализ геометрии и распределения электронной плотности	60
<b>Парахина П.Б.</b> (4 курс, Иркутский государственный университет). Квантовохимическое моделирование сборки фурана из халкона и ацетилена в суперосновных средах MOH/DMSO и MOtBu/DMSO (M = Na, K)	61
<b>Субботин Д.Р.</b> (4 курс, Курский государственный университет). Диоксид титана различных полиморфных форм как катализатор аналитической реакции терминального разложения перхлората	62
<b>Черткова В.П.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Пассивация поверхности фотокатодов P-LaFeO <sub>3</sub> электроосажденными двойными гидроксидами никеля и железа	63
<b>Шапков А.В.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет). Темплатное электроосаждение индивидуальных нанонитей и измерение их электрического сопротивления	64
<b>Ширяева О.А.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН). Создание низкоразмерных сенсорных платформ с использованием фотокatalитически-активных фталоцианинов для анализа 3,3',5,5'-тетраметилбензидина	65

<b>Шлыков М.А.</b> (4 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова Факультет наук о материалах, Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН). Моделирование кинетики деградации низкотемпературных фосфатов кальция в псевдофизиологических условиях	66
--	----

## НОМИНАЦИЯ I. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

### Секция «Химия полимеров и коллоидных систем»

<b>Конева А.М.</b> (3 курс, Казанский национальный исследовательский технологический университет). Новый адсорбент на основе цеолита, модифицированного гиперразветвленным полиэфирополибензоилтиокарбаматом	68
--	----

<b>Максимович М.С.</b> (3 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет фундаментальной физико-химической инженерии). Синтез и исследование процессов самосборки блок-сополимеров на основе стирола и (мет)акрилатов	69
---	----

<b>Рудаков Н.С.</b> (2 курс, МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет наук о материалах, Химический факультет). Биосенсорные покрытия на основе стимулчувствительного микрогеля и глюкозооксидазы: формирование и свойства биосенсоров для анализа глюкозы	70
--	----

<b>Токарева М.Д.</b> (3 курс, Уральский федеральный университет). Влияние магнитного поля на кристаллизацию полиэтиленгликоля из растворов	71
--	----

<b>Хайбулина Е.Е.</b> (4 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Исследование механизма модификации битумов бинарной системой бутадиен – стирольный термоэластопласт – сера	72
---	----

## НОМИНАЦИЯ II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

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

<b>Аурова Е.А.</b> (1 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Очистка воды от фармацевтических соединений с использованием ферратов	74
--	----

<b>Еремина А.И.</b> (4 курс, Самарский государственный технический университет). Исследование кинетики этерификации неопентилгликоля на сульфокатионитах	75
--	----

<b>Королев А.Н.</b> (2 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Влияние кавитационной обработки бензиновой фракции на процесс пиролиза	76
--	----

<b>Кузнецов М.С.</b> (2 курс магистратуры, Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН). Получение и изучение особенностей физико-химических свойств уреатных пластичных смазок, содержащих силиконовое и углеводородное/сложнозефирное масло	77
---	----

<b>Сайфутдинов А.А.</b> (1 курс магистратуры, Уфимский университет науки и технологий). Оптимизация условий реакции <i>транс</i> -бутанола с водным формальдегидом в присутствии н-форм синтетических цеолитов	78
--	----

<b>Усова А.А.</b> (1 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Исследование свойств каталитической системы $(Pd(OAc)_2 - HClO_4 - N\text{-MP} - H_2O)$ с учетом перспектив получения циклогексанона окислением циклогексена	79
--	----

<b>Шебаршинова П.М.</b> (1 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Влияние водородсодержащих добавок на эффект кавитационной обработки мазута	80
<b>Шестакова А.И.</b> (1 курс магистратуры, Ярославский государственный технический университет). Разработка альтернативного способа получения <i>пара-тфет</i> -бутилфенола и циклогексана – полупродуктов синтеза уникальных полимерных материалов	81
<b>Шмелева Е.С.</b> (1 курс магистратуры, Ивановский государственный химико-технологический университет). Исследование процесса сорбции красителей сорбентом цеолитом	82

