

# СБОРНИК ТЕЗИСОВ

**XXXV МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ КОНКУРС  
СТУДЕНТОВ-ХИМИКОВ**

6–10 октября 2025 года г. Москва



**СИБУР**



**УДК 54**

Российская академия наук

Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева

МГУ имени М.В. Ломоносова

МИРЭА – Российский технологический университет

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Горбунова Юлия Германовна

Академик РАН, Вице-президент РХО им.  
Менделеева

Жижин Константин Юрьевич

д.х.н., Член-корреспондент РАН, зам. директора  
ИОНХ РАН

Карлов Сергей Сергеевич

д.х.н., профессор, И.О. декана Химического  
факультета МГУ

Ромашов Леонид Владимирович

к.х.н., научный сотрудник ИОНХ РАН

Бузанов Григорий Алексеевич

к.х.н., ст. научный сотрудник ИОНХ РАН

Солодова Анастасия Юрьевна

к.т.н., доцент, Университет МИСИС

**ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ЖЮРИ**

Горбунова Юлия Германовна

Академик РАН, Вице-президент РХО им.  
Менделеева

**ЗАМЕСТИТЕЛИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ЖЮРИ**

Жижин Константин Юрьевич

д.х.н., Член-корреспондент РАН, зам. директора  
ИОНХ РАН

Карлов Сергей Сергеевич

д.х.н., профессор, И.О. декана Химического  
факультета МГУ

**УЧЕНЫЕ СЕКРЕТАРИ**

Ромашов Леонид Владимирович

к.х.н., научный сотрудник ИОНХ РАН

Бузанов Григорий Алексеевич

к.х.н., ст. научный сотрудник ИОНХ РАН

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ КОНКУРСА**

Солодова Анастасия Юрьевна

к.т.н., доцент, Университет МИСИС

## **РУКОВОДИТЕЛИ СЕКЦИЙ:**

### *Номинация № 1 – «Исследования по химии»*

<i>Физическая и аналитическая химия:</i>	д. ф-м. н., профессор кафедры физической химии Химического факультета МГУ, Пазюк Елена Александровна
<i>Неорганическая химия и материаловедение:</i>	д.х.н., ведущий научный сотрудник ИОНХ РАН, Вашурин Артур Сергеевич
<i>Органическая, биоорганическая и элементоорганическая химия:</i>	к.х.н., научный сотрудник кафедры органической химии Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Бугаенко Дмитрий Иванович
<i>Химия полимеров и коллоидных систем:</i>	к.х.н., Национальная ассоциация трансфера технологий. Советник исполнительного директора, Пебалк Дмитрий Андреевич

### *Номинация №2 – «Исследования и разработки по химической технологии»*

<i>Общая химическая технология, основной органический и нефтехимический синтез:</i>	д.т.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА, Фролкова Алла Константиновна
<i>Технология неорганических веществ и материалов:</i>	д.х.н., профессор Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА, Пестов Сергей Михайлович
<i>Технология полимеров и материалов на их основе:</i>	д.т.н., зав кафедрой «Химия и технология переработки эластомеров ВолгГТУ, Ваниев Марат Абдурахманович
<i>Технология биологически активных соединений и биотехнологии:</i>	к.х.н., доцент Института тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА, Кириллова Юлия Геннадьевна

XXXV Менделеевская школа-конференция молодых ученых: сборник тезисов [06-10 октября 2025 г., г. Москва]

**Генеральный партнер XXXV Менделеевского конкурса - ПАО СИБУР Холдинг**

## СИБУР

СИБУР – ведущая российская нефтегазохимическая компания, один из лидеров в области российской отраслевой науки.

СИБУР реализует целый ряд проектов в области исследований и разработок, направленных на достижение полной независимости отрасли от импорта до 2030 года, разработку новых технологий и создание инновационных материалов для ключевых отраслей экономики. За последние несколько лет объем инвестиций компании в исследования и разработки увеличился в 3,5 раза.

Научно-исследовательское направление СИБУРа представлено девятью R&D центрами по всей России. В 2026 году компания планирует открыть флагманский Центр научных исследований и масштабирования технологий в Казани, который станет ведущим научно-исследовательским центром для всей нефтегазохимической отрасли. Активное развитие научной инфраструктуры позволяет ускорить разработки и внедрение инноваций, что является технологической основой для ежегодного выпуска порядка 15 млн тонн современных синтетических материалов, широко востребованных в строительстве, автомобилестроении, медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности и производстве товаров народного потребления.

СИБУР активно взаимодействует с профильными вузами и уделяет большое внимание образовательным инициативам для студентов и школьников.

Компания является партнером Десятилетия науки и технологий и реализует ряд проектов в рамках тематической инициативы «Нефтехимия будущего».

НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

ФИЗИЧЕСКАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СЕНСОРОВ НА ПЕРОКСИД  
ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ЧАСТИЦ УГЛЕРОД/БЕРЛИНСКАЯ  
ЛАЗУРЬ

Студент 5 курса (специалитет) Абишев М. А.

Руководитель к. х. н. Вохмянина Д. В.

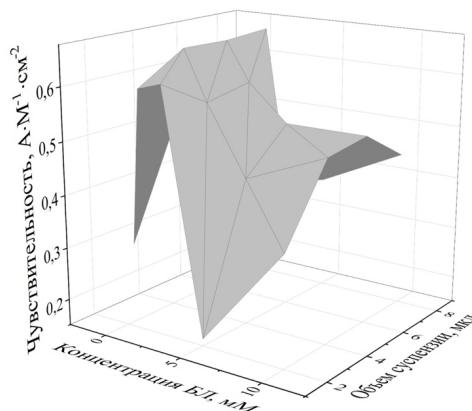
МГУ им. М. В. Ломоносова Химический факультет

*mark.abishev@chemistry.msu.ru*

Берлинская лазурь (БЛ) – наиболее эффективный катализатор электровосстановления пероксида водорода [1]. Тем не менее, электроактивность БЛ ограничена проводимостью. Для улучшения аналитических характеристик сенсоров на пероксид водорода на основе наночастиц БЛ предлагается использовать углеродную чернь (сажу).

Путем одностадийного каталитического синтеза с добавлением различных навесок сажи получены композитные частицы сажа/берлинская лазурь. Размер полученных частиц растет с увеличением концентрации сажи в реакционной смеси и достигает максимального значения  $169 \pm 8$  нм при 4-6 мг/мл, уменьшаясь затем до 120-130 нм.

Оптимальные условия модификации электродов композитными частицами получены варьированием концентрации и объема наносимой суспензии. Показано, что наибольшая чувствительность достигается при разбавлении до 1 мМ по БЛ и нанесении от 2 до 4 мкл суспензии.



Доля электроактивной берлинской лазури достигает 45,3 %, что сопоставимо с данными, полученными для наночастиц БЛ [2]. Методом спектроскопии электрохимического импеданса показано, что сопротивление переносу заряда падает с увеличением концентрации сажи в реакционной смеси. Электроды, модифицированные суспензией, содержащей 16 мг/мл сажи, демонстрируют рекордную чувствительность  $1.53 \pm 0.07 \text{ A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$  с широким диапазоном линейности от  $1 \cdot 10^{-6} \text{ M}$  до  $5 \cdot 10^{-4} \text{ M}$ .

Таким образом, на основе композитных частиц сажа/БЛ, синтезированных в одну стадию, получены сенсоры с чувствительностью в два раза выше, чем у электродов, модифицированных наночастицами БЛ, и в полтора раза выше, чем у электродов, модифицированных смесью наночастиц БЛ и сажи [3].

Литература

1. А. А. Калякин, Природа. 2025, 1313, 41.
2. М. А. Комкова, Journal of Electroanalytical Chemistry. 2020, 872, 1.
3. М. А. Комкова, ChemElectroChem. 2021, 8, 1117.

ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЛАГОРОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ  
НА АКТИВНОСТЬ  $\text{CrO}_x\text{-ZrO}_2/\text{SiO}_2$  КАТАЛИЗАТОРОВ  
НЕОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПРОПАНА

Студентка 5 курса (специалитет) Авхадиева Е.А.

Руководитель д.х.н. Голубина Е.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

*avhadieva.eva@yandex.ru*

В последние десятилетия наблюдается устойчивый рост спроса на пропилен. Перспективный метод синтеза пропилена – неокислительное дегидрирование пропана на  $\text{CrO}_x\text{-ZrO}_2/\text{SiO}_2$  катализаторах [1]. Такие катализаторы сочетают высокую активность оксида хрома и термическую стабильность диоксида циркония. Актуальным направлением модифицирования таких систем является внедрение промоторов на основе благородных металлов [2], способных существенно влиять на производительность, замедляя дезактивацию катализатора из-за коксообразования и спекания активных центров, путем активации молекулярного водорода.

В настоящей работе исследованы катализитические и структурные свойства систем  $\text{CrO}_x\text{-ZrO}_2/\text{SiO}_2$  с пониженным (по сравнению с промышленными) содержанием оксида хрома (9 масс.%) и добавкой одного из благородных металлов Ru, Pt или Pd (1 масс.%). По результатам  $\text{H}_2\text{-TPB}$  и КР спектроскопии выявлена возможность восстановления оксидов хрома и благородных металлов в составе катализаторов в условиях реакционной смеси с образованием дополнительных активных центров. С помощью метода Киссинджера установлено, что добавка благородных металлов влияет на величину эффективной энергии активации восстановления  $\text{Cr}^{6+}$ : введение рутения и палладия в состав катализатора приводит к снижению энергии активации, а введение платины, напротив, к увеличению.

Методом ИК спектроскопии диффузного отражения адсорбированного CO установлено изменение состава поверхности в восстановительных условиях. Под действием водорода частицы платины восстанавливаются до  $\text{Pt}^0$  и сохраняются на поверхности, тогда как в случае  $\text{RuCrZr/SiO}_2$  восстановительная обработка приводит к обеднению поверхности рутением.

Каталитические испытания проводили на проточной катализитической установке с неподвижным слоем катализатора при трех температурах: 500, 550 и 600°C. Помимо основного продукта, пропилена, были также обнаружены побочные: метан, этан и этилен. Все катализаторы показали высокую селективность по целевому продукту при 500 и 550°C (более 90%). Наибольшие значения конверсии пропана и начальной скорости образования пропилена наблюдаются при 550°C. Образец с добавлением платины  $\text{PtCrZr/SiO}_2$  проявил наилучшие характеристики в реакции неокислительного дегидрирования пропана: селективность по пропилену 92–98% (500–550°C) и начальная скорость конверсии 0.5  $\text{ммоль} \times \text{мин}^{-1} \times \text{г}^{-1}$  катализатора. Полученные значения начальной скорости сравнимы со значениями, полученными для катализаторов схожего состава, а также для промышленного катализатора, содержащего 19 масс.%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  [3].

#### Литература

1. E.V. Golubina et al., Molecules. 2022, 27, 6095.
2. A. Perechodjuk et al., Appl Catal A Gen. 2020, 602.
3. T.P. Otroshchenko et al., J. Catal. 2017, 356, 197.

ЭЛЕКТРОАНАЛИЗ КОНДЕНСАТА ВЫДЫХАЕМОГО АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ  
ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА МУКОВИСЦИДОЗА  
Студентка 3 курса (специалитет) Алексеева А.И.

Руководитель к.х.н. Андреев Е.А.  
МГУ им. М. В. Ломоносова Химический факультет  
alekseevaai1@my.msu.ru

Развитие неинвазивных (без нарушения слизистых оболочек, кожных покровов и т. д.) подходов для медицинской диагностики является одним из перспективных направлений исследований для здравоохранения. Среди различных биологических жидкостей как объектов анализа значительным диагностическим потенциалом обладает конденсат выдыхаемого воздуха – благодаря относительной простоте сбора и многокомпонентности [1]. Тем самым, создание клинико-диагностических методов и соответствующих устройств, анализирующих данную экскреторную жидкость, является актуальной задачей.

В медицинской практике для диагностики муковисцидоза (МВ) используют пот. Согласно литературным данным, у пациентов с МВ физиологические нарушения возникают преимущественно в легких, поэтому для выявления патологии можно использовать анализ выдыхаемого воздуха. Существующие системы отбора приводят к разбавлению проб, что усложняет их дальнейшее исследование. Исходя из этого был разработан конденсор аэрозоля выдыхаемого воздуха без охлаждения, который позволяет получить на порядок более концентрированные образцы, чем конденсат, отобранный путем охлаждения [2].

Исследование показало, что результаты проводимости пота согласуются с медицинскими показателями и проводимость конденсата выдыхаемого аэрозоля (КВА), в отличие от проводимости конденсата, получаемого с дополнительным охлаждением, можно использовать в качестве диагностического параметра. Таким образом, предлагаемый подход пробоотбора и анализа данных биологических жидкостей может применяться для мониторинга состояния здоровья или эффективности проводимого лечения.

*Работа выполнена при поддержке РНФ, грант 24–13–00049*

Литература

1. N. Brasier, J. Wang, W. Gao, *Nature* 2024, 636, 57.
2. E. A. Andreev, V. A. Shavokshina, V. N. Nikitina, *Talanta* 2025, 290, 127792.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОСТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРИЛЕНДИИМИДА С ПОМОЩЬЮ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ

Студентка 1 курса (магистратура) Бабаскина М.М.

Руководитель к.х.н. Хакина Е.А.

Высшая школа экономики Факультет химии

*m\_babaskina@mail.ru*

За последние годы возрос интерес к поиску новых способов производства стабильной энергии из возобновляемых источников, в следствие чего особую популярность приобрели перовскитные солнечные элементы (ПСЭ), являющиеся потенциально самыми перспективными устройствами для преобразования солнечной энергии в электричество. Хотя эти элементы и демонстрируют высокую эффективность работы [1], основной проблемой остается их нестабильность к воздействию света [2], что затрудняет их широкое коммерческое использование в долгосрочном периоде.

Производные перилендиимида (ПДИ), давно применяемые в промышленности как дешевые красители и пигменты, недавно привлекли значительное внимание ученых благодаря своей способности поглощать свет в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне из-за низких энергетических уровней и высокому сродству к электрону. Эти свойства делают ПДИ подходящими кандидатами для использования в органических полупроводниковых и фотоэлектронных устройствах в качестве переносчиков электронов, которые обеспечивают основную стабильность и эффективность ПСЭ [3].

В данной работе с использованием масс-спектрометрии и других физико-химических методов была исследована фотостабильность ряда производных перилендиимида с различными заместителями у имидного атома азота (Рис. 1). На основе полученных результатов был сделан вывод о корреляции структуры перилендиимидов с их фотостабильностью. Показано, что наиболее фотостабильным является соединение 7, содержащее разветвленный алкильный заместитель. Введение в состав заместителя гидрокси- или N-замещенных аминогрупп приводит к существенному снижению фотостабильности соответствующих перилендиимидов. Полученные результаты могут стать основой для направленного дизайна фотостабильных производных перилендиимида для применения в качестве компонентов фотоактивного слоя солнечных батарей.

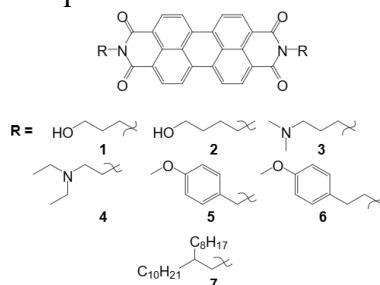


Рисунок 1 - Структурные формулы исследуемых соединений

## Литература

1. Mathew. S. [et al.]. Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers, *Nat. Chem.*, 2014, 6, 242-247.
  2. Zhao X. [et al.]. Stability Issues on Perovskite Solar Cells, *Photonics*, 2015, 2(4), 1139-1151.
  3. Cheng P. [et al.]. Perylene Diimide-Based Oligomers and Polymers for Organic Optoelectronics, *Acc. Mater. Res.*, 2022, 3(3), 309-318.

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДИФФУЗИОННУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГЕТЕРОГЕННОЙ АНИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МА-41

Студентка 5 курса (специалитет) **Беспалова Я.Р.**

Руководитель д.х.н. Васильева В.И.

Воронежский государственный университет

*bespalova.yana2003@yandex.ru*

Основная функция ионообменных мембран заключается в селективном пропускании ионов, что позволяет эффективно удалять нежелательные вещества из растворов или концентрировать необходимые компоненты. Высокая диффузионная проницаемость мембран в процессах электродиализа и обратного осмоса снижает ее селективность. Однако для процессов разделения методом диализа диффузионный перенос является основным. Разные области применения требуют наличия у мембран совершенно различных свойств, в то время как число коммерчески доступных мембран сравнительно невелико. В связи с этим используется широкий спектр подходов для изменения свойств ионообменных мембран, одним из которых является варьирования содержания ионообменной смолы.

Целью работы было изучение влияния содержания ионообменной смолы на физико-химические и диффузионные свойства экспериментальных гетерогенных анионообменных мембран МА-41 в растворах хлорида натрия. Для проведения диффузионного диализа была разработана конструкция проточной ячейки с непрерывной подачей растворов в режиме противотока, что позволило расширить диапазон концентраций изучаемых растворов и обеспечить более экспрессные измерения.

Установлено, что с увеличением массовой доли ионообменной смолы в диапазоне от 55 до 69 % происходит рост основных физико-химических и транспортных характеристик гетерогенных анионообменных мембран. Увеличение полной обменной емкости на 34 % связано с увеличением количества ионогенных групп, способных участвовать в реакциях ионного обмена. Возрастание влагосодержания в мембранах на 45 % объясняется увеличением пористости мембран в связи с их структурно-морфологическими изменениями, а также обменной емкости. Выявлено, что величины диффузионных потоков хлорида натрия через мембрану МА-41 увеличиваются с ростом содержания высокоосновной ионообменной смолы, фиксированные группы которой являются существенным барьером для ионов натрия (коионов). Этот нетривиальный факт обусловлен опережающим ростом влагосодержания мембраны по сравнению с ростом полной обменной емкости. Обнаружено уменьшение интегрального коэффициента диффузионной проницаемости всех исследуемых мембран с увеличением концентрации раствора хлорида натрия, что свидетельствует о более значительной доле переноса электролита через гелевую фазу мембраны по сравнению с фазой межгелевого раствора.

Выполненные экспериментальные и теоретические исследования необходимы для создания фундаментальных основ производства отечественных гетерогенных ионообменных мембран с заданными физико-химическими и транспортными характеристиками для интенсификации мембранных процессов разделения и концентрирования.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ БЕРЛИНСКОЙ ЛАЗУРИ,  
КАЛИБРУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА

Студентка 2 курса (магистратура) Гайнанова С.И.

Руководитель к.х.н. Никитина В.Н.

МГУ им. М. В. Ломоносова Химический факультет

*svetlanaga07@gmail.com*

Берлинская лазурь (БЛ) – эффективный электрокатализатор восстановления пероксида водорода. Электрохимические (био)сensоры на основе БЛ применяются для непрерывного мониторинга пероксида водорода и других метаболитов в физиологических жидкостях. Непрерывный мониторинг подразумевает стабильность отклика на протяжении длительных измерений, однако БЛ недостаточно стабильна в нейтральных средах.

Уменьшение поверхностной концентрации ( $\Gamma_{БЛ}$ ) БЛ приводит к снижению чувствительности сенсора, и, соответственно, к снижению точности анализа. Для решения подобной проблемы возможно оценивать и корректировать чувствительность сенсора в ходе анализа. В связи с этим, в данной работе предложен комбинированный метод амперометрического измерения пероксида водорода с параллельным контролем количества электрокатализатора при помощи квадратно-волновой вольтамперометрии для *in situ* перекалибровки сенсоров.

Планарные электроды модифицировали БЛ электрохимически, для дополнительной стабилизации пленку БЛ покрывали гексацианоферратом никеля (NiГЦФ). Модифицированные электроды использовались для регистрации хроноамперограмм в режиме постоянного перемешивания в фосфатном буферном растворе (pH 6.0) с фиксированной концентрацией  $H_2O_2$  (1 мМ). Использование NiГЦФ позволяет увеличить время работы сенсора, в течение которого его отклик сохраняется в пределах 90% от первоначального, в 3-4 раза: с 10-20 до 40-60 мин. Предложенный в работе способ калибровки сенсора в режиме с периодическим контролем количества электрокатализатора позволил дополнительно продлить срок работы сенсора до 3-6 часов.

Показано, что ток пика на квадратно-волновой вольтамперограмме, которую периодически регистрировали в процессе измерения, пропорционален  $\Gamma_{БЛ}$ . Во время анализа ток пика падает, что указывает на деградацию сенсорного покрытия. В то же время хроноамперометрический отклик сенсора также снижается. Было показано, что отношение констант скорости деградации и инактивации БЛ сохраняется в течение практически всего эксперимента. Причем, эта величина не зависит от толщины слоя БЛ в диапазоне 2–5 нмоль/см<sup>2</sup>, а также от наличия слоя NiГЦФ поверх БЛ. Благодаря этому найдена зависимость отклика сенсора от степени деградации сенсорного покрытия и предложен способ калибровки сенсора *in situ*. Преимуществом предлагаемого подхода является возможность прогнозирования различных профилей зависимостей тока от времени. Погрешность расчета прогнозируемого тока не превышает 10-15% в то время как чувствительность снижается на 80%, что не препятствует точному определению концентрации пероксида водорода в ходе его непрерывного мониторинга.

Таким образом, предложенный подход может успешно применяться для перекалибровки сенсора в процессе анализа, благодаря учету снижения его чувствительности, что существенно продлевает срок эксплуатации сенсора.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-13-00049  
(<https://rscf.ru/project/24-13-00049/>)*

ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И  
НАТУРАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКОГО КООРДИНАЦИОННОГО  
ПОЛИМЕРА UiO-66

Студентка 4 курса (бакалавриат) Лобанова В.В.

Руководитель к.х.н. Мамонтов Г.В.

Национальный исследовательский Томский государственный университет

*vallobanova.tsu@mail.ru*

Металлоорганические координационные полимеры (МОКП, MOFs) представляют особый научный интерес, что связано с их уникальными свойствами, включая высокую удельную поверхность (1000-2000 м<sup>2</sup>/г), регулируемую пористую структуру и возможность функционализации за счёт модификации лигандов (например, введение функциональных групп: -NH<sub>2</sub>, -NO<sub>2</sub>, -Br) или замещения металлических кластеров (например, Zr<sup>4+</sup> на Ti<sup>4+</sup> или Sn<sup>4+</sup>). Zr-содержащий UiO-66 отличается от других MOF высокой термической (до 500°C) и химической стабильностью (pH от 2 до 11), что обеспечивает расширение областей его применения. Однако использование MOF, включая UiO-66, ограничено их порошкообразной формой, сложностью формования.

В настоящей работе для решения этой проблемы предложен подход к созданию функциональных композитных материалов путем иммобилизации UiO-66 на текстильных подложках — полиэтилентерефталате (PET) и хлопке. Ключевым преимуществом данного подхода является сохранение пористости исходного MOF при обеспечении механической стабильности композита, а также получение материала в виде ткани, которая может быть использована в процессах сорбции, катализа т.д. Настоящая работа направлена на разработку подходов получения новых композитных материалов на основе металлорганического координационного полимера UiO-66, иммобилизованного на хлопок и полиэтилентерефталат (PET).

UiO-66 получали сольвотермальным методом с использованием ZrOCl<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O и ZrO(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O в качестве предшественников Zr<sup>4+</sup>, и терефталевой кислоты в качестве лиганда. Иммобилизация UiO-66 на поверхности тканых материалов (ПЭТФ и хлопок) была проведена с помощью предварительной пропитки ткани солью циркония и последующей сборкой MOF в растворе ДМФА, содержащем терефталевую кислоту. Формирование каркасной структуры UiO-66 на тканых подложках подтверждено методами рентгенофазового анализа (РФА), низкотемпературной адсорбции N<sub>2</sub> и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ).

Установлено, что закрепление MOF зависит от типа подложки: хлопок благодаря рыхлой волокнистой структуре удерживает до 25,5% UiO-66, обеспечивая удельную поверхность композита 306 м<sup>2</sup>/г. На поверхности PET наблюдается равномерное покрытие 6,9% UiO-66 с получением композита с удельной поверхностью 83 м<sup>2</sup>/г. Устойчивость композитов проверяли в ходе пяти циклов ультразвукового воздействия (50 Вт, 30 мин). Композит UiO-66/PET демонстрирует 100 % устойчивость к вибрационной нагрузке, что обусловлено высоким химическим сродством между PET и UiO-66. Композит UiO-66/хлопок теряет до 12 % массы, то есть на поверхности хлопковой ткани эффективно закрепляется около 14 % масс. UiO-66.

Таким образом, показана успешная иммобилизация UiO-66 на тканые подложки, что позволяет получить композиты с высокой удельной поверхностью (благодаря пористой структуре UiO-66) и механической прочностью, что делает такие материалы перспективными для использования в сорбции, катализе, медицине, а также в качестве специализированных защитных тканей. Дальнейшие исследования будут направлены на оптимизацию параметров композитов для конкретных природоохранных приложений.

*Работы выполнены при поддержке программы стратегического развития Томского государственного университета «Приоритет 2030» (проект 2.5.10.25 ПП)*

СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДИРОДИЕВОМ КОМПЛЕКСЕ,  
ПЕРСПЕКТИВНОМ В ПРИМЕНЕНИИ В ФОТОХИМИОТЕРАПИИ

Студентка 2 курса (магистратура) Мещерякова В.А.

Руководитель д.ф.-м.н. Глебов Е.М.

Институт Химической Кинетики и Горения СО РАН

Новосибирский Государственный Университет, Физический Факультет

[v.meshcheryakova@g.nsu.ru](mailto:v.meshcheryakova@g.nsu.ru)

Современные подходы к терапии злокачественных опухолей требуют высокой селективности и минимизации побочных эффектов. Фотодинамическая терапия (ФДТ) позволяет локально активировать лекарственные соединения светом, однако её эффективность ограничена в гипоксичных тканях, где отсутствует кислород — ключевой участник генерации активных форм кислорода. В этом контексте особый интерес представляют фотоактивируемые комплексы переходных металлов, способные реализовывать цитотоксичность по кислород-независимым путям [1].

Целью данной работы было изучение природы возбуждённых состояний и механизмов фототоксичности диродиевого комплекса  $[\text{Rh}_2(\mu-\text{O}_2\text{CCH}_3)_2(\text{dppn})_2]^{2+}$  (далее - диродиевый комплекс), обладающего перспективными свойствами для фотохимиотерапии [2].

Временно-разрешённые спектроскопические исследования выявили каскад релаксационных процессов, включающий переходы между MLCT-, IL- и MC- состояниями с совокупным временем жизни возбужденного состояния до 6,2 мс. Такое длительное существование триплетного MC\*-состояния обеспечивает возможность взаимодействия с биомишенями, включая ДНК, даже без предварительного связывания.

При этом квантовые выходы фотодиссоциации лиганда и генерации  $^1\text{O}_2$  оказались низкими (~0,026% и 2,7% соответственно), что исключает участие кислорода в терапии для данного комплекса. Таким образом, продемонстрирована реалистичность кислород-независимого пути инактивации биомолекул. В будущем планируется углублённое квантохимическое моделирование и проверка активности комплекса на клеточных системах.

*Работа была поддержанна РНФ (проект № 23-13-00226).*

Литература

1. P. J. Bednarski, Anti-Cancer Agents Med. Chem. 2007, 7, 75.
2. J. D. Knoll, Coord. Chem. Rev. 2015, 282–283, 110.

КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ КАК ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ НАНОСЕНСОРЫ ДЛЯ  
МОНИТОРИНГА ДОКСОРИБИЦИНА В ПЛАЗМЕ КРОВИ  
Студентка 2 курса (магистратура) Мещерякова С.А.

Руководитель д.х.н. Горячева И.Ю.