## НОМИНАЦИЯ II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

### Секция «Технология биологически активных соединений»

<b>Байков Д.В.</b> (5 курс, Санкт-Петербургский государственный технологический институт). Поведение фолиевой кислоты в составе конъюгата с фуллереном C <sub>60</sub> и поливинилпирролидоном под воздействием излучения	84
<b>Балакшина Д.В.</b> (1 курс магистратуры, Тверской государственный технический университет). Иммобилизация глюкозооксидазы на магнитоотделяемые носители	85
<b>Есенина А.А.</b> (2 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Модификация Вос-протокола синтеза олигомеров γ-( <i>s</i> )-карбоксиэтил(CE) пептидно-нуклеиновых кислот (ПНК)	86
<b>Захаров Н.С.</b> (1 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Разработка стратегий синтеза и изучение свойств конъюгатов <i>мезо</i> -арилпорфиринов с нацеливающим лигандом для применения в противоопухолевой ФДТ	87
<b>Лисичкин Д.Р.</b> (4 курс, Тверской государственный технический университет). Хитозан как сырье для получения наночастиц и катализаторов	88
<b>Милагина С.В.</b> (4 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Оптимизация синтеза димерного поликатионного амфифила на основе природных компонентов для генной терапии	89

## НОМИНАЦИЯ II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

### Секция «Технология неорганических веществ и материалов»

<b>Алексеева А.А.</b> (1 курс магистратуры, Казанский национальный исследовательский технологический университет). Инновационные процессы очистки экологически загрязненных систем новыми магнитными флокулянтами	92
<b>Дмитриева А.А.</b> (5 курс, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Новый способ синтеза наночастиц гентасульфида рения	93
<b>Меженин А.В.</b> (1 курс магистратуры, Национальный исследовательский Томский политехнический университет). Композиционные огнеупорные керамические материалы на основе высококонцентрированных суспензий кварцевого стекла для потенциального применения в 3d-печати	94
<b>Мощенко В.В.</b> (4 курс, Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова). Синтез гибридных электродных материалов с улучшенными характеристиками для суперконденсаторов	95

<b>Носова М.А., Маркина Л.М., Мамедова Ф.Г.</b> (3 курс, Костромской государственный университет). Влияние комплексной плазменно-электролитной обработки на эксплуатационные свойства технического титана BT1-0	96
<b>Папулова Э.Л.</b> (2 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Исследование оксидных CuO/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> катализаторов процесса синтеза метанола	97
<b>Усов В.В.</b> (4 курс, Ивановский государственный химико-технологический университет). Синтез и исследование адсорбционно-катализитической системы ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> для процесса сероочистки природного газа	98
<b>Якимова А.Р.</b> (4 курс, Казанский национальный исследовательский технологический университет). Пиротехнический состав для фальшфейера белого огня	99
<b>Янишевский А.В.</b> (4 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА, Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН). Влияние технологических параметров на структуру керамического материала на основе InGaMgO <sub>4</sub>	100