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени  
Н.Г.Чернышевского  
*meshcheryakova.s.a@gmail.com*

Доксорубицин (Докс) – широко используемый противоопухолевый препарат из группы антрациклиновых антибиотиков. Его применение сопровождается значительными ограничениями, поскольку Докс разрушает не только раковые, но и здоровые клетки. Он обладает высокой кардио-, цито- и нейротоксичностью. В связи с этим необходимо постоянно отслеживать концентрацию Докс в организме пациентов и варьировать дозировку препарата, чтобы уменьшить токсическое воздействие на организм.

Для определения концентрации антрациклиновых антибиотиков в биологических жидкостях часто применяют спектрофотометрические методы [1] и жидкостную хроматографию с tandemной масс-спектрометрией или флуоресцентным детектированием [2], однако данные подходы требуют длительной подготовки проб с Докс, что увеличивает время и стоимость анализа. Определение препарата также осложнено высокой чувствительностью высокой чувствительностью Докс к изменению внешних условий [3]. В связи с этим необходимо разработать новый, простой и быстрый метод определения Докс.

Для альтернативного определения антрациклиновых антибиотиков предложен способ с применением люминесцентных наносенсоров на основе квантовых точек (КТ). В работе использовали сплавные КТ состава CdZnSeS/ZnS, стабилизированные 3-меркаптопропионовой кислотой. В ходе исследования рассмотрели влияние концентрации КТ, матричных эффектов и разбавления плазмы крови на процесс определения Докс. Впервые результаты определения Докс с использованием люминесцентных наносенсоров на основе КТ продемонстрировали хорошую сходимость и сопоставимость аналитических результатов с результатами высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовым/видимым детектированием. Рассчитанный предел обнаружения предложенного метода составил 0,02 мкг/мл.

Данное исследование позволило разработать новый способ определения Докс в плазме крови с использованием люминесцентных наносенсоров на основе сплавных КТ состава CdZnSeS/ZnS. Подбор оптимальных условий проведения анализа и оптимизация гидрофилизации КТ позволили получить высокочувствительные люминесцентные наносенсоры, которые могут ускорить и упростить процесс мониторинга и персонализировать лечение, что позволит снизить побочные эффекты препарата в процессе химиотерапии [4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-13-00380)*

Литература

1. T. Sikora, et al. *Pharmaceuticals*. 2022, 15 (2), 112.
2. W.G. Choi, et al. *Molecules*. 2020, 25 (5), 1254.
3. E. Tasca, et al. *Colloid. Surf. A*. 2019, 577, 517-522.
4. S.A. Mescheryakova. *Mikrochim. Acta*. 2025, 192 (7), 1-15.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ Np(V) И Np(IV)

РОНГАЛИТОМ В СРЕДЕ HClO<sub>4</sub>

Студентка 5 курса (специалитет) Назаренко К.М.<sup>а</sup>,

Руководитель к.х.н. Гербер Е.А.<sup>б</sup>

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

*e-mail: kseniia.nazarenko@chemistry.msu.ru*

<sup>б</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН

Ронгалит, также известный как гидроксиметансульфинат натрия (HOCH<sub>2</sub>SO<sub>2</sub>Na), является перспективным восстановительным агентом для стабилизации низших степеней окисления актиноидов, в том числе Np(III)[1, 2]. Для его использования в лабораторной практике при получении растворов Np в определённых валентных формах, а также для установления возможности его внедрения в технологические схемы переработки отработавшего ядерного топлива необходимо детальное изучение кинетических параметров процессов, происходящих в растворах, содержащих ионы Np, в присутствии этого реагента.

В настоящей работе методом спектрофотометрии в видимой и ИК областях изучена кинетика восстановления Np(V) и Np(IV) ронгалитом в хлорнокислой среде. С этой целью через регулярные промежутки времени измеряли оптическую плотность реакционной смеси на длинах волн 553, 724 и 981 нм, являющихся характеристическими полосами поглощения Np(III), Np(IV) и Np(V) соответственно. По изменению интенсивности этих пиков контролировали расход окисленной и накопление восстановленной форм для дальнейшей оценки количественного протекания реакции восстановления. Исследования проводились при термостатировании в инертной атмосфере азота во избежание окисления Np(III) кислородом воздуха[3].

Установлено, что Np(V) количественно переходит в Np(IV) и стабилизируется в нём, а при избытке ронгалита – также количественно восстанавливается далее до Np(III), который стабилен только в инертных условиях.

Определена стехиометрия реакций: в обоих случаях соотношение реагентов составляет 1:1. Показано, что обе реакции имеют первый порядок по нептунию, рассчитаны эффективные константы скорости при 25 °C. Изучена температурная зависимость эффективных констант скорости обеих реакций в интервале температур 15-35 °C и рассчитаны значения опытных энергий активации.

## Литература

1. Banik N.L., Brendebach B., Marquardt C.M. J. Radioanal. Nucl. Chem., 2014, 300.
2. Гельман А.Д., Мефодьева М.П. Атомная энергия, 1958, 4, 3.
3. Несмейнов А.Н. Радиохимия. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1978. – 560 с.

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСПАРЕНИЯ  
МАЛОИЗУЧЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ  
ДАННЫХ

Студент 5 курса (специалитет) Низамов И.И.

Руководитель к.х.н. Болматенков Д.Н.

Казанский (Приволжский) Федеральный университет

*llyaINizamov@kpfu.ru*

Характеризация термодинамики испарения органических соединений необходима как для прикладных задач – разделение, очистка и синтез, – так и для развития фундаментальных теоретических представлений о межмолекулярных взаимодействиях и растворимости. Однако на данный момент изучено лишь около 0,1% органических соединений из более чем 20 миллионов известных веществ, что можно объяснить тем, что целенаправленное экспериментальное определение давлений насыщенного пара, а соответственно, и энталпии испарения, требует значительных временных и материальных затрат.

В химических базах данных, таких как Reaxys и SciFinder, собрано большое количество информации о температурах кипения при атмосферном или пониженном давлении для множества соединений. Эти величины чаще всего получают при идентификации веществ в ходе описания синтезов в статьях и патентах. Они часто характеризуются большой ошибкой, обусловленной характеристиками используемого оборудования и низкой чистотой соединений. До настоящего момента эти измерения практически не использовались специалистами в области термодинамики фазовых переходов.

В данной работе продемонстрирован способ обработки этих данных с целью установления температурной зависимости давления насыщенного пара в широком температурном интервале. Для пяти стандартов было показано, что предложенный подход позволяет определить давление с ошибкой до 20 %, а энталпию испарения – до 2,0 кДж/моль относительно рекомендованных значений, что сопоставимо с ошибками многих экспериментальных методов [1].

Разработанная процедура была применена для более чем 40 соединений, что позволило определить температурные зависимости давления пара и энталпии испарения. Для некоторых веществ эти данные получены впервые, для других сопоставление с литературой показало хорошее согласие. В отдельных случаях были обнаружены противоречия в литературных данных, разрешенные при помощи критического анализа.

Объём информации, представленный в базах данных, позволяет масштабировать подход для тысяч веществ, для которых прецизионные исследования пока не были проведены, а также проводить валидацию неоднозначных литературных данных.

Литература

1. I. I. Nizamov et al., *J. Mol. Liq.* 2025, 417, 126645.

СОЗДАНИЕ ТВЕРДОФАЗНЫХ ЭКСТРАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ  
ТЕТРАОКТИЛДИГЛИКОЛЬАМИДА В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО  
ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ОЦЕНКА ИХ ЭКСТРАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ  
Студентка 4 курса (специалитет) **Овечкина А.А.**

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Факультет фундаментальной физико-химической  
инженерии  
annaovi05@gmail.com*

Редкоземельные металлы (РЗМ) играют ключевую роль в современных технологиях, включая электронику, возобновляемую энергетику и медицинские технологии, что делает их извлечение и очистку критически важными задачами. Одним из наиболее эффективных методов выделения РЗМ из водных растворов является твердофазная экстракция (ТФЭ), благодаря высокой скорости, простоте проведения процесса, селективности и применимости к широкому кругу экстракционных задач, при этом минимизируется использование токсичных органических растворителей и сокращается количество отходов. Однако традиционные методы получения твердофазных экстрагентов (ТВЭКС) имеют ряд недостатков, таких как неравномерное покрытие матрицы и использование токсичных растворителей.

В данной работе предложен подход к созданию ТВЭКС на основе тетраоктилдигликольамида (ТОДГА) с использованием сверхкритического диоксида углерода (СК  $\text{CO}_2$ ) в качестве среды для нанесения. СК  $\text{CO}_2$  обладает уникальными свойствами, такими как высокая диффузионная способность и низкая вязкость, что позволяет достичь равномерного распределения ТОДГА на поверхности сорбентов. В качестве матриц использовались мезопористые материалы —  $\gamma$ -оксид алюминия ( $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и аморфный оксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ), которые характеризуются высокой удельной поверхностью и химической стабильностью.

Экспериментальная часть работы включала построение изотерм адсорбции ТОДГА на  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  в среде СК  $\text{CO}_2$  при температуре 313,15 К и давлении 20 МПа. Полученные данные показали, что  $\text{SiO}_2$  демонстрирует более высокую адсорбционную емкость по сравнению с  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что связано с его большей удельной поверхностью и особенностями взаимодействия с ТОДГА. Для оценки экстракционной способности синтезированных ТВЭКС проводились эксперименты по извлечению ионов неодима ( $\text{Nd}^{3+}$ ) из азотокислых растворов. Результаты показали, что ТВЭКС на основе  $\text{SiO}_2$  обеспечивают более высокую степень экстракции  $\text{Nd}^{3+}$ , особенно в условиях высокой кислотности (3 М  $\text{HNO}_3$ ).

Таким образом, разработанный метод получения ТВЭКС с использованием СК  $\text{CO}_2$  является перспективным для решения задач извлечения редкоземельных металлов, сочетающей экологичность, эффективность и возможность масштабирования для промышленного применения.

# РЕДОКС-АКТИВНЫЕ НАНОЗИМЫ С РЕКОРДНОЙ ПЕРОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Студентка 3 курса (бакалавриат) Повага Е.С.

Руководители к.х.н. Комкова М.А., Шнейдерман А.А.

Факультет наук о материалах МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*povagaelena01@gmail.com*

Пероксидаза, катализирующая реакцию восстановления  $\text{H}_2\text{O}_2$ , является наиболее используемым ферментом в биоанализе. Однако использование природных ферментов на практике ограничено их низкой стабильностью при хранении. Нанозимы – неорганические наночастицы (НЧ), имитирующие действие фермента, имеют ряд преимуществ: широкие возможности модификации поверхности, высокая электропроводимость и низкая стоимость производства. Использование нанозимов в качестве меток в иммуноферментном анализе (ИФА) является перспективной задачей в создании персональных средств медицинской диагностики. Целью работы является разработка универсальных нанозимных меток с высокой (электро)катализитической активностью.

Была исследована кинетика восстановления  $\text{H}_2\text{O}_2$  для рассмотренных нанозимов с использованием трёх субстратов ( $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , пирокатехин, о-фенилендиамин) с различной восстановительной способностью. Показано, что каталитическая активность рассмотренных материалов зависит как от собственной редокс-активности, так и от редокс-активности восстановливающего субстрата. Показано, что каталитическая активность нанозимов на основе НЧ берлинской лазури (БЛ) более чем на порядок выше, чем для других миметиков пероксидазы для всех субстратов.

Для сенсоров на основе НЧ с различным содержанием БЛ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$  были получены значения коэффициентов чувствительности в реакции электрокатализитического восстановления  $\text{H}_2\text{O}_2$ . С увеличением количества электроактивного материала коэффициент чувствительности увеличивается, достигая предельного значения. Предельное значение чувствительности для сенсоров на основе БЛ на 4 порядка и более выше, чем для других наноматериалов ( $S(\text{БЛ}) = 1,36 \pm 0,04 \text{ A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ;  $S(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0,045 \pm 0,004 \text{ A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ;  $S(\text{LiFePO}_4) = 0,4 \pm 0,1 \text{ A} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ ).

По аналогии с «катализитическим» синтезом в ходе окислительной полимеризации азидометил-поли(3,4-этилендиокситиофена) комплексом  $\text{Fe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{III}}(\text{CN})_6]$ , образующимся при смешении  $\text{Fe}^{3+}$  и  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ , были синтезированы композитные НЧ БЛ, функционализированные полимером. Связывание метки с антителами проводилось посредством безмежной клик-реакции с участием дифензоциклооктин- $\text{N}$ -гидроксисукциниамида. Аналогично проводили конъюгацию якорных антител на поверхности планарного электрода, предварительно функционализированной полимером.

В разработанной тест-системе аналитический сигнал формируется за счёт электрокатализитического восстановления  $\text{H}_2\text{O}_2$  меткой на основе БЛ. Для иммуносенсоров с разным содержанием модельного аналита – тропонина-Т (сTnT) (0,01-1000 нг/мл) были получены градуировочные зависимости для  $\text{H}_2\text{O}_2$  (5-35 мкМ) в режиме хроноамперометрии при потенциале 0 В отн.  $\text{Ag}|\text{AgCl}||1\text{M KCl}$ . Был получен градуировочный график S-формы аналитического сигнала от логарифма концентрации сTnT,  $K_d = 7 \pm 2 \text{ нг} \cdot \text{мл}^{-1}$  – значение константы диссоциации комплекса антиген-антитело. В присутствии медиатора наблюдается увеличение аналитического сигнала всего в 2 раза, что свидетельствует о высокой эффективности безреагентной детекции антигенов с помощью разработанных электрохимических иммуносенсоров.

РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН ИМПРИНТИРОВАННОГО БЕЛКА СПЕЦИФИЧНОГО  
К МИКРОЦИСТИНУ

Студент 1 курса (магистратура) Решетник И.А.

Руководитель д.х.н. Бурмистрова Н.А.

Саратовский государственный университет, Институт химии  
[reshetnikia@sgu.ru](mailto:reshetnikia@sgu.ru)

Микроцистины - семейство цианотоксинов, продуцируемых во время цветения воды по всему миру. Циклическая пептидная структура повышает их устойчивость к традиционным методам очистки воды. Наиболее токсичным является микроцистин -LR (MC-LR). Негативное воздействие MC-LR приводит к массовой гибели организмов обитающих в водной среде и ограничению использования водоемов в сельскохозяйственных и рекреационных нуждах [1]. Актуальным является разработка доступных методов контроля и очистки MC-LR в водных объектах.

Импринтированные белки (ИБ) - дешевые и стабильные аналоги природных рецепторов со специфичностью, определяемой выбором молекулы шаблона и ее взаимодействием с белковой матрицей. Сложности использования MC-LR в качестве молекулы шаблона, связанные с высокой токсичностью и сложностью извлечения, могут быть решены использованием фиктивных шаблонов [2]. Возможность создания подобной специфичной полости в белке с помощью фиктивного шаблона сопряжена с использованием методов молекулярного моделирования и детальным изучением лиганд-белковых взаимодействий.

Целью работы является исследование методами молекулярной динамики и метадинамики механизма взаимодействия MC-LR с белковыми матрицами на первых этапах синтеза и подбор фиктивных шаблонов. В качестве белковых матриц выбраны бычий сывороточный альбумин (БСА) и овальбумин (ОВА) как наиболее распространенные матрицы для молекулярного импринтинга белков.

Установлено, что MC-LR взаимодействует с БСА и ОВА путем образования водородных связей между вариабельными аминокислотными остатками лейцином и аргинином, при этом токсичный консервативный фрагмент ADDA находится в гидрофобном кармане сайта связывания и не образует взаимодействий. Мы предположили, что сочетание вариабельного фрагмента MC-LR и ароматического фрагмента, заменяющего ADDA, может имитировать связывание MC-LR. Моделирование метадинамики воронки позволило выявить альтернативные режимы связывания MC-LR и подобранных фиктивных шаблонов, при этом положения энергетических минимумов MC-LR и фиктивных шаблонов схожи. Рассчитанные значения абсолютных энергий связывания шаблона (-17 ккал/моль) и MC-LR (-15 ккал/моль) близки. Этот факт позволяет предположить, что вариабельные аминокислотные остатки вносят основной вклад в связывание MC-LR с белковыми матрицами, демонстрируют возможность замены цианотоксина фиктивным шаблоном.

Литература

1. Xu Q. et al, Chemosphere, 2019, 236, 24281.
2. Presnyakov K.Yu. et al, Microchim. Acta, 2024, 191(12), 767.

ПРОТОТИП МИКРОУСТРОЙСТВА ДЛЯ ХРОНОАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗА С ПРОИЗВОДНЫМИ 2,2'-БИПИРИДИНА

**Студентка 2 курса (магистратура) Саликова К.К.**

Руководитель д.х.н. Иванова А.В.

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.*

*Ельцина*

*karinasalikova@gmail.com*

Одной из актуальных задач современной науки является выявление биологически значимых соединений, таких как антиоксиданты (АО), а также возможность их определения в различных объектах *in site*. Решением данного вопроса является разработка портативного устройства на основе простого, информативного и универсального способа определения АО. Представленным требованиям удовлетворяют электрохимические методы анализа, в частности, хроноамперометрия.

Ранее нашей научной группой был предложен хроноамперометрический способ (ХАС) определения антиоксидантной емкости (АОЕ) объектов сложного состава с использованием в качестве модели окислителя комплекса Fe(III) с 2,2'-бипиридином [1]. Суть способа заключается в регистрации хроноамперограмм комплекса Fe(II)-Віру, образующегося при реакции Fe(III) с АО образца, и последующей добавкой Fe(II)-Віру. Однако работа в кислых средах и низкая устойчивость комплекса Fe(III)-Віру влияют на воспроизводимость результатов анализа и сужает круг анализируемых объектов. Для нивелирования данных ограничений и улучшения аналитических характеристик анализа был синтезирован ряд производных бипиридина с разными заместителями. По результатам скрининга, в качестве модельного окислителя выбран комплекс Fe(III) с 2-(2-(2-(4-(2,2'-бипиридин-5-ил)фенокси)этокси)этанолом.

За счет ряда достигнутых характеристик синтезированного комплекса (высокая условная константа устойчивости с Fe(II) и с Fe(III), хорошая растворимость в органических и водно-органических средах, высокая воспроизводимость и точность получаемых результатов) и простоты предложенного способа анализ может быть реализован в микроформате. Предложено устройство, которое конструктивно представляет микроячейку объемом 300 мкл, напечатанную на 3d-принтере, в которой размещаются электроды. На основании высокой стабильности материала электродов, а также получении воспроизводимого сигнала была выбрана трехэлектродная система с покрытыми графитовой пастой марки «VSP-EG» рабочий и вспомогательный электроды и серебряной пастой марки «AR Grade» электрод сравнения.

С использованием данной системы методом хроноамперометрии изучены закономерности изменения тока окисления Fe(II)-Віру от концентрации АО, определены диапазоны линейности этой зависимости, предел обнаружения составил 5 мкМ. Методом «введено-найдено» определена АОЕ модельных АО разной липофильности. Найденные данные соответствуют введенным с учетом стехиометрических коэффициентов реакции окисления АО модельным окислителем. Определена АОЕ объектов фармации, содержащих АО разной липофильности. Полученные результаты согласуются с данными, полученными другими методами и результатами, заявленными производителем.

Таким образом, показана возможность использования ХАС, реализованного в микросистеме, для определения АОЕ объектов сложного состава. Дальнейшая работа будет направлена на усовершенствование конструкции портативного устройства и расширение круга объектов.

**Литература**

1. E. R. Salimgareeva et al, J. Anal. Chem. 2024, 79, 6.

ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА С БИПОЛЯРНЫМИ МЕМБРАНАМИ В  
ПРОЦЕССЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ  
L-ТРИПТОФАНА ИЗ РАСТВОРА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Студент 2 курса (магистратура) Стрельников М. М.

Руководитель к.х.н. Елисеева Т. В.

*Воронежский государственный университет*

*mixail.strelnikov.02@mail.ru*

В промышленности L-триптофан получают путём биосинтеза, для которого используются штаммы бактерий, питающиеся углеводами и минеральными солями [1]. При этом получают раствор аминокислоты, содержащий остатки неорганических ионов и органических веществ (обычно моносахарида или дисахарида). Для удаления органических примесей и эффективной очистки раствора аминокислоты применяют мембранные методы, в частности электродиализ [2-3].

Целью исследования является разработка электромембранных способа выделения L-триптофана как целевой аминокислоты из раствора, содержащего сахарозу, который может использоваться как стадия процесса микробиологического синтеза. Способ основан на способности биполярных мембран генерировать ионы водорода и гидроксила на межфазной границе двух слоев и способности биполярных ионов аминокислоты к перезарядке в катионы и анионы при изменении pH раствора.

Для выбора наиболее эффективной электромембранный системы нами рассмотрен транспорт ионов триптофана из индивидуального раствора аминокислоты при электродиализе в двух типах ячеек с анионо- или катионообменными мембранами, чередующимися с биполярными мембранами. Наибольший поток триптофана наблюдается через анионообменную мембрану, когда его биполярные ионы перезаряжаются в анионы, взаимодействуя с гидроксильными ионами, генерируемыми биполярной мембраной, и переносятся в принимающую камеру по механизму миграции. Поток аминокислоты через катионообменную мембрану на два порядка ниже и сопоставим по величине с потоком диффузии.

На основании исследования массопереноса триптофана выбрана схема ячейки с анионообменными и биполярными мембранами, рассчитана степень извлечения триптофана из раствора, содержащего сахарозу, при электродиализе, которая составила 10,1% для плотности тока  $10 \text{ mA/cm}^2$  при непрерывном проточном режиме во всех камерах. Следует отметить, что если организовать циркуляцию потока смеси в отдающей камере и использовать непроточную принимающую триптофан камеру, то степень извлечения и содержание аминокислоты в извлекаемом растворе можно значительно увеличить.

Таким образом, показана возможность и выбрана рациональная схема выделения L-триптофана из смешанного раствора с сахарозой методом электродиализа с биполярными и анионообменными мембранами. Наибольшая эффективность разделения наблюдается в интенсивных токовых режимах, при этом, величина фактора разделения L-триптофана и сахарозы составила 27,9.

#### Литература

1. B. Xiong, Biotechnology and Bioengineering. 2021, 118, 1393.
2. T. Eliseeva, A. Kharina, Membranes. 2022, 12, 665.
3. А. Ю. Харина, О. Е. Чарушина, Т. В. Елисеева, Мембранные и мембранные технологии. 2022, 12, 145.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ВОД ПО  
ТЕХНИКЕ SDME

Студентка 4 курса (бакалавриат) Федотова А.В., Пешикова А.В., Кудрявцева  
А.Н., Червонная Т.А.

Руководитель к.х.н. Черонная Т.А.

Северо-Кавказский Федеральный университет

*adelinafedot@mail.ru*

Полиароматические углеводороды (ПАУ) относятся к стойким загрязнителям окружающей среды. Их контроль в природных объектах с использованием экспрессных и экологичных способов пробоподготовки является актуальной задачей.

Вариант извлечения в открытом пространстве (headspace) удобен в случае летучих соединений. Также его преимуществом является уменьшение матричного влияния из-за малой летучести мажорных компонентов природных вод.

Целью данного исследования стала разработка методик SDME определения ПАУ в природных водах в вариантах direct immersion (DI) и head space (HS). В качестве улавливающего материала применяли смесь ментола с камфорой. Оптимизировали температуру нагревания образца, время выдерживания и состав экстрагирующей системы. В разработанном варианте степени извлечения анализов превышали 80%. Анализ экстрактов на содержание ПАУ проводили методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

*Работа проведена в рамках выполнения Государственного задания FSRN-2023-0005*

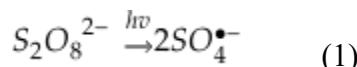
ПРОСТАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫХОДОВ СУЛЬФАТНЫХ РАДИКАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССАХ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ

Студент 5 курса (специалитет) Цай И.Е.

Руководитель к.х.н. Поздняков И. П.

Новосибирский государственный университет, Факультет естественных наук  
*i.tsai@g.nsu.ru*

Использование сульфатного радикала для окисления устойчивых загрязнителей становится популярным в последние годы [1]. Для его использования требуется активация предшественника – персульфата. Весьма популярным способом является фотохимическая активация (1):



Основной характеристикой фотохимических процессов является квантовый выход, т.е. отношение числа прореагировавших частиц к числу поглощенных квантов света. По причине малого времени жизни радикальных частиц, существующие методики определения квантового выхода сульфатного радикала по реакции (1) основаны преимущественно на нетривиальном методе лазерного импульсного фотолиза, требующем дорогостоящего оборудования [2].

В нашей работе мы предлагаем простой спектрофотометрический метод, основанный на реакции между сульфатным радикалом и ионом марганца(II) в присутствии ионов пирофосфата. Образующийся ион Mn(III) стабилизируется в виде пирофосфатного комплекса, имеющего характерное поглощение на длине волны 484 нм (рис. 1). Образующиеся сульфатные радикалы определяются количественно по концентрации пирофосфатного комплекса, который в свою очередь определяется из оптической плотности на длине волны 484 нм ( $\epsilon^{484} = 120 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ).

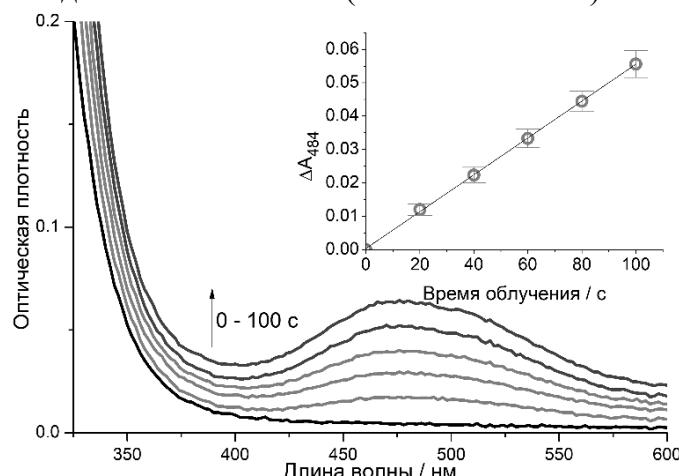


Рисунок 1 - Рост оптической плотности в области 484 нм при облучении реакционной смеси

Литература

1. Scaria J., Nidheesh P. V. // Curr. Opin. in Chem. Eng. 2022, 36, 100830.
2. Yan Y. et al. // Environ. Sci. Technol. 2024, 58, 8966.

# КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

УГЛЕРОДНЫХ И БОРНИТРИДНЫХ НАНОТРУБОК

Студентка 1 курса (магистратура) Черезова П.Ю., Порсев В.В.

Руководитель к.х.н. Порсев В.В.

Сколковский институт науки и технологий

*pol.cherezz@mail.ru*

Углеродные нанотрубки (УНТ) являются популярным объектом исследования еще с 1990-х: прогресс в их синтезе [1] и необычные свойства привели к актуальности их теоретического исследования. Кроме уникальных электронных и транспортных свойств, они демонстрируют высокую прочность и жесткость и в сочетании с их низкой плотностью могут быть полезны в качестве легких и высокопрочных композитных материалов, сверхпрочных нитей. Также они являются практически единственным синтезированным материалом, чьи свойства удовлетворяют критериям прочности, предъявляемым для создания космического лифта.

Нанотрубки нитрида бора (БННТ) изоэлектронны углеродным нанотрубкам, имеют аналогичную гексагональную структуру и также демонстрируют превосходные механические свойства [2]. В отличие от УНТ, они являются широкозонными проводниками и обладают более высокой химической и термической стабильностью, потому менее изученные БННТ могут оказаться крайне перспективным аналогом УНТ.

Критериями оценки механической прочности выступают модуль Юнга и модуль сдвига, отвечающие за способность материала сопротивляться аксиальным и торсионным деформациям соответственно (рис. 1). В основном они изучались только полуэмпирическими методами и практически не исследовались методом DFT, в особенности модуль сдвига. Также механические свойства УНТ и БННТ не изучались в единой расчетной DFT схеме для сравнения данных нанотрубок между собой.



Рисунок 1 - Торсионно и аксиально искаженные структуры углеродной нанотрубки

В работе представлены результаты исследования механических свойств УНТ и БННТ при аксиальных и торсионных искажениях [3] с использованием метода DFT. Для исследования использовался программный пакет CRYSTAL17 [4].

## Литература

1. S. Iijima, Nature. 1991, 354, 56.
2. A. Maselugbo, H. Harrison, J. Alston, J. of Mat. Res. 2022, 37, 4438.
3. V. Porsey, A. Bandura, R. Evarestov, Comput. Mat. Sci. 2022, 203.
4. R. Dovesi, A. Erba, R. Orlando, C. M. Zicovich-Wilson, B. Civalleri, L. Maschio, M. Rérat, S. Casassa, J. Baima, S. Salustro, B. Kirtman, Comput. Mol. Sci. 2018, 8.

НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И  
МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

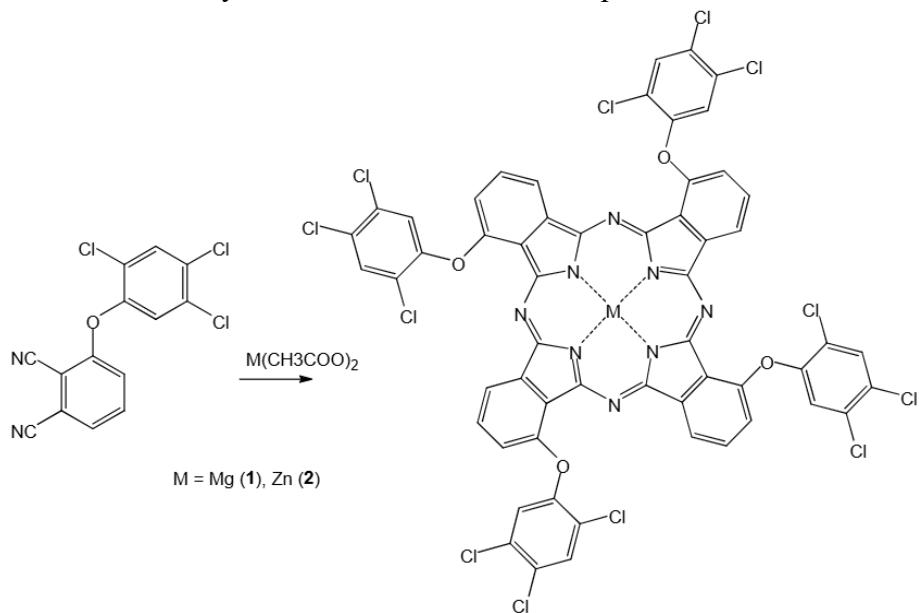
СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕТРА-(3-(2,4,5-ТРИХЛОРФЕНОКСИ)ФЛАТОЦИАНИНОВ МАГНИЯ И ЦИНКА  
Студентка 4 курса (бакалавриат) Антуганова В.А.

Руководитель к.х.н. Тихомирова Т.В.

Ивановский государственный химико-технологический университет

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

Целью данной работы были синтез тетра-3-(2,4,5 трихлорфенокси)фталоцианинов цинка и магния, а также изучение их основных и спектрально-люминесцентных свойств.



Синтез целевых комплексов осуществляли темплатной конденсацией 3-(2,4,5-трихлор)феноксифталонитрила с ацетатом магния или цинка сплавлением при температуре 180-190 °С. Идентификацию целевых продуктов осуществляли физико-химическими методами.

Изучены спектрально-люминесцентные свойства синтезированных комплексов. Показано влияние металла-комплексообразователя, природы растворителя на характер спектральных кривых, квантовый выход и время жизни люминесценции.

С помощью спектрофотометрического титрования трифторуксусной кислотой в толуоле рассчитаны константы протонирования металлокомплексов.

Было установлено, что центральный ион металла влияет на квантовый выход флуоресценции и время жизни флуоресценции: при переходе от цинка к магнию наблюдается увеличение квантового выхода флуоресценции и времени жизни флуоресценции. Показано, что полученные металлокомплексы склонны к протонированию. Наибольшей основностью обладает комплекс магния.

СИНТЕЗ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ПОМОЩИ АНОДИРОВАНИЯ Al в  
4 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Студент 3 курса (бакалавриат) Буздыган А.А.

Руководитель к.х.н. Кушнир С.Е.

Факультет наук о материалах МГУ имени М.В.Ломоносова

BuzdyganAA@my.msu.ru

Фотонный кристалл (ФК) – материал, структура которого характеризуется периодическим изменением показателя преломления с периодом, сравнимым с длиной волны света. Главным свойством ФК является наличие фотонной запрещённой зоны (ФЗЗ) – области частот фотонов, которые не могут распространяться внутри ФК. ФК являются перспективными материалами для использования в оптических фильтрах, поэтому поиск эффективного способа их получения является актуальной проблемой. Режим анодирования алюминия с модуляцией напряжения от оптической длины пути ( $U(L)$ ) – один из лучших методов получения одномерных ФК, поскольку позволяет с большой точностью поддерживать единое значение оптической длины пути периода во всей структуре ФК на основе анодного оксида алюминия (АОА). Опубликованные методики синтеза ФК с использованием режима  $U(L)$  не позволяют получить образцы большой толщины, из-за чего страдает интенсивность пиков ФЗЗ, вследствие чего цель данной работы состояла в разработке усовершенствованной методики синтеза ФК на основе АОА, позволяющей получать образцы с большей интенсивностью пиков ФЗЗ.

В ходе работы была определена оптимальная концентрация H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, позволяющая получать образцы большой толщины. Плёнки АОА исследовали с помощью анализа спектроскопии пропускания, в результате которой были определены толщина и эффективный показатель преломления плёнок АОА. На основе полученных данных была разработана методика анодирования Al в 4 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 0 °C и напряжении в диапазоне 10 – 15 В, при помощи которой синтезировали ФК АОА с 200 периодами с заданными положениями ФЗЗ в интервале длин волн от 250 до 700 нм (Рисунок 1).

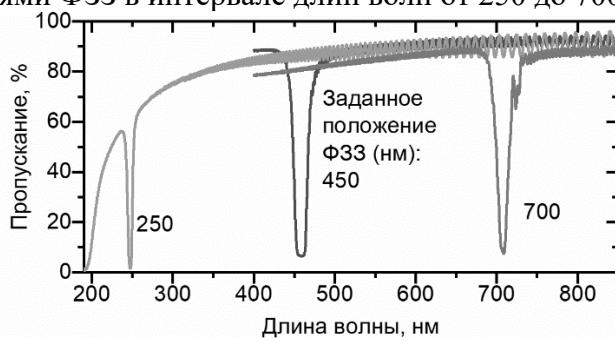


Рисунок 1 - Спектры пропускания полученных фотонных кристаллов

Положения ФЗЗ отклонялись от заданных на <1%, а минимум пропускания света в области ФЗЗ не превышал 8%, что значительно меньше, чем у ФК, полученных ранее в 2 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> при 2 °C с использованием режима  $U(L)$  [1], которые находились в интервале от 9,4 до 30%. Наименьшее значение минимума пропускания составило 1,5%, что делает разработанную методику перспективной для получения оптических режекторных фильтров на основе АОА.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-23-20180, <https://rscf.ru/project/25-23-20180/>.

Литература

1. S.E. Kushnir, T.Yu. Pchelyakova, K.S. Napol'skii. J. Mater. Chem. C. 2018. Vol. 6, № 45. P. 12192–12199.

АТОМНО-СЛОЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТИТАН-МОЛИБДЕНОВЫХ ОКСИДНЫХ НАНОПЛЕНОК, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Студентка 5 курса (специалитет) Гафурова М.Н.

Руководитель к.х.н. Максумова А.М.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный университет»  
[neon.gravestone11@gmail.com](mailto:neon.gravestone11@gmail.com)

Известно, что диоксид титана ( $TiO_2$ ) широко распространен в природе, не токсичен, обладает фотокаталитическими и антибактериальными свойствами. Значение ширины запрещённой зоны  $TiO_2$  (3.0-3.4 эВ) ограничивает его область активации ультрафиолетовой областью, которая составляет лишь  $\approx 3\%$  солнечного спектра. Поэтому разработка активного в видимой области света  $TiO_2$  является одной из ключевых задач в области фотокатализа полупроводников. Одним из подходов к изменению оптических свойств и смещению спектра фотокаталитической активности  $TiO_2$  в видимую область является легирование ионами переходных металлов, что повышает эффективность его применения при естественном освещении.

В работе разработана программа атомно-слоевого осаждения (АСО) титан-молибденовых оксидных нанопленок ( $Ti_xMo_yO_z$ ) с использованием новой комбинации прекурсоров -  $TiCl_4$ ,  $MoOCl_4$  и  $H_2O$  – с целью создания материалов с улучшенными фотокаталитическими и антибактериальными свойствами. Мониторинг роста пленок методом *in situ* кварцевого пьезоэлектрического микрозвзвешивания (КПМ) помог установить, что процесс АСО  $Ti_xMo_yO_z$  сопровождается явлениями конверсии  $MoO_3$  и  $TiO_2$  путем перехода хлор-лигандов  $TiCl_4$  на поверхностные оксимолибденовые группы и удалением Mo в газовую фазу в виде оксихлоридов. РФЭС анализ полученных пленок показал содержание Mo в пленках ниже ожидаемого значения (соотношение атомов  $Ti:Mo \approx 5:1$ ).

Анализ данных спектроскопической эллипсометрии показал линейность роста пленок, полученных при 150 °C на кремниевых подложках, с постоянной роста 2.3 Å/суперцикл, что также согласуется с КПМ данными. Методом рентгеновской рефлектометрии определили постоянную роста пленок, полученных на Si подложке, она составила 1.55 Å/суперцикл. Средняя плотность пленок составила 4.47 г/см<sup>3</sup>. Среднеквадратичная поверхностная шероховатость пленки в пределах составляла 8-9 Å. Рентгенодифракционный анализ показал, что полученные пленки имели аморфную структуру.

Полученные пленки продемонстрировали высокую антибактериальную активность по отношению к штаммам микроорганизмов *E.Coli*, предварительно внесенным в пробу очищаемой воды, снижая их концентрацию на 70% в течение 3 часов.

*In situ* и *ex situ* анализ роста пленок показал высокую реакционноспособность  $MoOCl_4$  в процессах роста  $Ti_xMo_yO_z$  и перспективность его использования для получения других смешанных оксидов. Выявленные закономерности формирования титан-молибденовых оксидных пленок на поверхности кремниевой подложки могут служить для более детального анализа ростовых характеристик в процессе АСО многокомпонентных оксидных пленок и понимания отклонения механизма поверхностных реакций от идеализированных схем, связанного с процессами “конверсии”. В настоящее время на основе разработанных новых материалов нами ведутся работы в области создания фильтров для очистки воды и воздуха от органических загрязнителей и бактерий.

ВЛИЯНИЕ МАГНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ФОСФАТА КАЛЬЦИЯ  
ФЕРМЕНТАТИВНОГО СИНТЕЗА

Студентка 2 курса (специалитет) Герасимова И.И.

Руководитель д.х.н. Чернышева М.Г.

МГУ имени М.В. Ломоносова Химический факультет

e-mail: [irismetallcat@gmail.com](mailto:irismetallcat@gmail.com)

Гидроксиапатит и другие фосфаты кальция активно исследуются благодаря их широкому применению. Среди способов получения фосфата кальция особое место занимает ферментативный синтез. Полученный материал по биосовместимости, структурному сходству с природным апатитом и регенеративному потенциалу, превышает химически синтезированный, что делает его перспективным для таких разделов медицины, как имплантология, стоматология и доставка лекарств.

В настоящей работе с под действием фермента щелочной фосфатазы из бычьей почки был синтезирован фосфат кальция из глицерофосфата кальция. Реакцию проводили в воде (минимальное количество других катионов) и в Tris -буфере с добавкой хлорида магния, который, с одной стороны, способствует сохранению структуры фермента, но при этом сам встраивается в структуру образующегося осадка фосфата кальция. Образцы фосфата кальция характеризовали методами ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, а также атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанный плазмой для определения соотношения между кальцием и фосфором в фосфате.

Показано, что при переходе от воды к буферу выход продукта увеличивается в 2 раза, что связано с сохранением ферментативной активности в присутствии катионов  $Mg^{2+}$ .

Полученные фосфаты кальция были идентифицированы как нестехиометрические гидроксиапатиты с дефицитом кальция: отношение  $Ca/P$  в стехиометрическом гидроксиапатите составляет 1.67, а в образце в воде 1.59. В образце, полученном в Tris -буфере, часть кальция замещена на магний ввиду их схожих химических свойств - отношение  $Ca/P$  составило 1.47, а  $(Ca+Mg)/P - 1.59$ .

Фосфаты кальция, полученные в разных условиях, формируют сферические полые структуры размером 50–2000 нм, склонные к агрегации в кластеры. Морфология образцов остается однотипной, что свидетельствует о слабом воздействии ионов магния, присутствующих в буферном растворе, на процесс образования фосфата кальция.

**СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНОГО СТРОНЦИЙ-ДОПИРОВАННОГО  
ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ РЕСТАВРАЦИОННЫХ  
КОМПОЗИЦИЙ**

**Студентка 1 курса (магистратура) Гомонова А.А.**

Руководители к.т.н. Трубицын М. А., к.т.н. Воловичева Н.А.

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования «Белгородский государственный национальный исследовательский  
университет»*

*aleks.gomonova@yandex.ru*

Синтетический гидроксиапатит (ГАП) близок по составу к природному биоапатиту, что делает его перспективным материалом для применения в области ортопедии, стоматологии и реконструктивной медицины. Введение стронция в состав ГАП позволяет улучшить его характеристики, поскольку ионы  $Sr^{2+}$  стимулируют активность остеобластов и подавляют активность остеокластов. Кроме того, введение катионов стронция позволяет проводить рентгенографический контроль полноты заполнения зубных каналов и твердения стоматологических композиций.

Целью работы являлась разработка наноструктурного кальций-фосфатного биоматериала, допированного ионами стронция, как компонента стоматологической композиции, применяемой для реставрации поврежденной костной ткани.

Методологический подход исследования включал три взаимосвязанных этапа. На первом этапе был разработан и реализован оригинальный метод синтеза наноразмерного стронций-допированного ГАП, позволяющий точно регулировать содержание ионов  $Sr^{2+}$  в конечном продукте. Второй этап предполагал комплексное исследование структурно-морфологических особенностей полученных экспериментальных образцов. На заключительном этапе проводилась оценка функциональных свойств синтезированных материалов с использованием модельных физиологических сред, имитирующих условия *in vivo*. Это позволило получить важные данные о поведении материала в биологическом окружении.

Выявлено, что увеличение мольного содержания  $Sr^{2+}$  в гидроксиапатите приводит к существенному уменьшению среднего размера ОКР при одновременном увеличении степени дефектности структуры и, как результат, снижению степени кристалличности. Допирование ГАП стронцием приводит к изменению морфологии первичных кристаллитов гидроксиапатита. Установлено, что синтезированные образцы сложены двумя морфологическими типами первичных частиц – изометричными сферическими кристаллитами и игольчатыми пластинами, размер которых не превышает 50 нм. Указанные структурные изменения обуславливают значительные функциональные улучшения: возрастание биорезорбции в 2-4 раза, усиление рентгеноконтрастности и появление температурно-зависимой кинетики растворения. Важно отметить, что настоящее исследование позволило установить четкие корреляционные зависимости между содержанием  $Sr^{2+}$ , структурными параметрами материала и его функциональными характеристиками, что открывает возможности для целенаправленного проектирования биоматериалов с заданными свойствами.

СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА  
ПОЛИМОРФНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ПЕНТАХЛОРИДОВ МОЛИБДЕНА(V),  
ВОЛЬФРАМА(V) И РЕНИЯ(V)

Студент 2 курса (специалитет) Гонтар О.Д.

Руководитель Воробьёва А.А.

МГУ им. М.В.Ломоносова Химический факультет

*oleg.gontar@chemistry.msu.ru*

В современной физике конденсированного состояния большой интерес представляет изучение свойств Ван-дер-Ваальсовых магнетиков. Реализация дальнего ферромагнитного порядка в двумерных Ван-дер-Ваальсовых соединениях в сочетании с их богатыми электронными и оптическими свойствами может привести к появлению новых практически значимых приложений. Известно, что двумерные изотропные гейзенберговские спиновые системы не могут сформировать магнитоупорядоченную фазу при конечной температуре, однако тепловым флуктуациям может противостоять магнитная анизотропия, которая возрастает при переходе от 3d- к 5d-металлам. Среди соединений 4d- и 5d-металлов выделяется широкий класс пентахлоридов состава  $MCl_5$ , в которых для  $M = Mo(V)$  и  $Re(V)$  ранее было установлено формирование ферро- и антиферромагнитного дальнего порядка при понижении температуры [1, 2]. Кроме того, на примере  $MoCl_5$  показано, что данные соединения склонны к полиморфизму [3]. Таким образом, актуальность заключается в установлении взаимосвязи между кристаллической структурой и магнитным поведением полиморфных модификаций пентахлоридов 4d- и 5d-металлов, содержащих неспаренные электроны на d-орбиталах, что может способствовать более глубокому пониманию природы магнитных взаимодействий в таких системах.

В настоящей работе представлен синтез, исследование кристаллической структуры и магнитных свойств новых полиморфных модификаций пентахлоридов молибдена(V)  $MoCl_5$  ( $4d^1, S = 1/2$ ), вольфрама(V)  $WCl_5$  ( $5d^1, S = 1/2$ ) и рения(V)  $ReCl_5$  ( $5d^2, S = 1$ ), а также смешанных пентахлоридов  $(Mo_{0.5}TM_{0.5})Cl_5$ , где  $TM = Re, W$ . Продемонстрировано, что кристаллическая структура изученных соединений изотипна и содержит изолированные димеры  $\{[Cl_4M](\mu-Cl)_2[MCl_4]\}$  ( $M = Mo, W, Re$ ), связанные между собой галогенными связями с образованием трехмерного каркаса. Полиморфизм обусловлен различной супрамолекулярной организацией молекул  $M_2Cl_{10}$  в структуре.

В измерениях намагниченности хлорида молибдена(V) установлено формирование ферромагнитно упорядоченного состояния, что проявляется как Бриллюэновский рост приведенной намагниченности. Полиморфные модификации хлорида вольфрама(V) и хлорида рения(V) демонстрируют образование антиферромагнитно упорядоченных состояний, наблюдаемых в магнитной восприимчивости на постоянном и переменном токе и в удельной теплоемкости. В результате магнитных измерений для замещенных  $(Mo_{0.5}TM_{0.5})Cl_5$  (где  $TM = Re, W$ ) было обнаружено, что частичное замещение в позиции металла подавляет формирование дальнего магнитного порядка в системе вплоть до 2 К.

#### Литература

1. McGuire M. A. et al. Chemistry of Materials. 2019. 31. 8. 2952-2959.
2. Vorobyova A. A. et al. Materials Chemistry and Physics. 2025. 332. 130215.
3. Beck J., Wolf F. Acta Cryst., 1997, B53, 895-903

НОВЫЕ ФТОРИРОВАННЫЕ  $\beta$ -ИМИНОКЕТОНАТЫ МЕДИ(II): КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧЕРЕЗ ПОЗИЦИОННУЮ ИЗОМЕРИЮ ЛИГАНДОВ

Студент 4 курса (бакалавриат) Жежера М.

Руководитель к.х.н. Викулова Е.С.

Новосибирский Государственный Университет,

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

m.zhezhera@g.nsu.ru

Наночастицы и тонкие пленки Cu широко применяются в качестве проводников в микроэлектронике, катализаторов, а также антибактериальных покрытий. Для их получения особенно привлекателен метод химического осаждения из паровой фазы (MOCVD) благодаря возможности прецизионного контроля состава и морфологии получаемых наноматериалов в умеренных условиях. Доступными и перспективными прекурсорами MOCVD являются  $\beta$ -иминокетонаты меди(II),  $\text{Cu}(\text{R}_1\text{C}(\text{NR})\text{CHC}(\text{O})\text{R}_2)_2$ , в которых за счет варьирования заместителей ( $\text{R}_1$ ,  $\text{R}_2$  и R) возможно в широких пределах изменять термические свойства соединений. Аспект влияния положения NR-группы на строение и термические свойства комплексов и исходных лигандов ранее не рассматривался в литературе – настоящая работа развивает данное направление на примере фторированных производных (формулы целевых комплексов представлены на рис. 1).

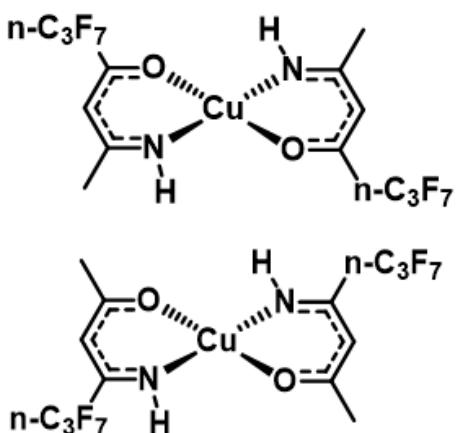


Рисунок 1 - Новые  $\beta$ -иминокетонаты меди(II),  $\text{Cu}(\text{L}_1)_2$  (внизу) и  $\text{Cu}(\text{L}_2)_2$  (вверху)

$\beta$ -Иминокетоны охарактеризованы методами элементного анализа, ИК- и ЯМР-спектроскопии. Рентгеноструктурный анализ выявил моноклинную сингонию для  $\text{HL}_1$  и ромбическую для  $\text{HL}_2$ .

Комплексы меди(II) получали по реакции свежеосажденного  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  с соответствующим  $\beta$ -иминокетоном в минимальном количестве растворителя и anschliesslich перекристаллизацией/вакуумной сублимацией. Соединения характеризовали элементным анализом и ИК-спектроскопией. Методом РСА показано наличие *цис-транс*-изомеров для  $\text{Cu}(\text{L}_1)_2$ , тогда как для  $\text{Cu}(\text{L}_2)_2$  найден *транс*-изомер.

Фазовый состав всех образцов контролировали методом РФА. Термические свойства комплексов и  $\beta$ -иминокетонов исследованы с помощью ТГА (атмосфера He) и ДСК (закрытый Al тигль). Показано, что новые комплексы являются более летучими и низкоплавкими (110–120°C) по сравнению с аналогом  $\text{Cu}(\text{ktf})_2$  ( $\text{R} = \text{H}$ ,  $\text{R}_1 = \text{CH}_3$ ,  $\text{R}_2 = \text{CF}_3$ , 189°C [1]), что делает их более перспективными для применения в реальных процессах. Для полученных  $\text{Cu}(\text{L}_1)_2$  и  $\text{Cu}(\text{L}_2)_2$  проводятся измерения давлений насыщенных паров методом потока. Кроме того, в ходе работы обнаружена связь изомерии лиганда с изомерией образующегося комплекса. Для объяснения мы планируем привлечь квантово-химические расчеты.

Авторы благодарят Химический исследовательский ЦКП СО РАН (НИОХ СО РАН) за элементный анализ и запись ЯМР-спектров.

Литература

1. Baidina I. A. et al. // J. Struct. Chem. 2003. V. 44, N. 3. P. 448–456.

ЗАМЕЩЕННЫЕ КЛОЗО-ДЕКАБОРАТЫ  $[2\text{-B}_{10}\text{H}_9(\text{NHC}(\text{R})\text{NHC}_2\text{H}_4\text{SH})]^-$  ( $\text{R} = \text{Et}, {}^n\text{Pr}, {}^i\text{Pr}$ ) – НОВЫЕ ЛИГАНДЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ЗОЛОТЫХ НАНОЧАСТИЦ.

Студентка 4 курса (бакалавриат) Иванова А. А.

Руководитель к.х.н. А. П. Жданов

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук

[aaivanova\\_31@edu.hse.ru](mailto:aaivanova_31@edu.hse.ru)

Наночастицы золота (ЗНЧ) привлекают внимание ученых благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам, включая биосовместимость и оптические характеристики, что открывает возможности для применения в медицине и биотехнологии. Они используются для обнаружения биомолекул, доставки лекарств и имеют антиоксидантные свойства. Метод синтеза определяет размер и форму частиц, что влияет на функциональность. Кроме того, исследуется возможность создания конъюгатов золотых наночастиц и борных кластеров  $[\text{BnHn}]^{2-}$  ( $n = 10, 12$ ), обладающих термической стабильностью, низкой токсичностью, а также прочностью полиэдрического каркаса.

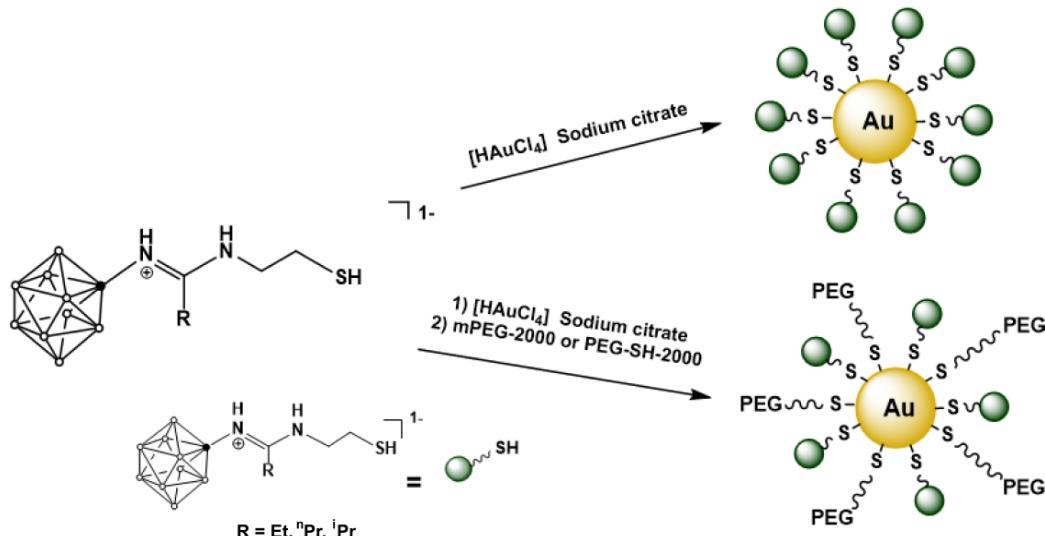


Схема 1 - Синтез ЗНЧ цитратным способом с дополнительной стабилизацией.

В работе изучен процесс получения стабилизованных наночастиц золота методом прямого взаимодействия тетрахлораурута водорода и выделенных в виде солей натрия/цезия амидин-замещенных клозо-декаборатов с тиольными группами. Полученные сферические ЗНЧ диаметром 40–50 нм демонстрировали незначительную устойчивость и склонность к агломерации. Для получения более стабильных золей был использован синтез с поэтапной заменой стабилизирующих лигандов с сохранением диаметра ядра ЗНЧ. Продукты реакций охарактеризованы данными динамического рассеяния света, энергодисперсионного анализа поверхности, электронной микроскопии, а также методом ICP-OES.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 24-13-00295).

АТОМАРНО-ТОНКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ  $A^{II}B^{VI}$  РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ:  
СИНТЕЗ В КОЛЛОИДНОЙ СИСТЕМЕ И СРАВНЕНИЕ ХИРОПТИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ С ЭНАНТИОМЕРНЫМИ ЛИГАНДАМИ

Студент 3 курса (специалитет) Карпич Ф.А.

Руководитель Скрыпник М.Ю.