## НОМИНАЦИЯ II. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

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

<b>Алмаев Б.Ф.</b> (1 курс магистратуры, Уфимский университет науки и технологий). Получение ранезаживающих пористых пластин на основе смесей натриевых солей N-сукцинилхитозана	102
<b>Грачева З.В.</b> (2 курс магистратуры, Иркутский государственный университет). Исследование сорбционного извлечения тетрахлоридного комплекса палладия азотсодержащим сообразующим сополимером	103
<b>Долганов Е.Д.</b> (1 курс магистратуры, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского). Синтез сополимеров стеарилатметакрилата с n-винилпирролидоном и применение их в качестве депрессорных присадок к дизельному топливу	104
<b>Дубинина А.Д.</b> (2 курс магистратуры), <b>Сухарева Е.М.</b> (1 курс магистратуры) (Волгоградский государственный технический университет). Технология получения оптически прозрачных полимида	105
<b>Иванов А.С.</b> (5 курс, Казанский (Приволжский) государственный университет, Химический институт им. А.М. Бутлерова, Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова РАН). Электросинтезированный Cr(2-ЕН) <sub>3</sub> как импортозамещающий высокоселективный пре-катализатор реакции гомогенной олигомеризации этилена для получения гексена-1	106
<b>Климешина Е.Ю., Заседателева Д.А.</b> (1 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, РГУ МИРЭА). Разработка отечественных эластомерных герметиков на основе бутадиен-нитрильных каучуков и хлорполимеров	107
<b>Кондратова А.Н.</b> (4 курс, Курский государственный университет). Создание гемостатических раневых покрытий из коллагенсодержащих отходов рыбного производства	108
<b>Кравченко А.Д.</b> (1 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Исследование характеристик композиционного материала на основе электростатически напылененного высокотемпературного термопластичного связующего	109
<b>Куковякина Е.В.</b> (2 курс магистратуры, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Комбинированная полимерная мицеллярная наносистема для таргетной доставки терапевтических молекул	110

<b>Кусаковский Д.А.</b> (1 курс магистратуры, Волгоградский государственный технический университет). Покрытие на основе сополимера глицидилметакрилата и лаурилметакрилата на хлопчатобумажной ткани для разделения водомасляных эмульсий	111
<b>Малушко Е.Б.</b> (3 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Получение нового полимерного электретного материала, содержащего в виде активного компонента комплексные соединения нитрата и перхлората никеля(II) с амидаами	112
<b>Мельникова Е.И.</b> (2 курс магистратуры, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН). Проводящие слои на основе водорастворимых комплексов полианилина с полимерными сульфокислотами	113
<b>Осечкова А.Е.</b> (5 курс, Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН). Приготовление и исследование свойств монолитных колонок для двумерной ВЭЖХ с новыми фторсодержащими неподвижными фазами	114
<b>Ревенков А.Р.</b> (2 курс магистратуры, Волгоградский государственный технический университет). Исследование ионной проводимости твёрдых полимерных электролитов на основе поливинилиденфторида, наполненных солями лития	115
<b>Салыкин Н.А.</b> (2 курс, Волгоградский государственный технический университет). Применение анилов монотерпеноидных кетонов в качестве УФ-абсорберов при получении фотополимеризующихся композиций (ФПК) для 3d-печати	116
<b>Сафонов Т.С.</b> (2 курс, Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РГУ МИРЭА). Разработка и анализ методики для создания токопроводящих структур на поверхности пластиков путем лазерного структурирования	117
<b>Семенова А.Ю.</b> (1 курс магистратуры, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева). Гель на основе модифицированного хитозана для ликвидации разливов нефти	118
<b>Шведский Б.В.</b> (5 курс, Ярославский государственный технический университет). Разработка полимерного связующего для создания твердых лекарственных форм	119
<b>Ширяева А.Д.</b> (2 курс магистратуры, Самарский государственный технический университет). Исследования химической стойкости внутреннего лайнера гибких полимерных армированных труб, применяемых при строительстве промысловых трубопроводов	120
<b>Ярославцев Н.А.</b> (2 курс магистратуры, Волгоградский государственный технический университет). Теплостойкие эпоксиизоцианатные связующие для создания стеклопластиковой арматуры	121

**А**

Абдуллин Я.Р.	48
Абишев М.А.	49
Александрович А.С.	50
Алексеева А.А.	92
Алмаев Б.Ф.	102
Аурова Е.А.	74
Афанасьева А.В.	28

**Б**

Байков Д.В.	84
Балакшина Д.В.	85
Батогова И.Д.	51

**В**

Васильева Д.Н.	6
Верзун С.А.	7

**Г**

Гайнанова С.И.	52
Горлов С.Н.	29
Грачева З.В.	103
Грязнов А.Н.	8

**Д**

Дегтярева С.С.	9
Дернов Г.В.	53
Дмитриева А.А.	93
Долганов Е.Д.	104
Дубинина А.Д.	105
Дубов Л.А.	54