МГУ им. М.В. Ломоносова Химический факультет

*feliks.karpich@chemistry.msu.ru*

В настоящее время одним из наиболее эффективных подходов к созданию материалов с уникальными свойствами является уменьшение размеров системы до характеристических величин. У полупроводниковых наночастиц, полученных в коллоидных системах и содержащих энантиомерные лиганды, следует ожидать появления новых уникальных свойств, обусловленных различием в физико-химических свойствах и биологической активности энантиомеров, что расширяет области применения наноматериалов, включая фотовольтаические и светоизлучающие устройства, компоненты микроэлектроники, дисплеи устройств, а также медицинские и биологические приложения.

Объектом исследования в данной работе стали полупроводниковые наночастицы – квантовые точки CdSe и нанопластины CdSe и ZnSe, полученные в коллоидных системах. Размер частиц задавался временем синтеза и контролировался спектроскопией поглощения. В качестве стабилизирующего лиганда была использована длинноцепочечная олеиновая кислота, которую впоследствии обменивали на короткоцепочечный хиральный лиганд N-ацетил-L-цистеин, содержащий сульфигидридную группу для связывания с наночастицами. Полноту обмена лигандов подтверждали ИК-спектроскопией и спектроскопией поглощения.

Элементный анализ образцов доказан рентгеновской флуоресценцией. По результатам рентгенофазового анализа показано, что все материалы содержат фазу вюрцита, при этом рефлексы оказались уширены, что характерно для наноразмерных полученных частиц. Кристалличность полученных наноструктур подтверждена также дифракцией в просвечающей электронной микроскопии.

Исследование хирооптических свойств полученных наночастиц с энантиомерным лигандом N-ацетил-L-цистеином проводилось с помощью спектроскопии кругового дихроизма. Установлено наличие полос кругового дихроизма для всех образцов, покрытых энантиомерным лигандом N-ацетил-L-цистеином, что отвечает различному поглощению право- и лево-поляризованных фотонов. Спектральное положение полос кругового дихроизма коррелировало с положением экситонных полос, наблюдавшихся в спектрах поглощения, т.е. экситонным полосам тяжелых и легких дырок. Установлено, что интенсивность полос кругового дихроизма для нанопластиноок существенно превышала таковую для квантовых точек. Это коррелирует с атомарной толщиной нанопластиноок менее одного нанометра, что существенно меньше диаметра квантовых точек, составившего порядка 4-5 нм.

# СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНСАМБЛИ НОВЫХ БРОММЕТАЛЛАТОВ И ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Студентка 3 курса (специалитет) Клыкова А.П.

Руководитель к.х.н. Шестимерова Т.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
[angelinaklykova120712@mail.ru](mailto:angelinaklykova120712@mail.ru)

Бромоантимонаты и полибромоантимонаты представляют собой класс соединений, которые активно исследуются, благодаря их уникальным свойствам и потенциальным применениям в современных технологиях. Их изучение вызвано необходимостью найти менее токсичные и более экологически безопасные альтернативы традиционным материалам, таким как галогенплюмбаты, которые широко используются в солнечных элементах. Кроме того, эти соединения демонстрируют перспективы в области оптоэлектроники, включая светодиоды, сцинтилляторы для рентгеновского излучения и флуоресцентные сенсоры.

Ключевым фактором, определяющим свойства этих соединений, является выбор катиона. В нашей работе использовали катион бис[1,5-диметил-3,7-диазабицикло[3.3.1]-нонана ( $\text{AH}_2^{2+}$ ), сочетающий жесткий бициклический каркас и два близкорасположенных атома азота, способных соединять водородными связями до трех структурных фрагментов. Введение молекул  $\text{Hal}_2$  в систему может существенно влиять на анионную подструктуру. Во-первых, за счет образования связующих фрагментов, таких как  $\{\text{Hal}_2\}$  или  $\{\text{Hal}_3\}$ , которые могут выступать в качестве мостиков между анионами, что приводит к формированию более сложных структур. Во-вторых, за счет изменения степени окисления металла: в случае сурьмы и брома это может привести к образованию полибромоантимонатов с различной степенью окисления сурьмы. Такая смешанная валентность существенно влияет на электронные и оптические характеристики материала [1].

В настоящей работе были исследованы бромометаллаты диметилбиспиридиния. Мы описываем синтез соединения  $(\text{AH}_2)_2[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}]^*2\text{H}_2\text{O}$  (1), а также различные подходы к синтезу смешанновалентных соединений  $(\text{AH}_2)_4[\text{Sb}_2\text{Br}_{10}(\text{SbBr}_6)_2(\text{Br})_2]$  (2) и  $(\text{AH}_2)_2[\text{BiBr}_6\text{SbBr}_6](\text{H}_2\text{O})$  (3) с необычной для бромоантимонатов темно-красной окраской и соответствующими ей низкими значениями ШЗЗ (1.28 и 1.19 эВ соответственно). Мы детально рассматриваем кристаллическое строение полученных соединений и анализируем систему слабых взаимодействий в них, а также термическую устойчивость и ряд оптических свойств.

Таким образом, катион  $\text{AH}_2^{2+}$  обеспечивает сложную организацию структур, стабилизирует структуры смешанновалентных галогенметаллатов, что в результате, вероятно, обеспечивает перенос заряда с трехвалентного на пятивалентный металл, приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны. Дальнейшие исследования смешанновалентных соединений можно рассматривать как инструмент уменьшения значений ШЗЗ.

*Работа поддержана государственной программой #AAAA-A21-121011590082-2.*

## Литература

1. Bondarenko M.A., Abramov P.A., Plyusnin P.E., Novikov A.S., Sokolov M.N., Adonin S.A. Bromoantimonates with bis(pyridinium)-type dications obtained via oxidation by dibromine: Diverse structural types and features of interactions pattern // Polyhedron, 2021, Vol. 202, 115217.

**СИНТЕЗ ТРОЙНЫХ ВОЛЬФРАМАТОВ  $M^1M^2Y(WO_4)_3$**   
**( $M^1$  – Li, Na, K;  $M^2$  – Mg, Ca, Sr, Ba)**  
**И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НОВОГО ТРОЙНОГО**  
**СОЕДИНЕНИЯ  $LiMgY(WO_4)_3$ , ДОПИРОВАННОГО  $Sm^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$**   
**Студент 2 курса (бакалавриат) Левин Я.В., Бережная Т.С., Чебышев К.А.**

Руководитель к.х.н. Чебышев К.А.

*Северо-Кавказский федеральный университет, химический факультет*  
*levinaroslav@gmail.com*

Вольфраматы со структурой шеелита давно исследуются, как люминесцентные и лазерные материалы благодаря своей высокой химической стабильности и относительно низкой температуре синтеза. Их изучение началось с вольфрамата кальция, однако, замещение кальция на щелочной и редкоземельный элементы позволило значительно расширить спектр данных соединений. Дальнейшее модифицирование данных составов может включать формирование тройных вольфраматов по схеме:  $Ca^{2+} \rightarrow \frac{1}{2}M^{1+} + \frac{1}{2}M^{3+} \rightarrow \frac{1}{3}M^{1+} + \frac{1}{3}M^{2+} + \frac{1}{3}M^{3+}$ . Некоторые тройные вольфраматы уже демонстрируют отличные оптические свойства, тем не менее, систематического изучения подобных материалов в литературе не представлено. В настоящей работе представлены результаты синтеза тройных соединений состава  $M^1M^2Y(WO_4)_3$  ( $M^1$  – Li, Na, K;  $M^2$  – Mg, Ca, Sr, Ba).

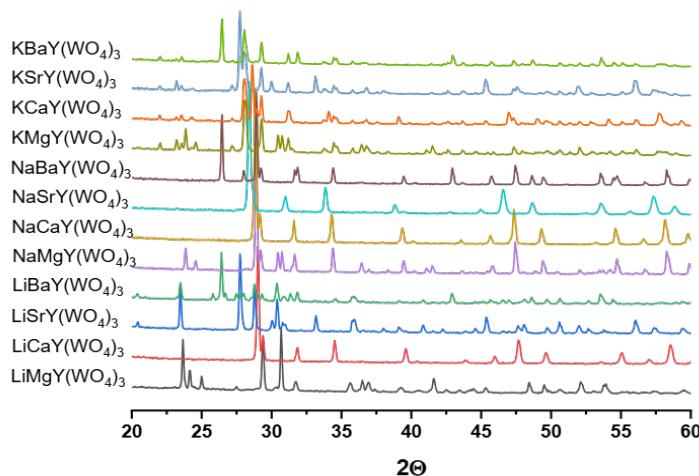


Рисунок 1 - Дифрактограммы образцов  $M^1M^2Y(WO_4)_3$  после прокаливания при 900 °C

После прокаливания при 900 °C в течение 4 ч получены однофазные образцы с тетрагональной структурой типа шеелита для составов  $LiCaY(WO_4)_3$ ,  $NaCaY(WO_4)_3$ ,  $NaSrY(WO_4)_3$  и моноклинной структурой для  $LiMgY(WO_4)_3$ . Остальные составы являлись двухфазными, содержащими фазы двойных вольфраматов щелочного металла и иттрия, а также простых вольфраматов щелочноземельного металла. Впервые полученное соединение  $LiMgY(WO_4)_3$  было исследовано в качестве матрицы для редкоземельных ионов ( $Sm^{3+}$ ,  $Eu^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ). Полученные результаты указывают на значительное влияние на возможность смешения вольфраматов не только различия в ионных радиусах катионов, но и значения средневзвешенного ионного радиуса всех катионов в системе. Синтезированы люминофоры розово-красного, красного, зеленого желтого свечения с различными концентрациями РЗИ.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НОВОГО ПРОИЗВОДНОГО 2,1,3-БЕНЗОТИАДИАЗОЛА  
Студентка 3 курса (бакалавриат) Макогон У.А.

Руководитель к.х.н. Павлов Д.И.

Новосибирский государственный университет  
ulia.makogon@gmail.com

Ретикулярная химия изучает протяженные полимерные структуры, образованные ионами или кластерами металлов, координационно связанными с органическими лигандами. Эти структуры являются металл-органическими координационными полимерами (МОКП). В зависимости от условий синтеза полимера (температуры, растворителя, дополнительных лигандов) можно получать структуры с различными характеристиками. Благодаря многообразию свойств, МОКП могут быть использованы в широком спектре сфер: таргетной доставке лекарств, разделении смесей газов, люминесцентном детектировании, сорбции газов и биомолекул и др[1].

Данная работа посвящена синтезу и изучению свойств новых координационных полимеров на основе катионов  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  и  $Co^{2+}$  и 4,6-ди-(1,2,4-триазол-1-ил)-2,1,3-бензотиадиазола ( $tr_2btd$ ) с использованием 2,6-нафтилиндикарбоновой ( $H_2ndc$ ) кислоты, 2,5-тиофендикарбоновой кислоты ( $H_2tdc$ ), аминотерефталевой кислоты ( $H_2bdc-NH_2$ ) или стиблендикарбоновой кислоты ( $H_2stb$ ) в качестве дополнительных лигандов. В результате было получено пять новых МОКП состава  $\{[Zn_2(ndc)_2(tr_2btd)] \cdot 5DMF\}_n$  (МОКП-1),  $[Cd(tr_2btd)(tdc)]_n$  (МОКП-2),  $\{[Co_2(ndc)_2(tr_2btd)] \cdot 5DMF\}_n$  (МОКП-3),  $\{[Co(ndc)(bdc-NH_2)] \cdot 2DMF\}_n$  (МОКП-4),  $\{[Co_2(stb)_2(tr_2btd)] \cdot 3DMF\}_n$  (МОКП-5).

МОКП были охарактеризованы полным набором физико-химических методов анализа, а также была исследована устойчивость полимеров в различных растворителях. Для МОКП-1 были подробно изучены фотофизические свойства: записаны спектры поглощения/испускания для твердого образца и для суспензии в этаноле, исследованы люминесцентные отклики на различные аналиты. Было обнаружено селективное увеличение интенсивности люминесценции суспензии в присутствии 2,6-пиридиндикарбоновой кислоты – биомаркера спорообразующих бактерий. Координационные полимеры МОКП-1 и МОКП-3-5 обладают высокой пористостью, поэтому представляют интерес для сорбционных приложений. Для МОКП-1 были проведены эксперименты по разделению жидких смесей ароматических углеводородов – была выявлена предпочтительная сорбция бензола из различных смесей.

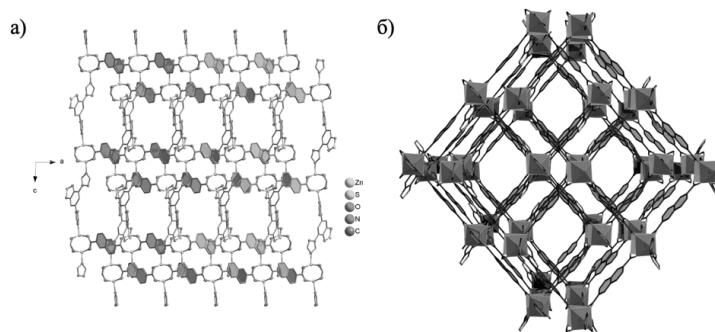


Рисунок 1 - Кристаллическая структура слоя (а), взаимопрорастание слоев (б) МОКП-1 согласно данным РСА

Литература

1. Freund R. et al. The Current Status of MOF and COF Applications // Angewandte Chemie - International Edition. 2021. Vol. 60, No 45. P. 23975–24001

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ОКСИДОВ СОСТАВА  $(La,Ba)FeO_3$  КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ  
Студент 1 курса (магистратура) Малинин Н.М.

Руководитель к.х.н. Платонов В.Б.

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

[malinin2123@gmail.com](mailto:malinin2123@gmail.com)

Благодаря возможности в широких пределах варьировать химических состав позиций А и В первовскитов, открывается возможность контролировать электрофизические, оптические, каталитические, сенсорные свойства материалов. В рамках данной работы был проведен синтез нановолокон  $(La,Ba)FeO_3$  методом электроспиннинга и исследован фазовый состав, микроструктура, состав поверхности, электрофизические и сенсорные свойства соединений. Проанализирован механизм зарядовой компенсации и процесс взаимодействия газа с поверхностью.

Согласно данным элементного анализа были синтезированы образцы с 2, 4 и 6 ат.% Ва. Фазовый состав для всей серии образцов совпадает с фазой чистого феррита лантана, что свидетельствует об успешном гетеровалентном замещении La на Ва. Основываясь на микрофотографиях РЭМ, морфология образцов представляет собой губчатую структуру со средним диаметром волокон 250 нм и средним размером частиц 50 нм. Для изучения зарядового состояния элементов были использованы методы РФЭС и Мессбауэровской спектроскопии. РФЭ-спектры позволили выявить увеличение доли хемосорбированного кислорода на поверхности при увеличении содержания Ва в образцах, что косвенно свидетельствует о росте количества кислородных вакансий. На регионе Fe2p было выявлено увеличение доли компонент, имеющих большую энергию связи при большей степени замещения, что говорит об увеличении степени окисления Fe до «+4». Согласно мессбауэровским спектрам, во всех случаях наблюдаются уширенные зеемановские секстеты, что может говорить о неоднородности координационного окружения атомов Fe, свидетельствуя в пользу наличия кислородных вакансий. Восстановленное распределение в сверхтонких магнитных полях показывает наличие дисперсий в зарядовом состоянии Fe, однако по-прежнему его можно отнести к формальной степени окисления «+3», что можно объяснить быстрым электронным обменом между ионами  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{4+}$ , наблюдавшееся для других замещенных ферритов, что при небольших степенях замещения может приводить к формированию усредненной компоненты со степенью окисления близкой к «+3». Полученные данные свидетельствуют в пользу компенсации заряда при гетеровалентном замещении по смешанному типу. Измерение сопротивления толстых пленок полученных образцов, показало увеличение проводимости в ходе замещения La на Ва, что закономерно для полупроводниковых материалов, где Ва выступает в роли акцепторной примеси в полупроводнике *p*-типа. Изучение сенсорных свойств образцов позволило выявить повышенную чувствительность легированных образцов к ЛОС, в особенности к ацетону. Улучшение газочувствительных свойств можно объяснить высокой каталитической активностью поверхности синтезированных материалов, обусловленной наличием различных точечных дефектов (кислородных вакансий, координационно ненасыщенных катионов железа, в том числе высокоактивных ионов  $Fe^{4+}$ ). Специально разработанные и проведенные *in situ* эксперименты, посвященные исследованию протекания реакции окисления ацетона на поверхности материалов, методами ИК-спектроскопии в режиме диффузного отражения и термопрограммируемой десорбции аналита в комбинации с масс-спектроскопией позволили получить новые научные результаты, описать процесс окисления ацетона на поверхности и тем самым обосновать высокую сенсорную чувствительность.

# КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГАДОЛИНИЯ(III) НА ОСНОВЕ СУЛЬФОНИЕВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КЛОЗО-ДЕКАБОРАТНОГО АНИОНА С КАРБОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

Студентка 4 курса (специалитет) Манцирева В.А.

Руководитель к.х.н. Голубев А.В.

Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

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

*mantsireva@icloud.com*

Координационные соединения лантаноидов, обладающие оптическими, люминесцентными, флуоресцентными и магнитными свойствами, широко применяются в различных областях. В медицине они используются как эффективные контрастные вещества для улучшения МРТ-изображений, визуализации клеток и выявления лекарственных веществ в пищевых продуктах [1]. В то же время большой интерес вызывают кластерные анионы бора и их производные в качестве компонентов магнитных материалов и каталитических систем [2]. Расширение спектра свойств кластерных анионов бора может быть достигнуто за счет образования координационных соединений. Это позволяет объединить свойства металла-комплексообразователя и борного каркаса.

В настоящей работе осуществлен синтез новых комплексных соединений лантаноидов на основе производных кластерных анионов бора (рис.1). Полученные соединения охарактеризованы современными физико-химическими методами анализа.

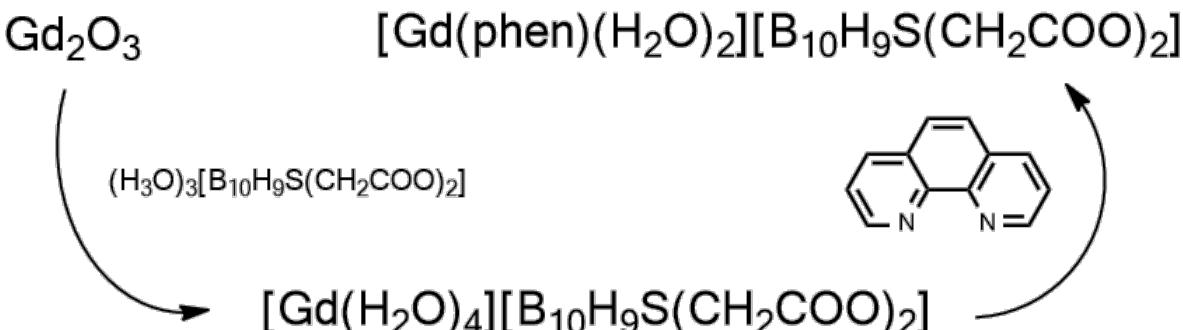


Рисунок 1 - Схема синтеза

## Литература

1. Tamanna, Vishal Mutreja, Biomedical applications of lanthanide complexes, Materials Today: Proceedings, 2022.

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ГАДОЛИНИЕМ, КАК  
БИМОДАЛЬНЫЙ КОНТРАСТНЫЙ АГЕНТ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ  
ДИАГНОСТИКИ

Студент 2 курса (магистратура) Митюшев Н.Д.

Руководитель к.х.н. Баранов А.Н.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

[nikita.mit55@gmail.com](mailto:nikita.mit55@gmail.com)

Углеродные наночастицы (УНЧ) привлекают большое внимание как многофункциональные реагенты для биомедицинских и аналитических применений, благодаря своей яркой флуоресценции в широком спектральном диапазоне и отсутствию токсичности. В настоящее время активно исследуют возможность применения УНЧ с примесью гадолиния (Gd) как контрастных агентов для медицинской диагностики методом магниторезонансной томографии (МРТ) вместо используемых сейчас хелатных комплексов на основе гадолиния [1, 2].

В данной работе была синтезирована серия образцов УНТ с разными концентрациями Gd (УНЧ-Gd) гидротермальным методом из водных растворов лимонной кислоты, мочевины и хлорида гадолиния при температуре 150 °С в течение 3 часов. Коллоидные растворы синтезированных УНЧ с примесью Gd очищали от несвязанных ионов и остатков прекурсоров выдержкой в диализных пакетах с размером пор 500 Да в течение 3 часов. Количественное определение концентрации атомов Gd, химически связанных с УНЧ, проводили с помощью спектрофотометрического анализа диализного раствора. По результатам просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) размер УНЧ составил 3-16 нм, а EDX анализ показал соответствие его содержания концентрации легирующей добавки в растворе прекурсоров. С помощью РФЭС и ИК-спектроскопии удалось определить состав функциональных групп УНЧ и способы координации с ними ионов Gd<sup>3+</sup>.

При измерении оптических свойств УНЧ-Gd было установлено, что максимум поглощения света расположен вблизи 345 нм, а максимум спектров флуоресценции соответствует длине волны 435 нм. По данным спектроскопии электронного парамагнитного резонанса зафиксировано увеличение числа парамагнитных ионов Gd<sup>3+</sup>, обладающих спином 7/2, в суспензиях УНЧ-Gd при увеличении концентрации Gd в прекурсоре. Измерения времен релаксации спинов протонов в установке на основе МРТ сканера выявили эффект усиленной протонной релаксации в водных растворах УНЧ-Gd как для продольного (T<sub>1</sub>), так и для поперечного (T<sub>2</sub>) времен. Показатели удельной скорости релаксации (релаксивности) для УНЧ-Gd с оптимизированной концентрацией Gd при этом оказались выше аналогичных значений для коммерчески используемых препаратов на основе хелатных комплексов гадолиния, что открывает возможности использования полученных наночастиц как контрастных агентов в медицинской диагностике.

Литература

1. D. U. Musaeva, A. N. Kopylov, A. V. Syuy et al. // *Applied Sciences*. — 2023. — Vol. 13, no. 16. — P. 9322–9322.
2. N. Mitiushhev, D. U. Musaeva, D. A. Artemov et al. // *Dalton Transactions*. — 2025. — Vol. 54, no. 18. — P. 7340-7351

КОМПЛЕКСЫ Zn(II) С ПРОИЗВОДНЫМ ФЕНИЛБЕНЗОТИАЗОЛА КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ОБРАТИМЫМ ДОСТУПОМ К ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ И ESIPT-ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Студент 3 курса (бакалавриат) Оленников В.Е.<sup>1,2</sup>

Руководитель к.х.н. Сухих Т.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН, Новосибирск

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет

*vaceslavolennikov845@gmail.com*

Целью работы являлась разработка молекулярных переключателей – координационных соединений Zn(II) с аминофосфиноксидным производным фенилбензотиазола (L), способных к обратимому переключению между ESIPT-флуоресценцией и фосфоресценцией при комнатной температуре (RTP) под действием внешних воздействий. Основная идея исследования заключалась в установлении взаимосвязи между фазовым состоянием материала (кристаллическим или аморфным) и преобладающим механизмом люминесценции, что позволило создать систему с управляемыми оптическими свойствами.

Для решения поставленных задач были синтезированы комплексы Zn(II) с лигандом L, включая кристаллическую ( $\alpha$ -[ZnL<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]) и аморфную ( $\beta$ -[ZnL<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>]) фазы. Методами рентгеноструктурного анализа, спектроскопии и квантово-химического моделирования (TD-DFT) изучены их структурные и фотофизические характеристики. Установлено, что кристаллическая фаза проявляет ESIPT-флуоресценцию с большим стоксовым сдвигом (600–610 нм), обусловленной фиксированной геометрией лиганда, в то время как аморфная фаза демонстрирует фосфоресценцию (560 нм) благодаря изменению конформации лиганда.

Ключевым результатом работы является доказательство обратимости перехода между  $\alpha$ - и  $\beta$ -фазами при обработке парами растворителей (CHCl<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, Et<sub>2</sub>O), что сопровождается переключением механизма люминесценции. Система сохраняет стабильность даже после многократных циклов, что подтверждает её потенциал для практического применения. Теоретическая значимость исследования заключается в углублении понимания роли фазовых переходов и конформационной динамики в модуляции оптических свойств координационных соединений.

Практическая ценность работы связана с возможностью использования разработанных комплексов в качестве сенсорных материалов с визуально детектируемым откликом, перезаписываемых оптических носителей и компонентов молекулярных переключателей. Нанесение аморфной фазы на различные подложки продемонстрировало её адгезионные свойства и высокую контрастность оптического отклика, что открывает перспективы для создания функциональных материалов без применения полимерных матриц. Таким образом, исследование внесло существенный вклад в разработку люминесцентных систем с управляемыми свойствами, сочетающих ESIPT- и RTP-механизмы, и расширило возможности их применения в оптоэлектронике и сенсорике.

# ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ПРЕВРАЩЕНИЯ RU-НАНОЧАСТИЦ

## Студентка 4 курса (бакалавриат) Орлова Е.Р.

Руководитель к. х. н. Ершов В.А.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева  
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН  
[el.orlova5@mail.ru](mailto:el.orlova5@mail.ru)

Количество научных публикаций, посвященных наночастицам рутения, в базе данных «Web of Science» значительно уступает количеству работ по другим нанометаллам (1). Данная работа посвящена разработке методов синтеза и стабилизации наночастиц рутения. В качестве перспективной альтернативы предложен УФ-синтез, основанный на фотохимическом восстановлении ионов металлов в водных растворах, который для рутения ранее не использовался. Важно отметить, что управление синтезом и фазовыми превращениями наночастиц представляет интерес для создания перспективных материалов: катализаторов, сенсоров, нанопокрытий.

Цель работы – исследование физико-химических свойств наночастиц рутения, образующихся в водной среде под воздействием УФ-излучения.

Растворы  $\text{RuCl}_3$  ( $1\text{--}5 \times 10^{-4}$  М) и  $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$  ( $1 \times 10^{-2}$  М) дегазировали вакуумом до остаточного давления 2 Па. Облучение выполняли импульсным ксеноновым УФ-источником «Альфа-05» ( $I_{\text{УФ}} = 6 \times 10^{20}$  квант·с $^{-1}$ ) сериями длительностью 10-300 с с интервалами 2-5 мин. При облучении в вакууме 190 с исчезали полосы LMCT (оксолат $\rightarrow$ Ru) и d-d переходов  $\text{Ru}^{3+}$  ( $\approx 294$  и 458 нм), формировалась широкая полоса 320-500 нм ( $\lambda_{\text{max}} \approx 370$ -400 нм). DLS-измерения зафиксировали средний гидродинамический диаметр частиц  $58,6 \pm 14,8$  нм сразу после облучения и  $53,8 \pm 13,7$  нм спустя 14 ч в вакууме, что указывает на стабильность и отсутствие агрегации в бескислородной среде. При контакте с атмосферным воздухом размер частиц возрастил до  $87,7 \pm 24,0$  нм за 75 мин и до  $175,3 \pm 48,6$  нм за 24 ч, что связано с образованием оксидно-карбонатных фаз.

Фотохимические реакции инициировались фотоокислением оксалат-аниона. Образующиеся  $\cdot\text{CO}_2^-$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  адсорбировались вместе с остаточными  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$  на поверхности Ru-наночастиц, формируя карбонатные и оксалатные комплексы. Спектроскопические данные не подтверждали формирование металлического  $\text{Ru}^0$ : вместо широкого поглощения наблюдались узкие пики в области 320-500 нм. Тем не менее, установлено, что фотохимический метод обеспечивает получение устойчивых рутениевых нанозародышей в бескислородной среде. Для достижения и стабилизации металлической фазы  $\text{Ru}^0$  необходимо вводить полимерные или анионные стабилизаторы, способных формировать защитные адсорбционные слои на поверхности частиц и препятствовать их окислению.

Работа выполнена в Лаборатории радиационно-химических превращений материалов ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН под руководством к. х. н. В.А. Ершова.

### Литература

1. J. Quinson. Osmium and OsO<sub>x</sub> nanoparticles: an overview of syntheses and applications // 39 Open Research Europe. 2022; 2:39. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14595.1>

# ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ КАТИОННО-АНИОННЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(II)

Студент 4 курса (специалитет) 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

Комплексы платины(II) обладают широким спектром физико-химических свойств, что объясняет высокий интерес к развитию методов синтеза данного класса соединений. Однако, на данный момент существует не так много удобных подходов к получению моноядерных карбоксилатных комплексов платины(II) с N-донорными лигандами, которые могут в перспективе использоваться в качестве гомогенных катализаторов и предшественников нанесенных катализаторов, восстанавливающихся до металлической фазы в мягких условиях за счет отсутствия трудноудаляемых лигандов.

В ходе данной работы были получены из  $K_2PtCl_4$  [1] катионно-анионные ацетатные комплексы платины(II) с пиридином и его гомологами  $[PtPy_4](OAc)_2 \cdot 6H_2O$  [2],  $[Pt(4-Pic)_4](OAc)_2 \cdot 8H_2O$  (рис. 1) и  $[Pt(3,4-Lut)_4](OAc)_2 \cdot 3HOAc$ . Термолиз данных соединений при пониженном давлении происходит с образованием моноядерных комплексов *транс*-строения  $Py_2Pt(OAc)_2$ ,  $(4-Pic)_2Pt(OAc)_2$  и  $(3,4-Lut)_2Pt(OAc)_2$ . Также было установлено, что катионно-анионные ацетатные комплексы способны вступать в реакции ионного обмена с сильными карбоновыми кислотами, что в случае реакции  $[PtPy_4](OAc)_2 \cdot 6H_2O$  с трифторуксусной и пентафторпропионовой кислотами привело к получению соединений  $[PtPy_4](OOCCF_3)_2 \cdot 2HOOCF_3$  и  $[PtPy_4](OOCC_2F_5)_2 \cdot 2HOOC_2F_5$ . Термолиз полученных комплексов сопровождался образованием молекулярных соединений *cis*- $Py_2Pt(OOCCF_3)_2$  и *trans*- $Py_2Pt(OOCCF_3)_2$  (рис. 2) в случае трифторацетата и *trans*- $Py_2Pt(OOCC_2F_5)_2$  в случае пентафторпропионата. Помимо этого, была разработана одностадийная методика получения молекулярных карбоксилатных комплексов платины(II) из  $[PtPy_4](OAc)_2 \cdot 6H_2O$  в расплавах соответствующих карбоновых кислот [3], по которой были синтезированы соединения *транс*-строения  $Py_2Pt(OOC^tBu)_2 \cdot 2HOOC^tBu$  и  $Py_2Pt(OOCPh)_2$ . Полученные карбоксилаты платины можно использовать для получения гетерометаллических полиядерных карбоксилатно-мостиковых комплексов, что удалось установить на примере соединения  $[Py_2Pt(\mu-OOC^tBu)_2Cu_2(\mu-OOC^tBu)_4]_n$  (рис. 3).

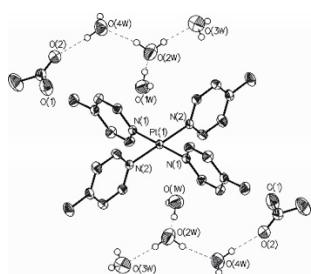


Рис. 1. Структура  $[Pt(4-Pic)_4](OAc)_2 \cdot 8H_2O$

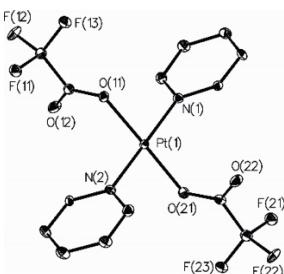


Рис. 2. Структура  $trans$ - $Py_2Pt(OOCCF_3)_2$

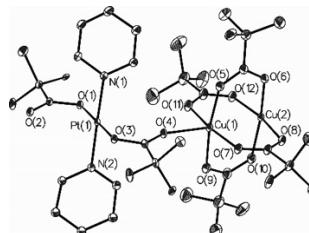


Рис. 3. Структура  $[Py_2Pt(\mu-OOC^tBu)_2Cu_2(\mu-OOC^tBu)_4]_n$

## Литература

1. G. B. Kauffman, R. J. Thompson, *Inorg. Synth.*, 1963, 7, 249.
2. I. A. Yakushev *et al.*, *Russ. J. Coord. Chem.*, 2023, 49 (1), 51.
3. M. V. Panina *et al.*, *Mendeleev Commun.*, 2024, 34 (6), 808.

ОПТИМИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА  
КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ГЕКСАФЕРРИТА  
СТРОНЦИЯ

Студентка 3 курса (бакалавриат) Семина А.А.

Руководитель к.х.н. Елисеев А.А.

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

*nastya25102003@mail.ru*

Гексаферриты, или гексагональные ферриты М-типа,  $XFe_{12}O_{19}$  ( $X = Ba, Sr, Pb$ ) являются широко известными магнитными материалами [1]. Они обладают сильной одноосной магнитокристаллической анизотропией, и, следовательно, материалы на их основе характеризуются высокими значениями коэрцитивной силы. Наночастицы гексаферрита стронция, легированного алюминием, имеют пластинчатую форму и способны формировать стабильные коллоидные растворы [2], демонстрирующие сильный магнитооптический отклик [3]. При воздействии внешнего магнитного поля нанопластинки ориентируются так, чтобы их магнитный момент был параллелен вектору индукции приложенного магнитного поля. В результате оптическое пропускание коллоидной системы меняется в зависимости от направления внешнего поля. Данный эффект интересен для различных высокотехнологичных приложений, а именно микрофлюидного перемешивания, магнитомеханической терапии, высокочастотной модуляции света, измерения вязкости жидкости в микро-масштабе. Таким образом, целью данной работы является исследование и оптимизация магнитооптического отклика коллоидных растворов на основе наночастиц гексаферрита стронция.

Для получения коллоидных растворов были синтезированы наночастицы гексаферрита стронция  $SrFe_{12-x}Al_xO_{19}$  в составе боратной стеклокерамики, отожженной при различных температурах в интервале 650–750 °C. Согласно данным магнитометрии, коэрцитивная сила стеклокерамики возрастает от 2,2 до 5,2 кЭ с увеличением температуры отжига. Наночастицы были выделены из боратной матрицы путем циклической обработки 3 %-ным раствором HCl и диспергированы в воде, в результате чего образовались стабильные коллоидные растворы (серия « $pH \approx 2$ »); при повторном диспергировании получены растворы серии « $pH \approx 4$ ». По данным ПЭМ для серии « $pH \approx 4$ », наночастицы представляют собой пластинки с толщиной 5–10 нм, средний диаметр частиц возрастает от 40 до 90 нм с температурой отжига.

С увеличением температуры отжига величина магнитооптического отклика возрастает для обеих серий, но ввиду меньшего среднего размера частиц для серии « $pH \approx 2$ » она оказывается ниже. Выше 700 °C величина отклика серии « $pH \approx 2$ » практически не изменяется, что свидетельствует о достижении предельного размера наночастиц, стабильных при данной величине ионной силы. Учитывая данные о концентрации частиц в коллоидном растворе при различных температурах отжига, оптимальными условиями синтеза представляются 710 °C и  $pH \approx 4$  ввиду максимальной концентрации и высокого значения магнитооптического отклика.

Установлено, что основной вклад в магнитооптический отклик коллоидных растворов гексаферрита стронция вносит рассеяние света наночастицами: около 87 % для параллельной и 63 % для перпендикулярной ориентаций, за оставшуюся часть величины магнитооптического отклика отвечает поглощение.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23–73–10045.*

Литература

1. Robert C. Pullar, *Prog. Mater. Sci.* 2012, 57, 1191.
2. Lev A. Trusov et al., *Chem. Comm.* 2014, 50, 14581.
3. Sergey E. Kushnir et al., *J. Mater. Chem.* 2012, 22, 18893.

ВОДОРОДНЫЕ МЕМБРАНЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ  
ПАЛЛАДИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ В ПОРЫ АНОДНОГО ОКСИДА  
АЛЮМИНИЯ С АССИМЕТРИЧНОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

Студент 3 курса (бакалавриат) Сердюков И.С.<sup>1</sup>, Ширин Н.А.<sup>2</sup>,  
Росляков И.В.<sup>1</sup>, Напольский К.С.<sup>1,2</sup>

Руководители Ширин Н.А., к.х.н. Росляков И.В., к.х.н. Напольский К.С.

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

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

*serdyukovis@my.msu.ru*

Анодный оксид алюминия (АОА) широко используется в качестве шаблона для создания одномерных структур, в том числе нанонитей палладия. Такие структуры востребованы при производстве газоразделительных мембран благодаря каталитическим свойствам палладия и его способности к обратимой абсорбции водорода. Известным методом получения нанонитей Pd является темплатное электроосаждение в поры АОА. Поскольку АОА – диэлектрик, получение нанонитей при потенциостатическом электроосаждении требует удаления барьераного слоя АОА и напыления токопроводящего слоя. В данной работе реализован альтернативный подход, основанный на электроосаждении при переменном напряжении, позволяющем избежать названных технологически сложных этапов.

Для обеспечения возможности электроосаждения без удаления барьераного слоя были исследованы режимы анодирования со снижением напряжения ( $U$ ) от 150 до 5 В в растворе 1 М Н<sub>3</sub>РО<sub>3</sub>. Показано, что при скорости снижения напряжения ( $k$ ) 278 В·см<sup>2</sup>/Кл достигается минимальное время процесса ( $t$ ), однако пористая структура около нижней поверхности слоя АОА оказывается неоднородной. Дополнительное анодирование при  $U = 5$  В (до формирования 1 мкм АОА) позволяет снизить шероховатость нижней поверхности до  $9 \pm 4$  нм. Сравнимой однородности удалось достичь при меньшем значении  $k$  (28 В·см<sup>2</sup>/Кл) без дополнительного анодирования при пониженном  $U$ .

Электроосаждение Pd проводили из электролита 0,27 М PdCl<sub>2</sub>, 0,28 М NH<sub>4</sub>Cl (pH = 9) при переменном напряжении (50 Гц). Напряжение электроосаждения было выбрано в диапазоне 3,5 – 7,5 В, поскольку при меньших напряжениях электроосаждение не протекало, а при больших наблюдало отслоение АОА от алюминия. При этом в случае АОА, полученного без дополнительного анодирования при  $U = 5$  В, область осаждения Pd имела видимые неоднородности. Предположительно, это связано с неоднородностью толщины барьераного слоя. При остановке анодирования в момент окончания снижения  $U$  процесс перестройки пористой структуры АОА, вызванный изменением  $U$ , остается частично незавершенным, поскольку скорость роста АОА различается на зернах с различной кристаллографической ориентацией.

При формировании дополнительного слоя АОА анодированием при 5 В удается достичь равномерного роста нанонитей длиной до 2 мкм по всей области осаждения. При этом изменение амплитуды напряжения не влияет на длину нанонитей.

При использовании АОА, полученного при меньшей  $k$  (28 В·см<sup>2</sup>/Кл) и той же толщине дополнительного слоя АОА, электроосаждение также протекает равномерно по площади. Отметим, что при уменьшении  $k$  рабочий диапазон напряжений смещается к меньшим значениям: от 3,5 – 7,5 В к 2,5 – 6,5 В, что может быть связано с уменьшением толщины барьераного слоя и более полной перестройкой пористой структуры к конечному напряжению. Следует отметить, что после 30 минут электроосаждения рост нанонитей в длину прекращается, предположительно, из-за роста вклада конкурирующей реакции выделения водорода.

Анодирование АОА со снижением  $U$  до 5 В и формированием дополнительного слоя оксида толщиной 1 мкм при данном напряжении позволяют достичь равномерного по площади электроосаждения нанонитей Pd в поры. Описанная методика пригодна для создания мембран для очистки водорода на пористой несущей основе из АОА.

БИОСЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА С ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ  
НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА И ПЛАТИНЫ

Студент 2 курса (магистратура) Серебров Е.И.

Руководитель к.х.н. Белов Д.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный  
исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грекова

Российской академии наук»

[e.serebrov@ipfran.ru](mailto:e.serebrov@ipfran.ru)

Оксид графена (GO) находит широкое применение, как материал для изготовления биосенсоров. Графен, в отличие от оксида графена, не имеет ни чёткой границы поглощения, ни отчётливой запрещенной зоны. В оксиде графена за счёт дефектов в поликристаллической структуре (различных химических и физических неоднородностей и окисленных функциональных групп) возникает значительная запрещенная зона (рисунок 1, а), что приводит к лучшим электропроводящим свойствам по сравнению с обычным графеном и появлению оптического поглощения, и это позволяет использовать GO в технологиях конструирования биосенсоров [1].

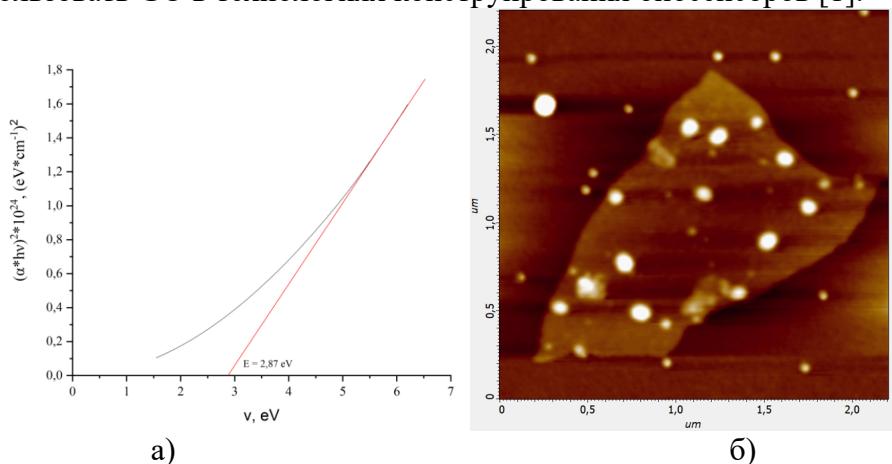


Рисунок 1 - Определение ширины запрещенной зоны GO (а) и АСМ-изображение нанолиста GO с инкорпорированными наночастицами золота (б).

В ходе исследования был разработан и протестирован метод создания покрытий, в состав которых входят дисперсии оксида графена, а также наночастицы золота, серебра и платины. На полученных покрытиях методом КР-спектроскопии зарегистрирован эффект SERS, что позволяет применять данный композиционный материал в качестве биосенсоров.

Литература

1. H. Yang, Biosens. Bioelectron. 2013, 41, 172.

СИНТЕЗ АПИКАЛЬНО-ГЕТЕРОЛЕПТИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ НА ОСНОВЕ  
ОКТАЭДРИЧЕСКИХ КЛАСТЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ  
МОДИФИКАЦИИ ЛИГАНДНОГО ОКРУЖЕНИЯ

Студент 2 курса (магистратура) Сибиряков М.С.

Руководитель д.х.н. Брылев К.А.

Новосибирский Государственный Университет,

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН

*M.sibiryakov@g.nsu.ru*

Октаэдрические кластерные комплексы рения с общей формулой  $[\{Re_6Q_8\}L_6]^m$  ( $Q = S$  или  $Se$ ,  $L$  – апикальный лиганд) привлекают большое внимание исследователей в течение последней четверти века. Для данных соединений характерна фосфоресценция в красной области спектра, а следовательно, можно предположить их потенциальное использование в качестве компонентов люминесцентных материалов, агентов для фотодинамической терапии и биовизуализаторов [1]. Внутренние лиганды ( $Q$ ) в кластерном ядре  $\{Re_6Q_8\}^{2+}$  являются относительно инертными к химическому воздействию, тогда как апикальные лиганды могут быть замещены либо модифицированы. Особый интерес в данном направлении вызывают так называемые «сайт-дифференцированные» комплексы-прекурсоры, описываемые общими формулами  $[\{Re_6Q_8\}R_nL_{6-n}]^m$  ( $n = 4$  или  $5$ ), сочетающие в себе инертные ( $R$ ) и лабильные ( $L$ ) апикальные лиганды. Такое строение позволяет селективно модифицировать лигандное окружение кластерного ядра, а значит, направленно влиять на физико-химические свойства синтезируемых соединений на их основе. При этом важно отметить, что подобные комплексы представлены достаточно ограниченным набором, имеющим свои синтетические недостатки, поэтому поиск новых подходов к их синтезу остаётся актуальной задачей [2].

Недавно нами были синтезированы гексаметоксидные комплексы  $[\{Re_6Q_8\}(MeO)_6]^{4-}$ , которые ввиду наличия относительно лабильных апикальных лигандов удобно вовлекать в реакции лигандного обмена в органических растворителях. При исследовании системы « $[\{Re_6Q_8\}(MeO)_6]^{4-} + PnPh_3$ » ( $Pn = P$ ,  $As$  или  $Sb$ ) были синтезированы и охарактеризованы метоксидотрифенилпниктидные комплексы с общей формулой  $[\{Re_6Q_8\}(PnPh_3)_n(MeO)_{6-n}]^m$  ( $n = 4-6$ ), а также продемонстрирована возможность дальнейшей модификации или замещения  $MeO$ -лигандов в полученных соединениях.

В результате работы были получены и охарактеризованы 17 новых октаэдрических кластерных комплексов рения, строение 15 из них подтверждено методом РСА. Для соединений были записаны спектры люминесценции и определены квантовые выходы. Впервые были получены сайт-дифференцированные прекурсоры на основе метоксидотрифенилпниктидных гексарениевых комплексов, а также комплексы с трифторацетатными апикальными лигандами.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 19-73-20196-П.*

Литература

1. I. V. Kashnik et al., *Adv. Opt. Mater. C* 2024, *12*, 25, 2400781.
2. Z. Zheng et al., *J. Am. Chem. Soc.* 1997, *119*, 9, 2163

## МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ АНОДНОГО ОКСИДА ОЛОВА,

СИНТЕЗИРОВАННОГО В 0,5 М РАСТВОРЕ NaOH

**Студентка 2 курса (бакалавриат) Степанова В.А.**

Руководитель к.х.н. Берекчиян М.В.

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

*StepanovaVA@my.msu.ru*

Анодирование является простым и экономичным способом получения пористых плёнок оксидов. Благодаря изменению условий анодирования можно контролировать диаметр пор, толщину плёнки и другие параметры образца непосредственно в процессе синтеза. Одним из перспективных материалов является анодный оксид олова  $SnO_x$ , который благодаря своим уникальным свойствам потенциально имеет множество применений в фотокатализе, солнечной энергетике, газовых сенсорах и других областях. Но несмотря на это до сих пор нет опубликованных результатов синтеза плёнок из анодного оксида олова толщиной более 11 мкм. Кроме того, химический и фазовый состав получаемого материала также требует уточнения. Таким образом, целью данной работы является оптимизация методики синтеза пористых плёнок из анодного оксида олова в щелочном электролите.

Исходным материалом для анодирования служили пластинки высокочистого олова (99,99%) размером  $1,7 \times 1,7$  см. Синтез проводился в потенциостатическом режиме при напряжениях 4-12 В в 0,5 М растворе NaOH при перемешивании и постоянных температурах 5 °C и 25 °C. Прошедший заряд был равен 25-300 Кл.

Установлено, что средний диаметр пор линейно возрастает с увеличением напряжения анодирования. Связано это с более интенсивным окислением олова, выделением большего количества теплоты и, следовательно, более активным растворением оксида. Температура электролита почти не влияет на средний диаметр пор, который при 5 °C и 25 °C может быть рассчитан по формуле  $d = aU + b$ , где  $a = 3,1 \pm 0,3$  нм/В и  $b = 9,3 \pm 2,1$  нм. Показано, что толщина оксидной плёнки возрастает с увеличением прошедшего заряда, но зависимость существенно отклоняется от закона Фарадея при зарядах выше 50 Кл вследствие длительного растворения образца в растворе NaOH. По той же причине увеличение прошедшего заряда приводит к незначительному росту среднего диаметра пор. Методами рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии и термогравиметрии установлен состав синтезированных плёнок анодного оксида олова:  $SnO_{1,50 \pm 0,25} \cdot (0,8 \pm 0,3)H_2O$  (5 °C) и  $SnO_{1,68 \pm 0,12} \cdot (0,5 \pm 0,2)H_2O$  (25 °C). При этом соотношение O/Sn практически не зависит от прошедшего заряда, однако несколько увеличивается при повышении температуры электролита, что также связано с частичным растворением оксида в растворе щёлочи.

Таким образом, в рамках данной работы определены оптимальные условия синтеза нанопористого анодного оксида олова: напряжение анодирования 8 В (средний диаметр пор  $\sim 35$  нм), прошедший заряд 200 Кл (толщина плёнки  $\sim 125$  мкм), температура электролита 5 °C. Показано, что в данных условиях формируется наиболее однородная неперетравленная плёнка.

ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА МАГНЕТРОННЫМ И ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ В ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

Студентка 3 курса (бакалавриат) Чувилева В.М.

Руководитель Судаков А.А., к.х.н. Тарасов А.Б

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

*varvara.chuvileva@gmail.com*

В настоящее время активно разрабатываются tandemные солнечные элементы (СЭ) на основе монокристаллического кремния и гибридных перовскитов. Важным компонентом данных СЭ являются прозрачные электроды, преимущественно изготавливаемые из пленок оксида индия-олова (ITO) благодаря высокой прозрачности (>80%), стабильности и низкому удельному сопротивлению ( $\sim 1 \cdot 10^{-4}$  Ом\*см).

Самым распространенным методом получения прозрачных электродов в СЭ со стороны стеклянной подложки является магнетронное напыление (MS). С помощью данного метода возможно получить пленки ITO с удельным сопротивлением  $\sim 10^{-4}$  Ом\*см и интегральной прозрачностью 95% в оптическом диапазоне. Однако, по литературным данным, использование данного метода приводит к повреждению органических транспортных слоев перовскитного СЭ, на которые наносится электрод [1]. Одним из перспективных методов нанесения ITO в более мягких условиях, является вакуумное ионно-лучевое напыление (IBS) [2]. Данный метод позволяет получить пленки материала с наиболее близкими характеристиками, что и для магнетронного напыления, однако за более длительное время.

Целью исследования стала разработка методик нанесения тонких пленок ITO в качестве прозрачных электродов для перовскитных солнечных элементов методами радиочастотного магнетронного и ионно-лучевого напыления.

Были получены зависимости оптоэлектронных свойств ITO от параметров радиочастотного магнетронного и ионно-лучевого напыления: давления кислорода в камере и толщины покрытия. Свойства пленок ITO, полученных с помощью обоих методов изменяются по следующим закономерностям: при увеличении давления кислорода в камере удельное сопротивление материала возрастает; при увеличении толщины пленок ITO поверхностное сопротивление уменьшается, а удельное сопротивление практически не изменяется и составляет порядка  $7-8 \cdot 10^{-4}$  Ом\*см. Во всем диапазоне измеряемых величин интегральная прозрачность пленок изменилась не значительно и составила >78% в ближнем ИК (800-1100 нм) и >70% в видимом (350-800 нм) диапазонах для обоих методов нанесения.

Были собраны тестовые СЭ с 3 видами электродов: ITO<sub>10нм</sub> (IBS)/ITO<sub>120нм</sub> (IBS); ITO<sub>10нм</sub> (IBS)/ITO<sub>120нм</sub> (MS 200Вт); ITO<sub>10нм</sub> (MS 60Вт)/ITO<sub>120нм</sub> (MS 200Вт) с архитектурой: Стекло/ITO/PTAA/Перовскит/C<sub>60</sub>/BCP/Электрод/SiO<sub>2</sub>/Инкапсуляция, максимальный КПД СЭ которых составил 15,04%; 15,78%; 13,37% соответственно. Полученное распределение КПД и форма ВАХ СЭ подтверждают литературные данные о том, что нанесение электродов с помощью магнетронного напыления повреждает транспортные слои. СЭ с электродами на основе ITO (MS), обладают более высоким последовательным и более низким шунтирующим сопротивлением. Нанесение подслоя с помощью IBS, перед напылением электродов с помощью MS позволяет существенно снизить урон, наносимый транспортным слоям, и увеличить эффективность устройств при сохранении выигрыша во времени нанесения.

#### Литература

1. Kanda H. et al., J. Phys. Chem., 2016, 120, 50, 28441–28447.
2. Talanova N. et al., Sol. Energy Mater., 2024, 266, 112683.

НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

ОРГАНИЧЕСКАЯ, БИООРГАНИЧЕСКАЯ И  
ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

НЕАКТИВИРОВАННЫЕ АЛКЕНЫ КАК ДИПОЛЯРОФИЛЫ В РЕАКЦИЯХ  
1,3-ДИПОЛЯРНОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ  
Студентка 2 курса (магистратура) Бережная Е.В.

Руководитель д.х.н. Степаков А.В.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический  
университет)

email imberezhnaya@yandex.ru

Разработка методов синтеза гетероциклических соединений, содержащих бициклические фрагменты пирролизидина, пирролина и азабицикло[3.1.0]гексана, на основе реакций [3+2]-диполярного циклоприсоединения, вызывает значительный интерес химиков-органиков, вследствие потенциальной биологической активности указанных гетероциклических систем. В наших прежних исследованиях было показано, что стабильный азометин-илид 1, полученный из нингидрина и L-пролина, проявляет себя как эффективная ловушка для различных циклопропенов, в том числе газообразных и нестабильных [1].

В данной работе в качестве диполярофилов в реакциях с диполем 1 были использованы неактивированные алкены 2а-оо, в результате чего были получены соответствующие циклоаддукты 3а-оо с выходами до 96% и высокой регио- и стереоселективностью.

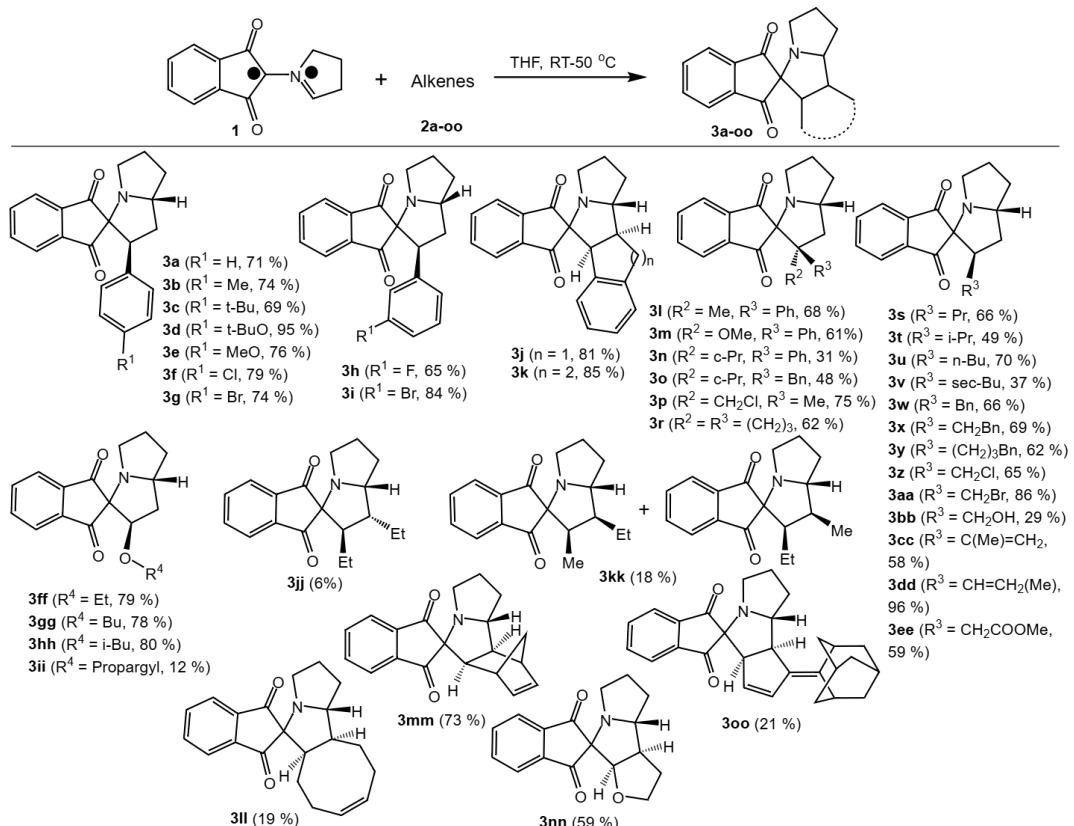


Рисунок 1 – Синтез спироциклических гетероциклов 3а-оо на основе реакций 1,3-диполярного циклоприсоединения стабильного азометин-илида 1 и неактивированных алкенов 2а-оо

Литература

1. A. S. Filatov, V. M. Boitsov, A. V. Stepakov [et al.], *J. Org. Chem.* 2019, **84**, 7017.

# ЗАМЕЩЕННЫЕ ДИОКСИДИФЕНИЛСОДЕРЖАЩИЕ МОНОМЕРЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ПОЛИИМИДОВ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

Студент 4 курса (специалитет) Бухалин В.В.