**Е**

Еремина А.И.	75
Есенина А.А.	86

**Ж**

Жучков Т.Р.	55
-------------	----

**З**

Заикина Л.А.	30
Заседателева Д.А.	107
Захаров Н.С.	87

**И**

И А.П.	56
Иванов А.С.	106

**К**

Карчевский А.А.	31
Климешина Е.Ю.	107
Кокурина Т.В.	57
Кондратова А.Н.	108
Конева А.М.	68
Копытов С.О.	32
Королев А.Н.	76
Котикова П.Ф.	33
Кравченко А.Д.	109
Кузнецов А.Н.	34
Кузнецов М.С.	77
Куковякина Е.В.	110
Кусаковский Д.А.	111

**Л**

Лисичкин Д.Р.	88
Листова А.Л.	10

**М**

Максимович М.С.	69
Малушко Е.Б.	112
Мамедова Ф.Г.	96
Манин А.Д.	11
Маркина Л.М.	96
Меженин А.В.	94
Мельникова Е.И.	113
Мещерякова Е.А.	35
Милагина С.В.	89
Мисютин В.А.	58
Митюшев Н.Д.	12
Можаров Я.М.	13
Молчанова М.В.	36
Мощенко В.В.	95
Муртазин А.Р.	37

**Н**

Низамов Р.Р.	59
Новикова В.А.	14
Носова М.А.	96

**О**

Осечкова А.Е. 114

**П**

Павлова Э.А. 60  
 Панина М.В. 15  
 Папулова Э.Л. 97  
 Парахина П.Б. 61  
 Паршукова К.Н. 16  
 Петрова А.Ю. 38  
 Пизин М.М. 17  
 Полухин М.С. 18

**Р**

Ревенков А.Р. 115  
 Рогозин П.Е. 39  
 Рудаков Н.С. 70  
 Рябчикова М.Н. 19

**С**

Сабитова И.А. 20  
 Сайфутдинов А.А. 78  
 Салыкин Н.А. 116  
 Сарвин И.А. 21  
 Сафонов Т.С. 117  
 Семенова А.Ю. 118  
 Сибиряков М.С. 22  
 Сивачев А.А. 40  
 Слесарев Д.С. 8  
 Соболь М.Е. 23  
 Сосунов Е.А. 24  
 Стеблецова И.А. 41  
 Стыпник Н.В. 42  
 Субботин Д.Р. 62  
 Сухарева Е.М. 105

**Т**

Токарева М.Д. 71  
 Третьякова Д.А. 43

**У**

Усова А.А. 79  
 Усов В.В. 98

**Х**

Хайбулина Е.Е. 72  
 Хвощевская Д.А. 25  
 Храмцова Д.М. 26

**Ч**

Черновский Н.Д. 44  
 Черткова В.П. 63

**Ш**

Шашков А.В. 64  
 Шведский Б.В. 119  
 Шебаршинова П.М. 80  
 Шевалёв Р.М. 45  
 Шестакова А.И. 81  
 Ширяева А.Д. 120  
 Ширяева О.А. 65  
 Шлыков М.А. 66  
 Шмелева Е.С. 82

**Я**

Якимова А.Р. 99  
 Янишевский А.В. 100  
 Ярославцев Н.А. 121

*Научное издание*

**XXXIV Менделеевская конференция молодых ученых**  
**21–25 апреля 2024 г., Казань**  
**Сборник тезисов**  
**под ред. проф. Г.В. Лисичкина**

*Компьютерная вёрстка И.Ю. Базловой*

Подписано к печати 12.04.2024. Формат бумаги 60×84 1/8.  
Бумага мелованная. Печать офсетная. Объем 15,35 усл.-печ. л.  
Тираж 160 экз.