Руководитель Баклагин В.Л.

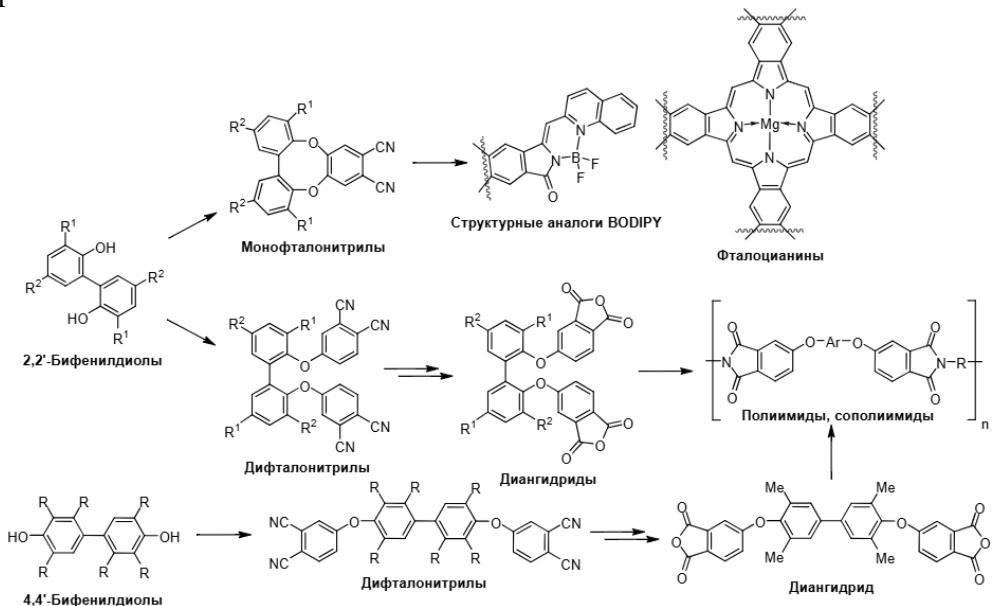
Ярославский государственный технический университет

bukhalinvv@gmail.com

Производные 2,2'- и 4,4'-бифенилдиола, доступные по реакции окислительного сочетания, могут выступать в качестве *O,O*-бинуклеофилов в  $S_NAr$  реакции с галоген- и нитросодержащими фталонитрилами, что открывает доступ к соответствующим моно- и дифталонитрилам. Монофталонитрилы широко используются как предшественники фталоцианинов, а также на их основе возможно получение BODIPY и их структурных аналогов. Дифталевые ангидриды, получаемые в две стадии из соответствующих дифталонитрилов, являются мономерами для полиимидов.

Целью данной работы является синтез замещенных моно- и дифталонитрилов, а также тетракарбоновых кислот и диангидридов, содержащих диоксидифенильный фрагмент.

В литературе для получения диоксидифенилсодержащих моно- и дифталонитрилов до сих пор практически всегда используются незамещенные 2,2'- и 4,4'-бифенилдиолы. Имеются весьма ограниченные данные о применении их замещенных аналогов. В то же время на их основе можно создавать материалы с гораздо более привлекательными свойствами.



Ряд полученных соединений был переданы в ИГХТУ и ИСПМ РАН для дальнейших исследований. Было показано, что наличие замещенного диоксидифенильного фрагмента в структуре мономеров приводит к повышению растворимости и термостойкости полиимидов на их основе. В случае флуоресцентных красителей помимо высокой растворимости наблюдался батохромный сдвиг максимума поглощения и увеличение квантового выхода флуоресценции.

## C(20)-ПЕРФТОРАЛКИЛСОДЕРЖАЩИЕ ТЕВИНОЛЫ

Студент 5 курса (специалитет) Горлов С.Н.

Руководитель к.х.н. Сандуленко И.В.

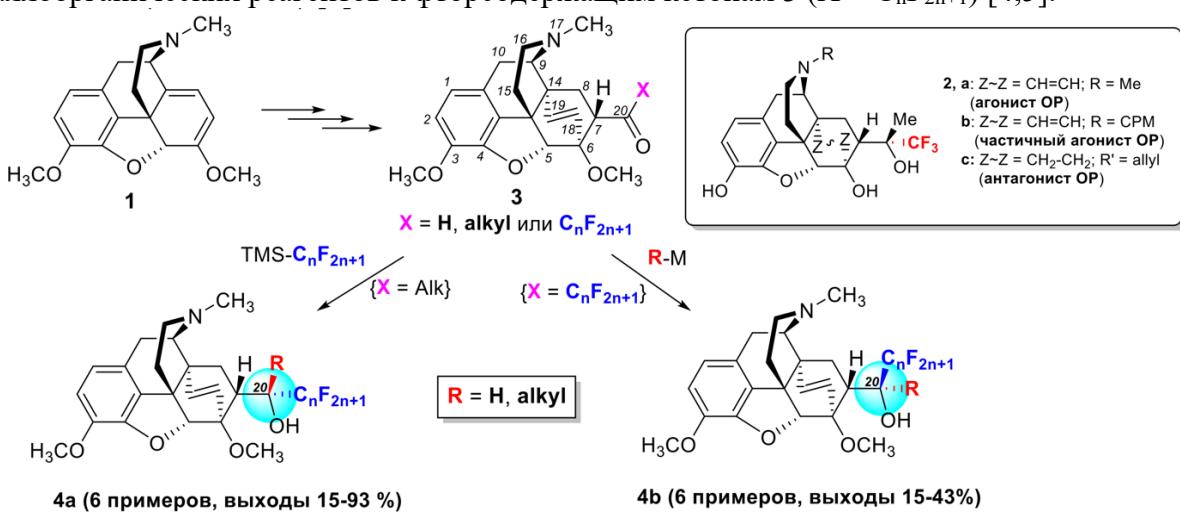
МГУ имени М.В. Ломоносова Химический факультет

ФГБУН Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмейanova РАН

[sergei.gorlov@chemistry.msu.ru](mailto:sergei.gorlov@chemistry.msu.ru)

Модификация аддуктов реакции Дильса-Альдера тебаина (1) с диенофилами позволяет получить 6,14-эндоэтенопроизводные тебаина – тевинолы и орвинолы, которые составляют важнейший класс лигандов опиоидных рецепторов (ОР) и используются в медицине и ветеринарии в качестве лекарственных средств [1]. Получение тевинолов, содержащих фтор в важнейших фармакофорных фрагментах, актуально, поскольку среди таких структур могут быть обнаружены соединения с более выгодным и безопасным фармакологическим профилем по сравнению с их нефторированными аналогами [2]. Известно, что подобные структуры, содержащие C(20)-трифторметильную группу (2a-c), проявляют свойства лигандов опиоидных рецепторов, а их профиль фармакологической активности зависит от строения остальных фармакофорных фрагментов [3].

В настоящей работе разработаны методы, позволяющие получать фторированные спирты – тевинолы 4a,b из их предшественников – кетонов, содержащих алкильные и перфторалкильные группы. Было показано, что селективность образования того или иного C(20)-эпимера зависит от способа его получения – введения перфторалкильных заместителей к нефторированным кетонам 3 (X = alkyl) или присоединения металлоорганических реагентов к фторсодержащим кетонам 3 (X = C<sub>n</sub>F<sub>2n+1</sub>) [4,5].



Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 25-23-00646)

### Литература

1. K. W. Bentley, D. G. Hardy // J. Am. Chem. Soc., 1967, 89 (13), 3267-3273
2. E. P. Gillis, K. J. Eastman, M. D. Hill, D.J. Donnelly, N.A. Meanwell // J. Med. Chem., 2015, 58 (21), 8315-8359
3. I. V. Sandulenko, I. V. Belozertseva, E. E. Zvartau, M. V. Zelentsova, A. A. Ambartsumyan, A. F. Smol'yakov, S. K. Moiseev // Eur. J. Med. Chem. 2023, 252, 115296
4. I.V. Sandulenko, E.S. Kovaleva, M.V. Zelentsova, S.N. Gorlov, A.A. Danshina, R.R. Aysin, S.K. Moiseev // Org. Biomol. Chem., 2023, 21, 1440
5. S.N. Gorlov, I.V. Sandulenko, A.F. Smol'yakov, A.A. Tyutyunov, M.I. Godovikova, S.K. Moiseev // J. Fluor.Chem., 2025, 285–286, 110451

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОРЕАКЦИИ 1-ГЕТАРИЛ-2-ГЕТАРОИЛЭТИЛЕНОВ И РАЗРАБОТКА ПРЕПАРАТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАМЕЩЕННЫХ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Студентка 1 курса (магистратура) Гребенникова П.Д.<sup>1,2</sup>

Руководитель к.х.н. Захаров А.В.<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  
grebennikova\_2003@list.ru

В последние десятилетия фотохимия развивается чрезвычайно стремительно. Фотохимические реакции находят широкое применение в тонком органическом синтезе и в промышленности для получения различных химических веществ, которые сложно или невозможно получить при помощи химических реакций в основном состоянии.

Исследование фотохимических свойств нового класса соединений – 1-гетарил-2-гетароилэтиленов на основе нафтофурана – важная и перспективная задача в развитии фотохимии. Выбранные соединения, будучи родственными аналогами диарилэтиленов, содержат гексатриеновую систему и способны подвергаться необратимой бп-электроциклизации под действием света либо через реакцию Мэллори, либо через скелетную перегруппировку с раскрытием гетарильного цикла [1,2]. Главным отличием этих молекул является наличие винильной группы вместо бензольного остатка, что способствует протеканию альтернативных процессов: *E/Z* – изомеризация исходного соединения; [2+2]-циклоприсоединения; реакция Мэллори (Схема 1).

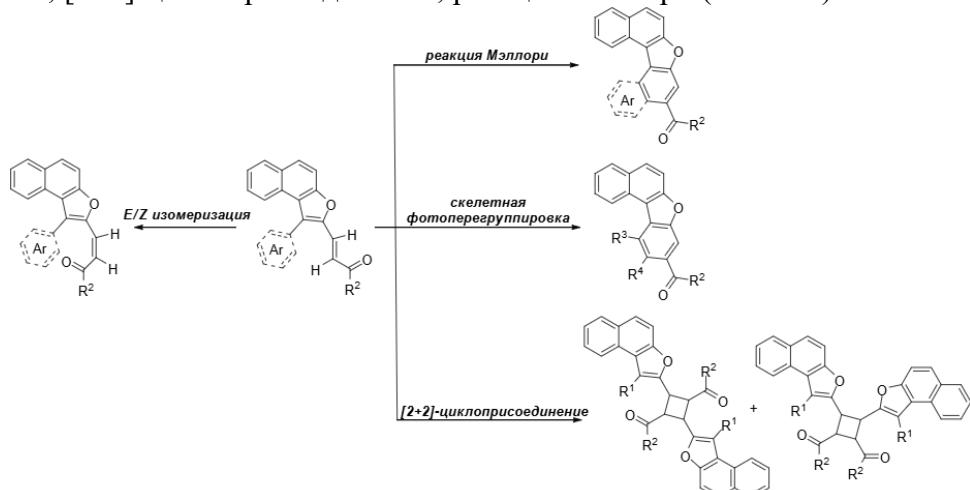


Схема 1 - Общая схема фотохимических реакций.

Целью исследования является синтез ряда 1-гетарил-2-гетароилэтиленовых субстратов и комплексное исследование их фотохимических свойств для дальнейшей разработки эффективных методов синтеза полициклических и гетероароматических систем. Оптимизация условий фотохимических реакций этих соединений открывает новый путь для создания эффективных методов синтеза полигетероароматических соединений, востребованных для синтеза биологически активных веществ, функциональных материалов и сенсоров.

Литература

1. A.V. Yadykov, A.G. Lvov, M.M. Krayushkin, et al. J. Org. Chem., 2021, 86, 10023.
2. A.V. Zakharov, S.M. Timofeeva, V.Z. Shirinian, et al. Org. Biomol. Chem., 2023, 21, 2015.

# НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ *N*-ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРРОЛОВ ИЗ НИТРОАЛКЕНОВ

Студентка 4 курса (специалитет) Двинянинова Т.Я. <sup>1,2</sup>

Руководитель Поспелов Е.В. <sup>1</sup>

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

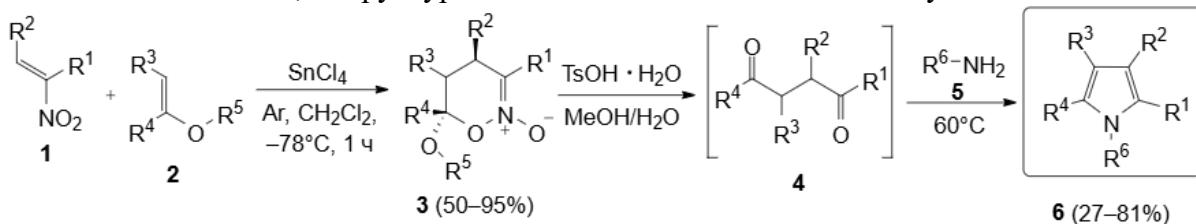
<sup>2</sup> Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, ВХК РАН

*tatianadvinyaninova@yandex.ru*

На сегодняшний день получение производных пиррола из доступных реагентов является актуальной синтетической задачей ввиду их широкого применения в медицине, координационной химии и материаловедении. Существующие на данный момент методы синтеза пирролов позволяют получить из нитроалкенов и карбонильных соединений *NH*-пирролы по методу Бартона-Зарда или же *N*-замещенные пирролы с помощью «легко» подхода [1, 2].

Однако первый метод ограничивается синтезом только *N*-незамещенных пирролов, а второй – 2- и/или 5-незамещенных, что существенно сужает ряд возможных для получения продуктов. Разработанный нами подход лишен данных недостатков и позволяет за две стадии получить *N*-замещенные пирролы 6 с различными схемами замещения, также используя доступные исходные соединения: нитроалкены 1 и виниловые эфиры 2.

Возможность независимого варьирования заместителей в нитроалкенах 1 и эфирах 2 и получение с хорошими выходами в короткие сроки делают циклические нитронаты 3 универсальными и удобными платформами для модульной сборки пирролов 6. Последующее раскрытие нитронатов 3 приводит к образованию дикетонов 4, которые в результате *one-pot* стадии добавления аминов 5 дают пирролы 6. Таким образом, решены главные проблемы ранее известных методов: заместители в нитронатах 3 четко определяют все 4 положения при углеродных атомах пиррольного фрагмента и могут быть легко изменены, а структура амина 5 отвечает за заместитель у атома азота.



$\text{R}^1, \text{R}^4, \text{R}^5 = \text{H, Me}; \text{R}^2 = \text{Ar}; \text{R}^3 = \text{H}; \text{R}^6 = \text{An, Bn, Bu, Ph, -CH}_2\text{-C}_4\text{H}_3\text{O}$

Данные особенности представленного подхода в сочетании с простотой проведения эксперимента обуславливают высокий синтетический потенциал реакции и открывают универсальный путь к получению широкого спектра структурно разнообразных пирролов для скрининга их биологических свойств.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ (№ 22-13-00230-П).

## Литература

1. C. Martín-Santos et al, *ChemCatChem*, 2012, 4, 976–979.
2. D. H. R. Barton, S. Z. Zard, J., *Chem. Soc. Chem. Commun.*, 1985, 1098–1100.

КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНО-ПРЕРВАННАЯ РЕАКЦИЯ НЕФА В РЯДУ ЦИКЛИЧЕСКИХ НИТРОНАТОВ: НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ

Студент 4 курса (специалитет) Жиров А. В.<sup>1,2</sup>

Руководитель Пospelов Е. В.<sup>1</sup>

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

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

[zhirovav@my.msu.ru](mailto:zhirovav@my.msu.ru)

В течение последних 10 лет химики-органики всё больше занимаются изучением *прерванных реакций* – процессов, в котором уже известные химические превращения перенаправляются в иную сторону из-за изменения условий их протекания или за счёт преобразования исходных соединений. Долгое время подобные реакции, принимаясь за побочные, стремительно подавлялись, однако теперь они значительно расширили арсенал направленного дивергентного синтеза. Действительно, недавно нашей группой обнаружена *внутримолекулярно-прерванная реакция Нефа* – неизвестная ранее модификация классического гидролиза нитроалканов до альдегидов и кетонов (схема 1).

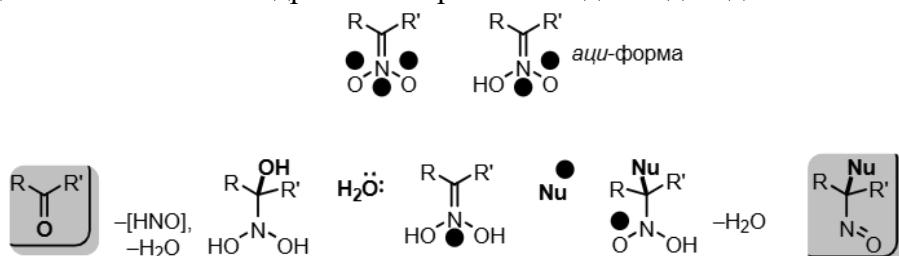


Схема 1 - Классическая и прерванная реакция Нефа

С помощью данного процесса удалось получить из лабильных интермедиатов N-оксидов 1,2-оксазинов в одну синтетическую стадию разнообразные гетероциклические структуры с хорошими выходами. В частности, синтезированы различные производные *NH-пирролов*, *фуранов* и *2,3-дигидрофуранов*, которые входят в состав большого числа природных соединений и лекарственных препаратов. Интересно, что направление рециклизации достаточно просто регулируется природой заместителя в 6-ом положении субстрата и/или небольшим изменением условий протекания самой реакции (схема 2).

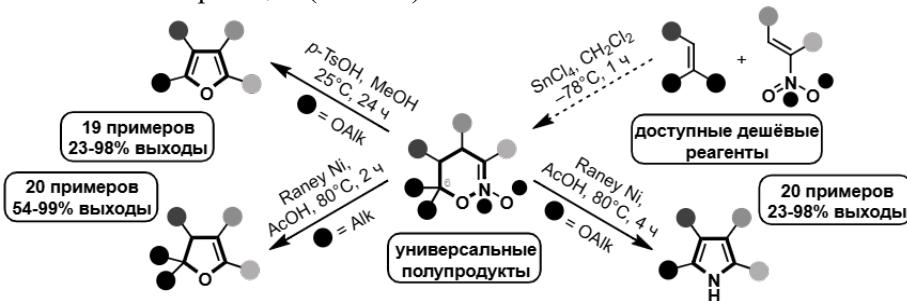


Схема 2 - Каталитическое получение полизамещенных гетероциклов

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант №22-13-00230).

Литература

1. E. V. Pospelov, A. V. Zhirov, B. Kamidolla, A. Y. Sukhorukov, *Adv. Synth. Catal.* 2023, 365, 2850–2857.
2. E. V. Pospelov, A. V. Zhirov, B. Kamidolla, A. Y. Sukhorukov, *Eur. J. Org. Chem.* 2024, 27, e202400627.

МЕТАЛЛОКАТАЛИЗИРУЕМОЕ (3+2) АННЕЛИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОНODEФИЦИТНЫХ АЛКИНОВ КАК ПУТЬ К  
ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМ ПИРРОЛАМ

Студентка 1 курса (магистратура) Котикова П.Ф.

Руководитель к.х.н. Дубовцев А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет

*polinakoty2002@gmail.com*

В последние десятилетия было разработано большое число синтетических методов, основанных на аннелировании аминокарбонильных соединений и электронодефицитных алкинов. Как правило, это (4+2) аннелирования, которые приводят к образование 6-членных циклов. [1, 2]. Однако литературные данные о подобных (3+2) аннелированиях, приводящих к образованию 5-членных циклов, например, пирролов, отсутствуют.

Полифункционализированные пирролы представляют интерес с точки зрения медицинской химии. Особое внимание вызывают 3-EWG-замещенные пирролы, которые могут быть использованы в качестве антипсихотических, противоопухолевых, антибактериальных, противогрибковых и противомалярийных средств. [3, 4].

Мы впервые разработали подход к (3+2) аннелированию электронодефицитных алкинов и  $\alpha$ -аминокетонов, открывающий путь к получению функционализированных пирролов. Эта реакция катализируется соединениями металлов всей 11-й группы и демонстрирует высокую устойчивость к функциональным заместителям, что позволило синтезировать обширную библиотеку целевых соединений.

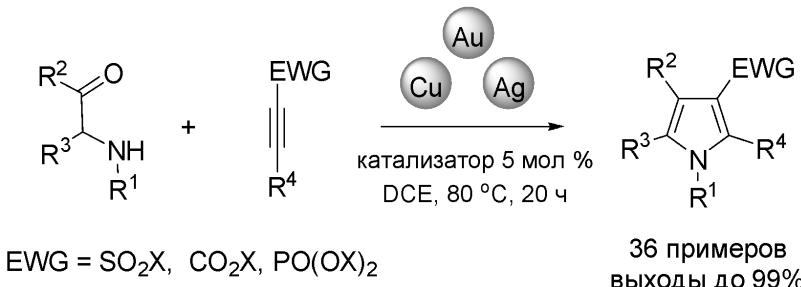


Схема 1 - Катализируемое металлами 11-группы (3+2) аннелирование  $\alpha$ -аминокетонов и электронодефицитных алкинов

### Литература

1. A. Arcadi. Chem. Rev. 2008, 108, 3266.
2. A. S. K. Hashmi, G. J. Hutchings. Angew. Chem. Int. Ed. 2006, 45, 7896.
3. V. Bhardwaj, D. Gumber, V. Abbot, S. Dhiman, P. Sharma. RSC Adv. 2015, 5, 15233.
4. A. Domagala, T. Jarosz, M. Lapkowski. Eur. J. Med. Chem. 2015, 100, 176.

ГЕТЕРОБИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОЙ МИГРАЦИИ ДВОЙНОЙ СВЯЗИ

Студент 2 курса (магистратура) Кошелев И.В.<sup>1,2</sup>

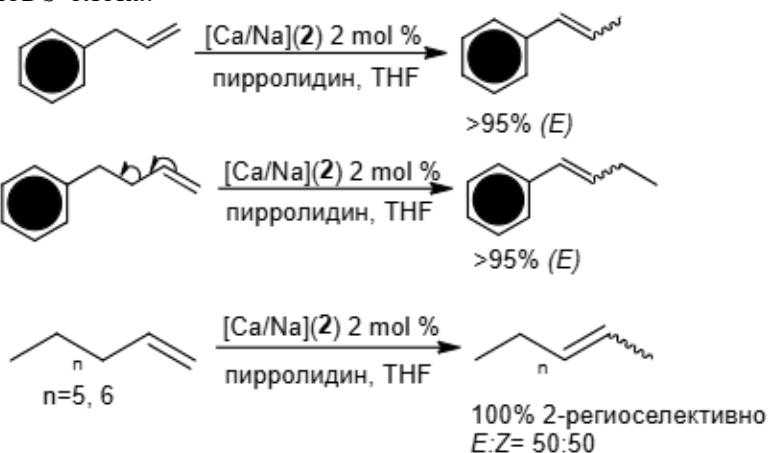
Руководитель к.х.н. Селихов А.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт металлогорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН

<sup>2</sup>ННГУ им. Н. И. Лобачевского, Химический факультет

*kiv.type@yandex.ru*

Интернальные олефины, в особенности, природные фенилпропеноиды, являются фундаментальными строительными блоками в современном органическом синтезе и важнейшим сырьём для химической технологии. Интернальные олефины — более ценные продукты и кратно превосходят по стоимости терминальные региоизомеры (от 5 до 50 раз). Многие фенилпропеноиды обладают ценной биологической активностью и могут использоваться в качестве лекарственных средств и пестицидов. В настоящей работе предложена новая катализитическая система для миграции двойной связи на основе комплексов металлов *s*-блока.



На первом этапе были получены и структурно охарактеризованы гетеробиметаллические *ate*-комплексы кальция бензидильным анионом с катионами калия и натрия в качестве противоионов:  $\{[(p-t\text{BuC}_6\text{H}_4)_2\text{CH}]_3\text{Ca}\}\text{K}$ (1),  $\{[(p-t\text{BuC}_6\text{H}_4)_2\text{CH}]_3\text{Ca}\}\text{Na}$ (2), а также бензидильные производные калия и натрия  $\text{A}[(p-t\text{BuC}_6\text{H}_4)_2\text{CH}]$  ( $\text{A}=\text{Na, K}$ ) в виде аддуктов с TMEDA и/или диэтиловым эфиром. Далее был проведён скрининг каталитической активности, в ходе которого установлено, что биметаллические *ate*-комплексы демонстрируют более высокую каталитическую активность и дают лучшие результаты в реакциях миграции двойной связи по сравнению с монометаллическими аналогами. В результате, разработана эффективная каталитическая система для *E*-стереоселективной изомеризации терминальных олефинов в интернальные на основе комплекса 2: реакция протекает с близким к количественному выходом, при этом достигается высокий избыток *E*-изомера (>95%). Гомоаллилбензолы в тех же условиях претерпевают двойную изомеризацию. Также, впервые была проведена моноизомеризация терминальных  $\alpha$ -олефинов с участием комплексов непереходных металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант №23-73-10148).

РАЗРАБОТКА МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВИРУЕМОГО  
КОНЬЮГАТА ХЛОРИНА С АНТРАЦИКЛИНОМ  
Студент 2 курса (магистратура) Медведев Д.Ю.

Руководитель д.х.н. Грин М.А.

Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
[dy.medvedev@mail.ru](mailto:dy.medvedev@mail.ru)

На сегодняшний день химиотерапия остается одним из ведущих методов лечения онкологических заболеваний. Наряду с очевидные преимущества химиотерапии в борьбе с раком, ее применение ограничено в ряде случаев выраженным побочными эффектами, связанными с неселективным воздействием химиотерапевтических препаратов на здоровые клетки [1]. В связи с этим методы локального и контролируемого воздействия на опухолевые ткани, в частности, фотодинамическая терапия (ФДТ), становятся все более востребованными в современных схемах лечения онкологических заболеваний. ФДТ характеризуется малой инвазивностью, доступностью, минимальными побочными эффектами и отсутствием серьезных осложнений, свойственных классическим подходам. Тем не менее, существенным недостатком ФДТ является ограниченная глубина проникновения света в биологические ткани, что ограничивает ее применение лечением поверхностно локализованных новообразований [2].

Целью настоящей работы являлся синтез и изучение биологической активности коньюгатов на основе производного хлорофилла *a* и доксорубицина, поскольку последний представляет собой весьма эффективный химиотерапевтический агент, широко применяемый в современной медицинской практике для лечения ряда онкологических заболеваний. Для снижения системной токсичности антрациклина в разрабатываемом коньюгате был использован дисульфидный линкер. Это обусловлено тем, что в опухолевых клетках часто наблюдается повышенная экспрессия глутатиона, играющего ключевую роль в защите от окислительного стресса, а также известной лабильностью дисульфидных связей в его присутствии. Данная стратегия позволяет реализовать цитотоксический эффект доксорубицина преимущественно в опухолевом микроокружении, минимизируя воздействие на здоровые ткани.

Для практической реализации данной стратегии была разработана синтетическая схема получения коньюгатов типа хлорин-линкер-доксорубицин. Структура впервые полученных соединений была исследована с помощью комплекса ФХМА.

Для оценки биологической активности синтезированных соединений были проведены исследования темновой и фотоиндуцированной цитотоксичности *in vitro* на клетках аденокарциномы молочной железы человека (линия MCF-7). Изучение внутриклеточной локализации коньюгатов было осуществлено посредством конфокальной микроскопии. Результаты продемонстрировали, что дисульфид-содержащий коньюгат более цитотоксичен по сравнению только с хлориновым ядром (почти в 3 раза эффективнее), а также значительно превосходит в эффективности доксорубицин (более чем в 10 раз), что подтверждает преимущества коньюгации и применения дисульфидного линкера. Конфокальная микроскопия подтвердила эффективность стратегии: в отсутствие облучения, для коньюгата с нерасщепляемым линкером флуоресценция антрациклина в ядре не наблюдалась, тогда как для дисульфид-содержащего коньюгата отмечена интернализация хлорина в цитоплазме, а доксорубицина – в ядре.

Литература

1. M. Grin, N. Suvorov, P. Ostroverkhov, V. Pogorilyy, N. Kirin, A. Popov, A. Sazonova, E. Filonenko, *Biophysical Reviews*. 2022, 14(4), 941-963.
2. G. Gunaydin, M. E. Gedik, S. Ayan, *Frontiers in Chemistry*. 2021, 9, 691697.

ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОГО РИСКА НА ОСНОВЕ  
ПИРАЗИНОВОГО КАРКАСА

Студент 1 курса (магистратура) Портнов С.В.<sup>а,б</sup>

Руководитель Шуваев А.Д.<sup>б</sup>

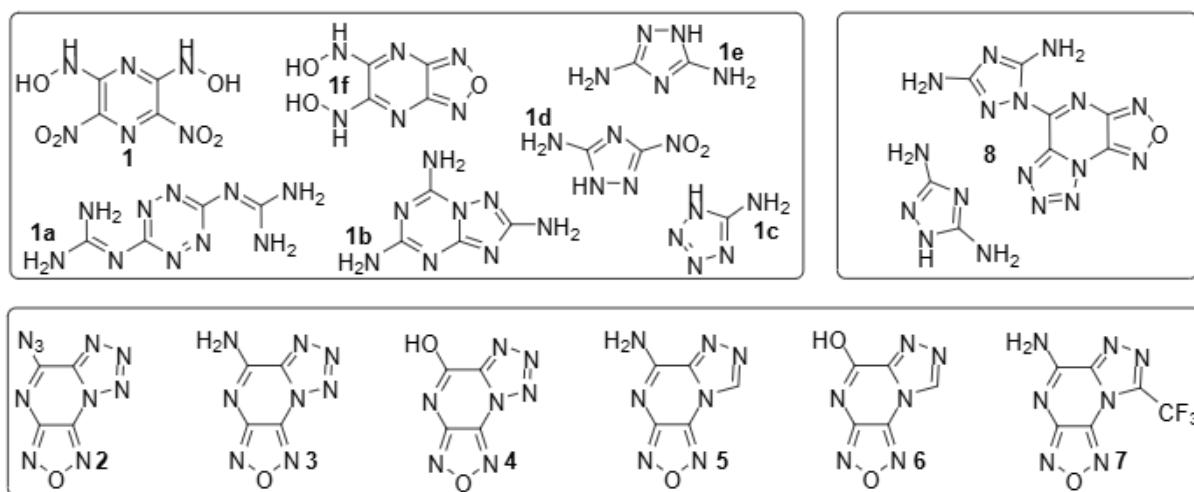
<sup>а</sup>НИУ ВШЭ, Факультет Химии

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

*sv\_portnov@mail.ru*

Энергоемкие соединения исторически являются объектом повышенного интереса и предметом особенно пристального внимания со стороны исследователей в области органической химии. Разработка синтетических подходов к созданию высокоэнергетических материалов нового поколения, в дополнение к сугубо фундаментальной задаче развития научного знания, обладает и весомой практической значимостью. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый учеными в соответствующей области за последние десятилетия, задача создания сбалансированных материалов, сочетающих хорошую энергоэффективность и повышенную безопасность использования остается актуальной.

Целью данной работы являлась разработка эффективных и простых подходов к созданию новых энергоемких веществ, содержащих пиразиновый структурный блок. В процессе реализации удалось найти и оптимизировать пути к получению ранее не исследованных и не описанных производных пиразина группы энергонасыщенных функциональных материалов. Рассматриваемые вещества являются представителями различных классов энергоемких материалов и репрезентируют наиболее популярные синтетические стратегии к получению передовых высокоэнергетических молекул: последовательная трансформация гетаренового каркаса с введением эксплозофорных фрагментов (2,6-дигидроксиламино-3,5-динитропиразин 1); конструирование полициклических архитектур (тетразоло[1,5-а]/1,2,4-триазоло[3,4-а]фуразано[3,4-е]пиразины 2-4 и 5-7 соответственно); создание композиций с высоким вкладом невалентных взаимодействий (молекулярные комплексы на основе 2,6-дигидроксиламино-3,5-динитропиразина 1a-f; сокристалл 8 на основе тетразоло[1,5-а]фуразано[3,4-е]пиразинового остова). Специальные свойства полученных молекулярных систем варьируются в широком диапазоне и, вкупе с обширными возможностями дальнейшей модификации, позволяют создавать материалы с заданными свойствами.



БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ДИАМИНОКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ  
БНЗТ АГЕНТОВ

Студентка 4 курса (бакалавриат) Рябчикова М.Н.

Руководитель к.х.н. Нелюбин А.В.

НИУ «Высшая школа экономики»

*ryabchikovaarita@gmail.com*

В-нейтронозахватная терапия (БНЗТ) представляет собой перспективный метод лечения злокачественных образований, на данный момент существуют два препарата, одобренных FDA, первый из которых, борфенилаланин, имеет такие недостатки, как низкая массовая доля бора в молекуле, а также малая растворимость препарата в воде. Второе соединение – боркаптат натрия, лишено этих недостатков, но его накопление происходит посредством пассивного транспорта, что снижает селективность. Таким образом, было предложено создание конъюгатов клозо-додекаборатного аниона и различных производных диаминокислот в качестве векторных фрагментов. В ходе работы были получены производные на основе ряда гомологичных диаминокислот, таких как диаминопропановая и диаминобутановая кислоты, лизин и орнитин, а также аминофенилаланина, разработана и оптимизирована методика их получения, для всех синтезированных соединений была исследована биологическая активность *ex vivo*.

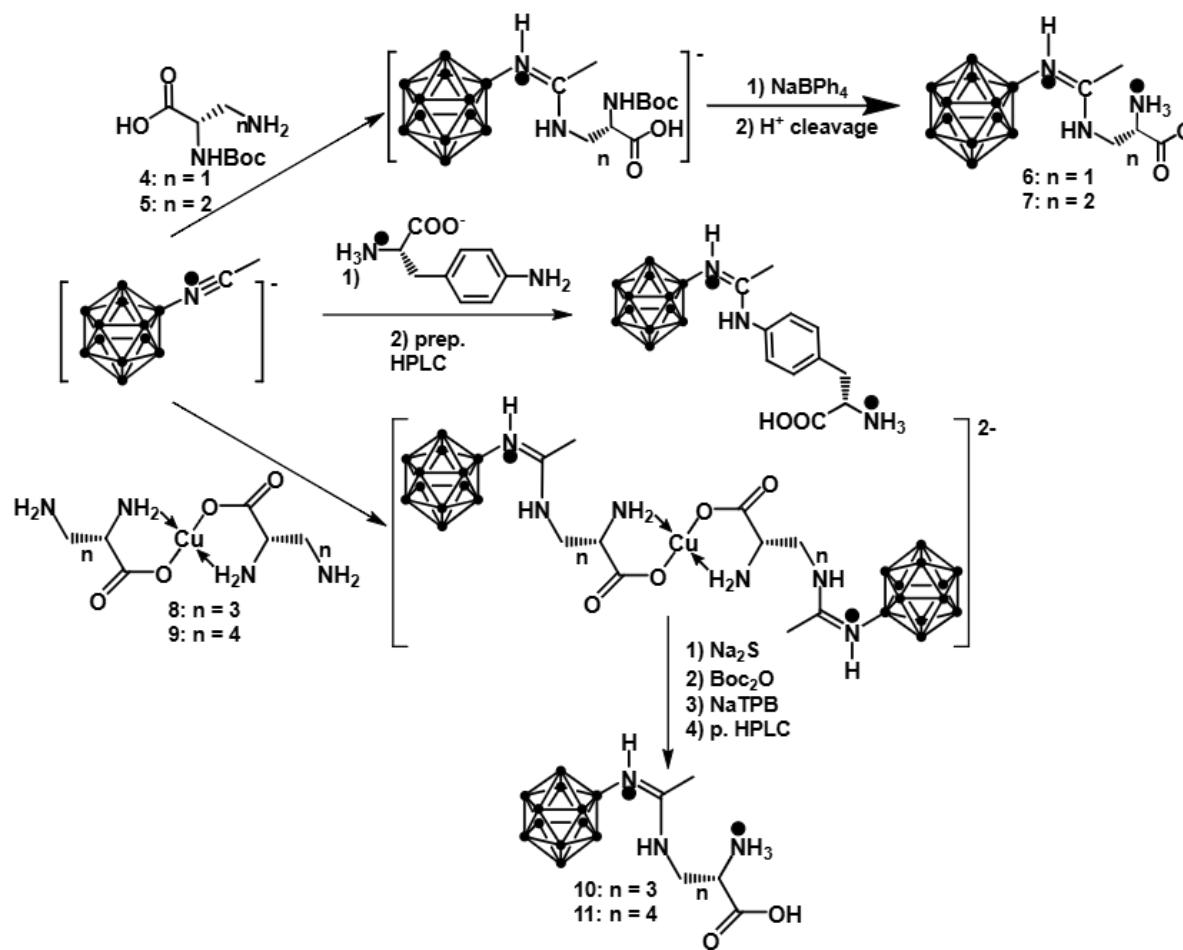


Рисунок 1 - Схема синтеза групп производных диаминокислот

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда  
Проект № 24-13-00295

# НОВЫЙ ХЛОРИН С РАЗВЕТВЛЕННЫМ ПОЛИАМИНОМ И ЕГО ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ

Студентка 1 курса (магистратура) Сафонова Е.А.

Руководитель к.х.н. Суворов Н.В.

МИРЭА-Российский Технологический университет

kat.safonova2017@yandex.ru

На данный момент рост устойчивости бактерий к антибиотикам вынуждает ученых искать альтернативные методы лечения бактериальных инфекций. Одним из возможных путей решения возникшей проблемы является применение фотодинамической терапии (ФДТ) для инактивации патогенов, в том числе их мультирезистентных штаммов. В основе метода ФДТ лежит способность молекулы фотосенсибилизатора (ФС) возбуждаться определенной длиной волны, в результате чего происходит генерация активных форм кислорода, способных к окислению жизненно важных внутриклеточных структур бактерий. Одними из наиболее перспективных ФС для ФДТ являются производные природных хлоринов, которые обладают низкой системной токсичностью и биосовместимостью. На сегодняшний день в клинической практике применяются ряд производных хлорина  $e_6$  и  $r_6$ , однако их потенциальное использование в антимикробной ФДТ имеет ряд ограничений ввиду низкой восприимчивости ряда бактерий к данным молекулам. Для наилучшего транспорта ФС через клеточную стенку патогенов применяется подход введения в состав макроцикла положительно заряженных групп, аминов, аминокислот и пептидов [1,2]. В настоящей работе нами был получен ФС 3 на основе триметилового эфира хлорина  $e_6$  1, в состав пиррола А которого был введен фрагмент разветвленного тетраамина (Схема 1). В ходе предварительной оценки биологической активности, было показано, что соединение 3 обладало большей фотоиндуцированной цитотоксичностью в отношении как, так и грамотрицательных бактерий по сравнению с исходным ФС 1.

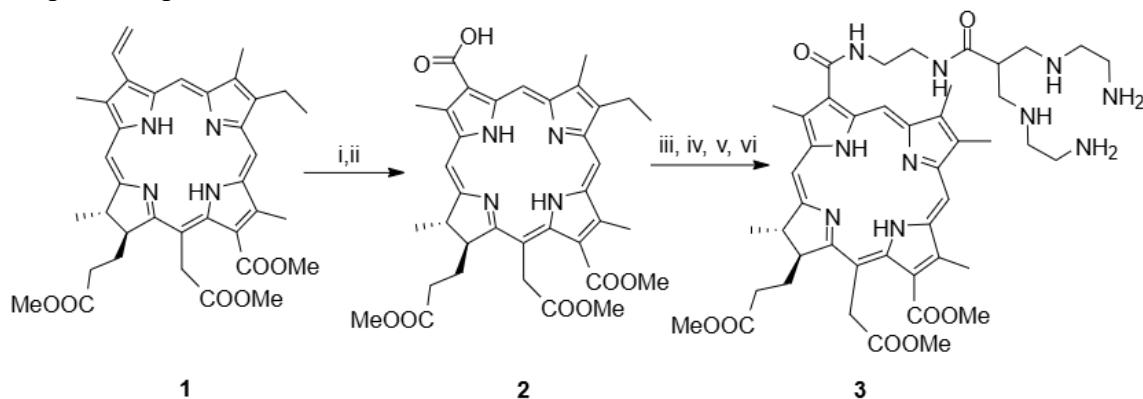


Схема 1- Реагенты и условия: (i)  $OsO_4$ ,  $NaIO_4/H_2O$ , ТГФ, Ar, 0.75 ч, 20 °C; (ii) ТГФ,  $NH_2SO_2OH$ , ДМСО,  $H_2O$ ,  $NaClO_2/H_2O$ , 0.5 ч, 20 °C; (iii) HBTU,  $Et_3N$ , ДМФА, Ar, затем  $BocNH-CH_2-CH_2-NH_2$ , 0.3 ч, 20 °C; (iv) 10%  $CF_3COOH/CH_2Cl_2$ , Ar, 0.5 ч, 20 °C; (v) ДМФА,  $C_{28}H_{52}N_4O_{10}$ , HBTU,  $Et_3N$ , Ar, 12 ч, 20 °C; (vi) 50%  $CF_3COOH/CH_2Cl_2$ , Ar, 0.5 ч, 20 °C, затем  $Na_2CO_3/H_2O$ .

## Литература

1. Suvorov N., Pogorilyy V., Diachkova E. et al., *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22(12), 6392.
2. Sperandio F., Huang Y. Y., Hamblin M.R., *Recent Pat. Antiinfect. Drug Discov.*, 2013, 8(2), 108.

ОЗОНОЛИЗ СОЕДИНЕНИЙ С КРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С=Н: ИССЛЕДОВАНИЕ  
ПРЕВРАЩЕНИЙ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ИНТЕРМЕДИАТОВ

Студентка 4 курса (специалитет) Слигузова Д.Ю.

Руководители к.х.н. Фоменков Д.И., Будехин Р.А.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН

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

*dashasliguzova@yandex.ru*

Озонолиз соединений, содержащих двойные связи углерод-азот, изучен значительно менее детально по сравнению с классическим озонолизом алкенов, в частности в контексте синтеза органических пероксидов. Открытие К. Грисбайма, постулировавшее образование единственного пероксидного интермедиата (карбонил оксида) при озонолизе оксимных эфиров, ознаменовало значительный прорыв в направленном синтезе несимметричных 1,2,4-триоксолановых систем (озонидов) [1]. В дополнение, недавно было установлено, что озонолиз соединений, содержащих  $C=N$  фрагмент, в спиртовых растворах является селективным подходом к синтезу другого класса органических пероксидов – алcoxигидропероксидов [2].

В настоящем исследовании установлена принципиальная возможность нуклеофильного перехвата карбонил оксидного интермедиата, генерируемого при озонолизе  $C=N$  связи в семикарбазонах, гидропероксидными соединениями – нетривиальным классом нуклеофильных агентов. На основе открытой реакции разработан трехкомпонентный метод синтеза труднодоступных несимметричных биспероксидов, селективный синтез которых ранее не представлялся возможным. Данное исследование является первым примером успешного синтеза несимметричных биспероксидов, основанном на озонолизе связи  $C=N$  (рис. 1).

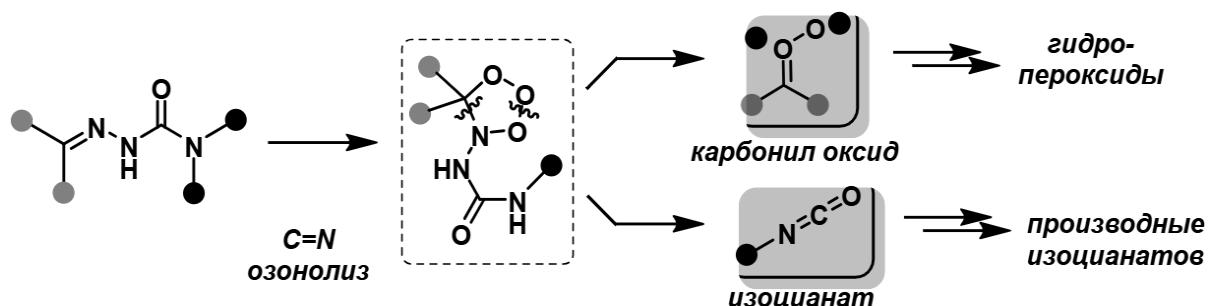


Рисунок 1 - Озонолиз семикарбазонов в присутствии нуклеофилов.

Кроме того, данная работа открывает новые горизонты в синтетическом потенциале озонолиза  $C=N$  фрагмента и расширяет его за пределы химии органических пероксидов. Было обнаружено, что азотсодержащий фрагмент молекулы семикарбазона при расщеплении двойной связи углерод-азот под действием озона превращается в изоцианат, который способен претерпевать дальнейшие превращения с образованием широкого ряда продуктов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № FFZZ-2024-0001).*

Литература

1. Griesbaum, K., Ovez, B., Huh, T. S., Dong, Y., *Liebigs Annalen*. 1995. 1995(8), 1571.
2. Yaremenko, I.A., Fomenkov, D.I., Budakhin, R.A., Radulov, P.S., ... Terent'ev, A.O., *J. Org. Chem.* 2024. 89(8), 5699.

# СИНТЕЗ И МАСС-СПЕКТРОСКОПИЯ ПРОИЗВОДНЫХ

## ГЕКСААЗАИЗОВЮРЦИАТА

Студентка 6 курса (специалитет) Тинякова Е.С.

Руководитель к.х.н Юдин Н.В.

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

*tin5202@mail.ru*

Более 30 лет назад Нильсеном были синтезированы первые представители нового класса каркасных соединений - 2,4,6,8,10,12—гексаазаизовюрцитана (ИВ).

Одним из магистральных направления исследования производных ИВ является решение одной из главных проблем современной химии энергетических материалов: создание соединений, сочетающих рекордную мощность CL-20 с приемлемой безопасностью и стабильностью. Замена одну или несколько нитрогрупп в структуре CL-20 на другие эксплозиформные заместители может позволить получить вещества с высокими физико-химическими характеристиками и взрывчатыми свойствами [1]. Кроме того, в последние годы производные ИВ заинтересовали исследователей как потенциальные биологически активные вещества. В ИПХЭТ СО РАН и НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга проведен цикл исследований ряда 4 и 4,10-производных ТАИВ, найден ряд перспективных соединений, среди которых следует отметить тиовюрцин, обладающий анальгетической активностью [2].

Важным аспектом понимания свойств как CL-20, так и его аналогов, является исследование процессов их термического разложения и фрагментации молекулы под воздействием различных факторов. В данной работе стояла задача разработки маршрута синтеза и получения малодоступных производных, содержащих заместители в положениях 2,4,8,10, их хромато-масс-спектроскопический анализ с определением путей фрагментации методом диссоциации вызванной соударением (CID). Для решения этой задачи использован классический подход, основанный на введении и замене защитных групп.

На примере 2,6,8,12-тетрабок-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана и 4,10-динитро-2,6,8,12-тетрабок-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана показана возможность полной или частичной ее замены на хлорацетильную группу. Показано, что для таких соединений, в условиях CID, первично происходит элиминирование нитрогрупп, в дальнейшем наблюдается отщепление третбутильного фрагмента от третбутоксикарбонильных групп. Для N-хлорацетил-гексаазаизовюрцитанов маршрут фрагментации включает элиминирование HCl. Показана возможность нуклеофильного замещения хлора на азид в N-хлорацетил-гексаазаизовюрцитанов с получением соответствующих 2,6,8-замещенных ацетилазидо-гексаазаизовюрцитанов . На примере 4,10-динитро-2,8-дibок-6,12-диацетил-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана показана возможность замены третбутоксикарбонильной группы на тринитроэтильную в положениях 2 и 8, обнаружена побочная реакция замены одной из ацетильных групп на тринитроэтильную. Показано, что для N-тринитроэтил- гексаазаизовюрцитанов, в условиях ионизации электораспылением, характерно последовательное элиминирование азотистой кислоты от молекулярного иона.

### Литература

1. Sinditskii Valery P., Yudin Nikolai V., Serushkin Valery V., et al. CL-20 analogues: Structure - Thermal stability/decomposition mechanism relationships // Energetic Materials Frontiers. – 2024. –V 5, № 1, p. 27-40
2. Крылова С.Г., Лопатина К.А., Зуева Е.П., и др. Производное гексаазаизовюрцитана — новый анальгетик для купирования хронического болевого синдрома на примере экспериментального ревматоидного артрита. Российский журнал боли. – 2020. – Т.18. - №3. –С. 5-10.

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

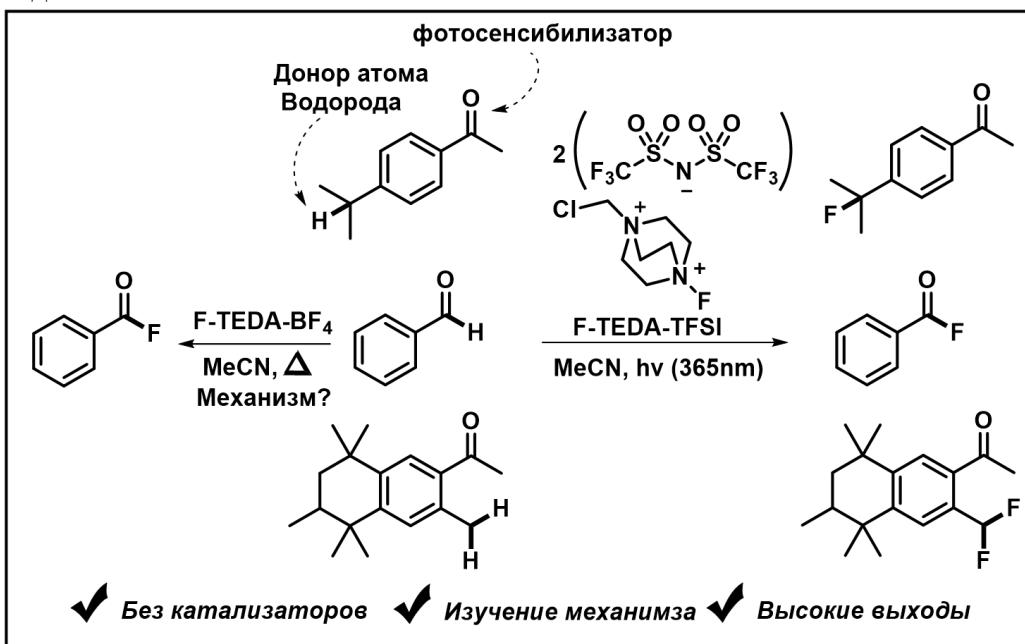
Студент 4 курса (специалитет) Черновский Н.<sup>1,2</sup>, Заикин П. <sup>1</sup>

Руководитель Заикин П.А.

<sup>1</sup> НИОХ СО РАН, <sup>2</sup> НГУ,

*n.chernovskii@g.nsu.ru*

Фторорганические соединения находят множество применений в фармацевтической и агрохимической отрасли<sup>1,2</sup>, что рождает постоянный спрос в развитии подходов введения фтора в органические молекулы, среди которых отдельным направлением является гемолитическое С-Н фторирование, преимущественно развитое за последние 10 лет<sup>3</sup>.



Разработан метод фотохимического фторирования неактивированных С-Н связей ароматических карбонильных соединений в отсутствие фотокатализаторов посредством инициации карбонильной группой субстрата<sup>4</sup>. Реакции характеризуются высокими выходами, а также удельными выходами в единицу времени в единицу объема (STY) и квантовыми выходами. Механизм превращений изучен методами формальной и конкурентной кинетики, а также с корреляционным анализом. Обнаружена возможность протекания аналогичной реакции в мягких термических условиях. Механизм был изучен на модельном субстрате. Реакция имеет первый порядок по фторирующему реагенту и нулевой по альдегиду, что описывается кинетикой цепных реакций при стационарной скорости инициации.

## Литература

1. Inoue M., Sumii Y., Shibata N., ACS omega, 2020, 5, 10633
2. Fujiwara T., O'Hagan D., Journal of Fluorine Chemistry, 2014, 167, 16.
3. Szpera R. et al., Angewandte Chemie International Edition, 2019, 58, 14824.
4. Chernovskii N., Zaikin P., Chemrxiv, 2024, 10.26434/chemrxiv-2024-r4bzn-v2

НОМИНАЦИЯ I  
ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ

ХИМИЯ ПОЛИМЕРОВ И КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ КАУЧУКА НА МОРФОЛОГИЮ И СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА

Студент 1 курса (магистратура) Губанков А.Д.<sup>1</sup>

Руководитель д.х.н. Шибреева Л.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

E-mail: [propanik3@yandex.ru](mailto:propanik3@yandex.ru)

В настоящее время активно разрабатываются композиционные материалы на основе биоразлагаемых пластиков, таких как полилактид (ПЛА), с включением эластомерных добавок для улучшения эксплуатационных характеристик и повышения биодеградируемости. Такие материалы находят применение, в частности, в сельском хозяйстве [1]. В связи с этим изучение влияния различных типов каучуков на свойства полимерных композиций на основе ПЛА представляет собой важную задачу в создании новых биоразлагаемых материалов.

Цель данной работы – установить основные закономерности влияния различных эластомеров на морфологию, структуру и свойства композиционных материалов на основе ПЛА.

В рамках исследования были получены композиции полилактида (ПЛА) с эластомерами, такими как натуральный каучук (НК), бутадиен-нитрильный каучук (СКН) и бутадиеновый каучук (СКД), в соотношении 90/10 по массе растворным методом, растворитель – хлороформ. Из полученных растворов методом электроформования (ЭФВ-процесс) были изготовлены нетканые волокнистые матрицы. ЭФВ-процесс – это простой и удобный метод получения полимерных волокон, широко применяемый как в промышленности, так и в лабораторных условиях [2]. Полученные волокнистые материалы исследовались методами оптической микроскопии, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), ИК-спектроскопии, рентгенодифракционного анализа (РДА).

Результаты исследований показали, что введение каучуковой компоненты в матрицу полилактида приводит снижению температуры стеклования на 2-5°C и увеличению степени кристалличности ПЛА, а также приводит к изменениям в морфологии нетканых волокнистых материалов. Показано, что при добавлении 10 мас.% НК и СКД имеет место «бисерная» структура волокон, а при введении СКН сохраняется нитевидная структура.

Таким образом, в работе методом электроформования были получены образцы нетканых волокнистых материалов на основе полилактида с различными каучуками, изучены их морфология и структура, а также сделаны предположения относительно межфазного взаимодействия полилактида и каучуков.

## Литература

1. Подзорова М.В., Тертышная Ю.В., Варьян И.А. Полимерные экоматериалы сельскохозяйственного назначения с добавлением натурального каучука // Вестник аграрной науки. 2022. 3(96). 51-58.
2. Tertyshnaya Y., Karpova S., Moskovskiy M., Dorokhov A. Electrospun Polylactide/Natural Rubber Fibers: Effect Natural Rubber Content on Fiber Morphology and Properties // Polymers. 2021. 13. 2232.

# ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА НА СТРУКТУРУ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ППК-МоO<sub>x</sub>

Студент 1 курс (магистратура) Куткин А.Р.<sup>1</sup>

Руководитель к.ф.-м.н. Вдовиченко А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>«РТУ МИРЭА – Российский технологический университет» Институт тонких химических технологий имени М.В.Ломоносова, Москва

<sup>2</sup> НИЦ «Курчатовский институт», Москва

E-mail: alekseykytkin@gmail.com

Современные исследования активно направлены на разработку функциональных материалов с управляемыми характеристиками. Особое внимание уделяется нанокомпозитам, сочетающим органические полимерные матрицы и неорганические компоненты. Примером таких систем служат композиты на основе поли-пара-ксилилена (ППК), известного биосовместимостью, барьерными характеристиками и диэлектрическими свойствами, и оксида молибдена (МоO<sub>x</sub>), обладающего каталитической активностью, сенсорными и полупроводниковыми свойствами, включая эффект резистивного переключения. Несмотря на многочисленные исследования полимерно-неорганических нанокомпозитов, механизмы влияния параметров синтеза на морфологию, распределение наночастиц MoO<sub>x</sub> в матрице ППК и их фазовый состав остаются малоизученными.

Целью данной работы является изучение влияния параметров синтеза на структуру и свойства нанокомпозитов ППК-МоO<sub>x</sub>. Для решения поставленной цели был проведен синтез нанокомпозитов методом криохимического твердофазного синтеза с различной концентрацией неорганического наполнителя в двух технологических режимах: низкотемпературном и высокотемпературном, а также был проведен комплексный анализ структуры и оптических свойств нанокомпозитов при помощи методов микроскопии, УФ-спектроскопии, ИК-спектроскопии, термогравиметрического анализа, атомно-силовой микроскопии.

По полученным результатам было отмечено, что стандартный низкотемпературный синтез не дает возможности получать нанокомпозиты без дефектов структуры с высокой степенью наполнения, в то время как высокотемпературный синтез позволяет получать сплошные тонкопленочные нанокомпозиты без нарушения структуры. Также было отмечено отсутствия влияния температуры на структуру неорганического наполнителя в составе нанокомпозита (рисунок 1).

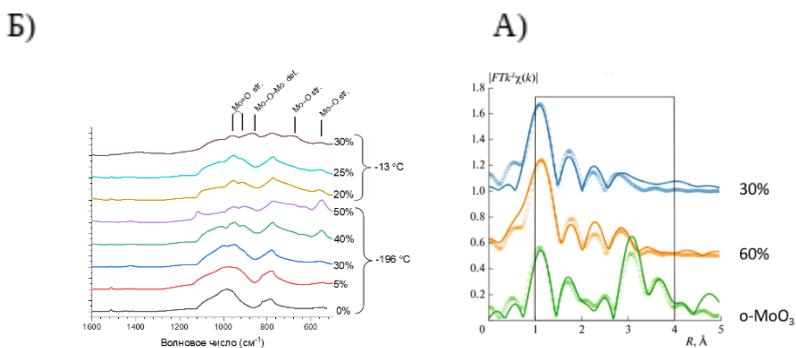


Рисунок 1- а) ИК-спектры композитов, синтезированных при -13 и -196°C б) Фурье-трансформанта EXAFS спектра композитов, синтезированных при -196 °C и стандарта o-MoO<sub>x</sub> [1]

## Литература

1. Несмелов А.А., Малахов С.Н., Чвалун С.Н. и др. Хим. физ. 2023, 42, 7, 50.

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ДЛЯ ДОСТАВКИ АУКСИНОВ ДЛЯ РОСТА РАСТЕНИЙ

Студентка 2 курса (магистратура) Ли В.А.

Руководитель к.х.н. Колосова О.Ю.

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

Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмиянова РАН

*victoria121601@gmail.com*

В последние годы гидрогелевые материалы находят всё более широкое применение в сельском хозяйстве, в частности для борьбы с эрозией почв и повышения фитопродуктивности растений. Гидрогели способствуют сокращению потерь урожая, снижению эрозии и вымыванию плодородного слоя почвы [1].

Криогели поливинилового спирта (ПВС) – физические макропористые гетерофазные студни, получаемые методом замораживания-оттаивания растворов ПВС [2]. Данные полимерные структуры могут служить носителями ауксинов – растительных гормонов, регулирующих рост и развитие растений.

В частности, в исследовании были получены криогели ПВС, сформированные с добавками индолил-3-уксусной и индолил-3-масляной кислот в основной и солевой в виде калиевых солей формах. Для полученных образцов оценены теплостойкость и модули упругости, а также изучена динамика высвобождения растительных гормонов из гелевой матрицы в водное окружение.



Рисунок - График зависимости модуля Юнга при одноосном сжатии (E) образцов КГПВС от концентрации внесённой добавки индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и калиевой соли ИУК

В ходе исследования показано, что криогели поливинилового спирта, сформированные с добавками ауксинов, сохраняют упругие и теплофизические свойства. Высвобождение веществ в водное окружение из гелевой матрицы протекает свободно и без диффузионных препятствий.

Таким образом, криогели ПВС с добавками ауксинов представляют собой перспективный тип гидрогелей, которые могут эффективно использоваться в сельском хозяйстве для улучшения фитопродуктивности растений.

Литература

1. Seeponkai N., Khammuang K., Fuggate P., Seephonkai P. JAPS, 2023, 140 (2), e53311.
2. Лозинский В.И. Успехи химии, 1998, 67 (7), 641-655.

# ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ, ОБРАЗОВАННЫХ ИЗ

АЛЮМОФОСФАТНЫХ МАТРИЦ

**Студентка 5 курса (специалитет) Перова В.С.**

Руководитель к.х.н. Родионова А.А.

*PXTU им. Д. И. Менделеева*

*perova.perovsk2018@yandex.ru*

На данный момент в России реализуется проект по созданию пункта глубинного захоронения высокоактивных отходов (ВАО) на участке «Енисейский» Нижнеканского массива. Безопасное обращение с ВАО требует их размещения в условиях герметичной изоляции, которая достигается природными и инженерными барьерами безопасности (ИББ). Одним из ИББ является консервирующая алюмофосфатная стекломатрица, которая нашла промышленное применение для иммобилизации ВАО. В случае разгерметизации ИББ существует риск попадания радионуклидов в среду вмещающих пород и их дальнейший перенос в окружающую среду в коллоидной форме, обладающей высокой подвижностью. Изучение стабильности коллоидных систем важно для точного прогнозирования миграции радионуклидов в коллоидной форме и оценки безопасности глубинного захоронения ВАО.

Целью работы является установление зависимости стабильности коллоидных систем, образованных из алюмофосфатных матриц, от времени контакта матриц с раствором деионизированной воды и модельным раствором подземных вод участка «Енисейский», а также от ионной силы растворов.

Объектами исследования являлись образцы натрийалюмофосфатной (далее NAP) и натрийалюможелезофосфатной (далее NAfp) стекломатриц с составами, мол. %  $40\text{Na}_2\text{O}-20\text{Al}_2\text{O}_3-40\text{P}_2\text{O}_5$  и  $40\text{Na}_2\text{O}-10\text{Al}_2\text{O}_3-10\text{Fe}_2\text{O}_3-40\text{P}_2\text{O}_5$ . Для исследования коллоидных систем было проведено выщелачивание стекол NAP и NAfp в растворах деионизированной воды и модельном растворе подземных вод в течение длительного времени (до 60 дней) при  $70^\circ\text{C}$  с соотношением твердой и жидкой фазы 0,1 г/мл. Стабильность коллоидов и их размеры исследовали методом динамического светорассеяния (Malver ZETASIZER nano-ZS, Malvern).

На основании проведенных исследований выявлены зависимости стабильности коллоидов в выщелатах алюмофосфатных матриц от ионной силы растворов. На примере выщелатов из стекломатрицы NAP установлено, что увеличение ионной силы приводит к уменьшению стабильности коллоидных систем. В случае выщелатов из NAfp матрицы четкой зависимости не выявлено, так как рост ионной силы со временем контакта раствора был незначительный, что связано со стабилизирующей ролью железа в структуре стекла, которая препятствует выходу основных компонентов матрицы в раствор и увеличению ионной силы. Установлено, что дисперсные системы, образованные из NAP, являются более стабильными в сравнении с NAfp в течение 35 дней контакта матриц с модельным раствором подземных вод, значения  $\xi$ -потенциала для NAP составили порядка  $|40|$  мВ. Однако, в деионизированной воде коллоиды, образованные из стекломатрицы NAP, теряют свою стабильность из-за увеличения ионной силы раствора по сравнению с коллоидами матрицы NAfp, которые обладают высокой устойчивостью со значениями  $\xi$ -потенциала  $|35|$  мВ в течение 42 дней. Отмечено, что с течением времени в модельных растворах значения среднего гидродинамического радиуса коллоидов, образованных из матриц NAP и NAfp, уменьшаются до 200 и 100 нм, что указывает на возможность миграции данных частиц в среде подземного захоронения.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 25-27-00380 (<https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2025.102.legacy/13764312>).*

ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО НУКЛЕОТИДА НА СВОЙСТВА  
НАНОКЛАСТЕРОВ ЗОЛОТА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЦИТРАТНЫМ МЕТОДОМ  
Студентка 2 курса (специалитет) Перфильева Д.А.

Руководитель к.ф.-м.н. Карпушкин Е.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
*PerfilevaDaria@yandex.ru*

Нанокластеры золота (НК Au) примечательны тем, что для них не характерно явление поверхностного плазмонного резонанса, но могут быть флуоресцентными. Оптическими свойствами НК Au можно управлять, изменения природу восстановителя и стабилизатора, а также другие условия их синтеза.

Особый интерес привлекают НК Au, стабилизированные нуклеотидами, благодаря потенциальной биосовместимости и возможности дополнительной функционализации. Несмотря на достигнутый в последние годы прогресс в изучении таких НК Au, остаются не до конца ясными причины того, что восстановление цитратом натрия приводит к образованию флуоресцентных НК именно в присутствии производных аденина. Чтобы ответить на этот вопрос, важный для понимания механизма образования и разработки методов получения НК Au с заданными свойствами в присутствии олигонуклеотидов и нуклеиновых кислот, в данной работе мы изучили строение и оптические свойства НК Au, синтезированных из  $\text{HAuCl}_4$  цитратным методом в присутствии различных индивидуальных нуклеотидов (аденозин-5'-монофосфат (AMP), гуанозин-5'-монофосфат (GMP) и цитидин-5'-монофосфат (CMP) натрия) и их смесей. Использованный для синтеза цитратный буферный раствор выступал одновременно в роли восстановителя и регулятора pH.

Наиболее сильной флуоресценцией ( $\lambda_{\text{возб}} 365$  нм) обладали НК Au, стабилизированные чистым AMP. Восстановлением в присутствии CMP образовались НК, обладающие лишь чрезвычайно слабой флуоресценцией, а в случае GMP были получены не НК, а более крупные частицы золота. При использовании бинарных смесей стабилизаторов AMP–CMP и AMP–GMP интенсивность флуоресценции снижалась при уменьшении содержания AMP, причем в случае CMP ослабление эмиссии было пропорционально мольной доле CMP, а в случае GMP этот эффект был более выражен: уже при соотношении нуклеотидов 1:1 флуоресценция практически исчезает.

В работе впервые продемонстрирована возможность постсинтетической замены нуклеотидов в стабилизирующей оболочке НК Au. Так, выдерживание НК, стабилизированных AMP (НК\*AMP), в избытке CMP при комнатной температуре приводит к ослаблению флуоресценции образца, причем этот эффект усиливается при изменении pH раствора от 3.7 до 5.6. Обратный обмен при выдерживании НК\*CMP в избытке AMP протекает в меньшей степени, лишь при pH 4.6–5.6 и только при нагревании. Выдерживание НК\*AMP в избытке GMP также приводит к частичной замене стабилизирующего НК лиганда. Таким образом, AMP и CMP связываются с поверхностью НК со сравнимой силой, а связывание GMP заметно слабее, что и объясняет закономерности, обнаруженные при синтезе НК Au в присутствии индивидуальных нуклеотидов и их смесей.

**ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ  
ПОЛИДИМИТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТА И ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ И  
КОНСТРУИРОВАНИЕ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ БИОСЕНСОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ**  
**Студент 4 курса (бакалавриат) 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*

Полидиметиламиноэтилметакрилат (ПДМАЭМА) представляет собой функциональный полимер. Его третичные аминогруппы в заряженном состоянии способны недеструктивно связывать биомолекулы с противоположным зарядом. Этот полимер также проявляет стимулчувствительность, т. е. способность обратимо изменять свой гидрофильно-гидрофобный баланс в зависимости от условий окружающей среды (температуры, pH, состава растворителя). Эти свойства позволяют ему легко адаптироваться к поверхностям различной природы (включая и проводящие), что открывает широкие возможности для модификации им поверхностей электродов (золото, графит). Поэтому двухстадийная адсорбция полимера и фермента может стать перспективным подходом к формированию биосенсорных покрытий для аналитических устройств, востребованных в медицине, пищевой промышленности и экологическом мониторинге.

Целью данной работы стало изучение условий формирования и свойств полимер-ферментных покрытий, образованных термо- и pH-чувствительным линейным полимером (ПДМАЭМА) и модельным ферментом глюкозооксидазой (ГО).

Формирование и свойства полимерных и полимер-ферментных плёнок на модельных поверхностях (золото, графит) были исследованы методами пьезоэлектрического микрозвзвешивания с мониторингом диссипации и атомно-силовой микроскопии (АСМ). Показано, что ПДМАЭМА формирует наноразмерное, устойчивое и «жёсткое» покрытие в незаряженном состоянии (pH 10). Отмечено, что при pH 7 его ионогенные группы приобретают положительный заряд и в этих условиях способны связывать значительные количества ГО (pI 4,2). Обнаружено, что при адсорбции ПДМАЭМА в сильногидрофобизованном состоянии (pH 10, 40°C) образуется многослойная плёнка, что можно объяснить продолжительным и частично необратимым осаждением агрегатов. Более того, толщина высущенной полимерной плёнки и «влажная» масса связанной ею ГО больше при 40°C, чем при 25°C.

На основе знаний, полученных двумя предыдущими методами, были созданы реальные биосенсорные системы. На поверхности планарных графитовых электродов, предварительно модифицированной пероксидчувствительным медиатором (наночастицами MnO<sub>2</sub>), была проведена последовательная адсорбция ПДМАЭМА (pH 10, 25 или 40°C) и ГО (pH 7, 25°C). Методом амперометрии для полученных биосенсоров определены хорошие аналитические характеристики по  $\beta$ -D-глюкозе, а именно высокая операционная стабильность (-0,1%) и чувствительность ( $4 \cdot 10^{-2}$  [25°C] и  $7 \cdot 10^{-2}$  [40°C] A·M<sup>-1</sup>·cm<sup>-2</sup>), низкий предел обнаружения (0,2 [25°C] и 0,1 [40°C] мкМ), а также широкий линейный диапазон (до 300 мкМ). Заметим, что чувствительность биосенсорной системы выше в том случае, когда полимер адсорбировали при повышенной температуре, что согласуется с данными пьезоэлектрического микрозвзвешивания с мониторингом диссипации и АСМ.

СИНТЕЗ НОВЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ  
СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫХ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО  
РЕАКЦИИ ПИРСА-РУБИНШТЕЙНА

Студент 1 курса (магистратура) Тюлькин А.А.<sup>1</sup>

Руководитель к.х.н. Темников М.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский физико-технический институт

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН

*andrew.tiulkin2016@gmail.com*

Сверхразветвленные полиорганосилоксаны (СРПОС) привлекают ученых своими уникальными свойствами, однако классические методы их получения являются малоперспективными из-за возникновения побочных реакций. Более предпочтительным способом получения СРПОС реакция Пирса-Рубинштейна, за счет малого количества побочных реакций, в сравнении с классическим методом конденсации аллокси групп в кислой среде. Реакция Пирса-Рубинштейна основана на взаимодействии аллокси-групп (Si-OAlk) и гидридных групп (Si-H) в присутствии кислоты Льюиса – трис(пентафторфенил)борана (BCF), образующего с гидридом комплекс. Наиболее часто используются мономеры вида R-Si(OAlk)<sub>2</sub>H.

Целью данной работы является синтез сверхразветвленных полиорганосилоксанов по реакции Пирса-Рубинштейна с последующей химической модификацией по реакции гидротиолирования для получения амфи菲尔ных структур, потенциально имеющих поверхностно-активные свойства.

Для получения сверхразветвленных полиорганосилоксанов по реакции Пирса-Рубинштейна нами был синтезирован новый мономер PhSi(OEt)<sub>2</sub>SiOSiMe<sub>2</sub>H, который является мономером АВ<sub>2</sub>-типа. Силоксановый спейсер в мономере помог избежать ограничений по молекулярной массе, описанных в литературе.

Полученный СРПОС имел концевые этокси-группы которые были блокированы по реакции Пирса-Рубинштейна винилдиметилсиланом для получения функциональных групп на периферии полимера, что позволило в дальнейшем модифицировать полимер по реакции гидротиолирования.

В качестве модификатора был выбран семизвездный полиэтиленгликоль с тиольной группой, который был синтезирован из коммерчески доступного аллил-полиэтиленгликоля.

Полученные модифицированные СРПОС являются амфи菲尔ными за счет привитых гидрофильных хвостов и гидрофобного полимерного «ядра». Поверхностно-активные свойства были изучены при помощи тензиометра вращающейся капли. Полученные значения межфазного натяжения были проанализированы и сравнены с другими кремнийорганическими поверхностно-активными соединениями.

Было установлено, что полученные модифицированные сверхразветвленные системы обладают поверхностно-активными свойствами наименьшей критической концентрацией мицеллообразования (ККМ) составившей 0,00726 массовых процента в сравнении с другими кремнийорганическими соединениями, а поверхностная активность наблюдалась даже при концентрации 0,0002 массовых процента.

Таким образом в нашем исследовании был разработан новый подход для синтеза сверхразветвленных полиорганосилоксанов, который позволил обойти ограничения, описанные в литературе, а также получить функциональные СРПОС и модифицировать их по реакции гидротиолирования для получения новых соединений с уникальными поверхностно-активными свойствами, который может применяться в различных областях.

МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ В  
МЕЗОПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ  
МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Студент 3 курса (специалитет) Храмцовский А.С.

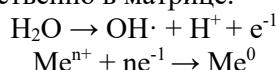
Руководитель к.х.н. Аржакова О.В.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

arteh0511@gmail.com

В работе представлен новый «зеленый» и экологически чистый метод синтеза нанокомпозитов полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) с наночастицами Pd и Pt. Полученные наночастицы, обладают особыми электронными, оптическими и магнитными характеристиками благодаря малому размеру и большой площади поверхности [1]. Метод основан на импульсном механохимическом восстановлении в режиме реологического взрыва и исключает использование токсичных химических восстановителей и стабилизаторов.

Синтез включает: формирование мезопористых матриц ПЭВП (пористость ~45%) по методу крейзинга [2], импрегнирование их прекурсорами ( $\text{PdCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{H}_2[\text{PtCl}_6] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) и кратковременное импульсное механическое воздействие ( $5 \cdot 10^{-7}$  с, 3 ГПа) в установке высокого давления [3]. Это воздействие индуцирует твердофазное *in situ* восстановление ионов  $\text{Pd}^{2+}$  и  $\text{Pt}^{4+}$  до металлического состояния непосредственно в матрице.



Подтверждено формирование поликристаллических наночастиц Pd и Pt средним размером 2-4 нм, равномерно распределенных в ПЭВП (ПЭМ, электронография) (рис. 1). Ключевое преимущество метода – восстановление протекает за счет энергии импульса (генерация сольватированных электронов из гидратных оболочек и/или радикалов при разрыве связей в полимере), без применения внешних химических реагентов.

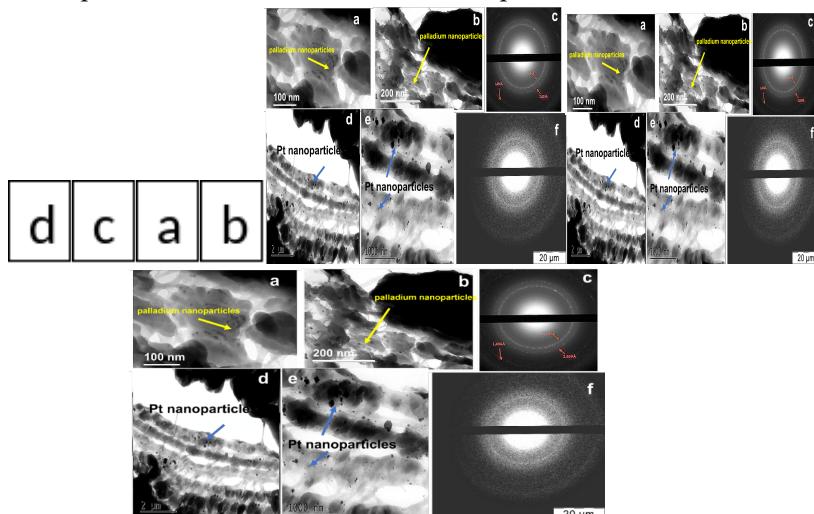


Рисунок 1 - (ПЭМ) микрофотографии нанокомпозиционных материалов на основе мезопористого ПЭВП и наночастиц палладия (а) и платины (с) после реологического взрыва и соответствующие электронограммы (б для Pd, и д для Pt).

Литература

1. Boita J. et al. Observing pt nanoparticle formation at the atomic level during polyol synthesis // Physical Chemistry Chemical Physics. 2014. Vol. 16, № 33. P. 17640–17647.
2. Yarysheva A.Y. et al. Biaxial tensile drawing of poly(ethylene terephthalate) via environmental crazing as a method for creating a porous structure // Polymer (Guildf). Elsevier Ltd, 2018. Vol. 158. P. 243–253.
3. Александров А.И., Шевченко В.Г., Озерин А.Н. РЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ В ПОЛИЭТИЛЕНЕ С РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНОЙ ЦЕПИ // Высокомолекулярные соединения А. The Russian Academy of Sciences, 2021. Vol. 63, № 1. P. 36–40.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ  
СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА С  $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ И ОЛИГОМЕРНЫМИ  
ЧАСТИЦАМИ НА ЕГО ОСНОВЕ

Студент 5 курса (специалитет) Шариков С.В.

Руководители к.х.н. Ле-Дейген И.М., к.х.н. Скуредина А.А., Орлова П.Д.

МГУ имени М.В. Ломоносова

*ssharikov11@yandex.ru*

В настоящее время актуальной проблемой является обеспечение оптимального профиля высвобождения активных молекул из систем пероральной доставки лекарств. Остро эта проблема стоит для противоанемических препаратов, представляющих собой в первую очередь соединения железа. Они зачастую характеризуются пониженной растворимостью в средах, отличных от желудочной, что может приводить к снижению эффективности лекарственных препаратов на их основе. Одним из перспективных подходов к решению проблемы растворимости является комплексообразование малорастворимых солей железа (фумарата, пиофосфата, глюконата) с носителями-«контейнерами», хорошо растворимыми в воде [1]. Примером такого «молекулярного контейнера» может служить циклодекстрин (ЦД), а также сшитые олигомерные частицы на его основе. Благодаря тому, что размер внутренней полости циклодекстрина зависит от природы олигосахарида, возможно включение частиц самого разного размера, в том числе и соединений железа [2].

Целью данной работы являлось установление физико-химических закономерностей формирования комплексов соединений железа с  $\beta$ -циклодекстрином и олигомерными частицами на его основе.

В работе были синтезированы два типа сшитых полимера на основе натриевой соли сульфобутилового эфира  $\beta$ -ЦД (СБЭЦД). Их структура и адсорбционные свойства были подтверждены методом ИК-спектроскопии с преобразованием Фурье, а также сравнены с исходным СБЭЦД. Было определено, что сшивка ЦД в частицы увеличивает сорбцию солей железа в растворе. Однако существует верхняя граница сшивающего реагента, выше которой сорбция начинает падать. Она соответствует 4 мл сшивающего реагента – гексаметилендиизоцианата (ГМД). Полимер с более высокой степенью сшивки имел наименьшую способность к комплексообразованию, вероятно, из-за стерических ограничений. С увеличением количества ГМД доступность активных центров для взаимодействия с глюконатом железа уменьшалась. Это проявлялось в менее выраженных спектральных изменениях: пик колебаний карбоксильной группы глюконата железа присутствовал на спектрах при больших концентрациях частиц в растворе.

Полученные результаты открывают перспективы использования 3D-матриксных частиц на основе СБЭЦД для улучшения сорбции и доставки малорастворимых в воде соединений железа: глюконата и фумарата железа.

Литература

1. Orlova P., et al., Gels. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024, 10, 9. 564.
2. Liu L., et.al., J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem., 2002, 42, 1/2. 14.

НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ОСНОВНОЙ  
ОРГАНИЧЕСКИЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ

# РЕЛАКСАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Студентка 1 курса (магистратура) Акчуринова С.Р.

Руководитель д.т.н. Пешнев Б.В.

РТУ МИРЭА, Институт тонких химических

технологий им. М.В. Ломоносова

*uni.cellular@yandex.ru*

На данный момент возрастает процент добычи тяжёлых нефтей. Важной задачей становится разработка способов переработки высоковязкого сырья. Среди них перспективной является кавитационная обработка. Целью данной работы было исследование релаксации физико-химических свойств прямогонного мазута и структурных характеристик асфальтенов, выделенных из него после кавитационного воздействия.

После воздействия наблюдается релаксация параметров системы, что может влиять на эффективность технологии в промышленности [1]. Кавитационный эффект реализуется за счет схлопывания кавитационных полостей, локализованных на границе контакта сложных структурных единиц (ССЕ) [2], образованных смолами и асфальтенами, с низкомолекулярной углеводородной средой. Вследствие этого именно смолы и асфальтены подвергаются наиболее интенсивному термическому воздействию в момент схлопывания кавитационных пузырьков, что и влечет за собой изменение вязкостных свойств сырья.

Объектом исследования был выбран прямогонный мазут (ПМ), полученный на установке ЭЛОУ-АВТ-6, предоставленный АО «Газпромнефть – МНПЗ». Активацию сырья проводили в аппарате с вихревым слоем.

Кавитационная обработка привела к снижению вязкости, молекулярной массы, плотности и содержания асфальтенов при одновременном увеличении выхода легких фракций (<400°C). Такое изменение свойств объясняются разрушением структур при схлопывании кавитационных пузырьков на межфазных границах.

Наблюдалась релаксация параметров во времени. Кинематическая вязкость резко снижалась после обработки, но частично, не достигая исходных значений даже через 60 дней. Содержание асфальтенов первоначально уменьшалось, затем возрастало, что свидетельствует о реакциях уплотнения и стремлении системы вернуться к упорядоченному состоянию.

Рентгеноструктурный анализ показал снижение диаметра ароматического слоя ( $L_a$ ), высоты пачки ароматических слоев ( $L_c$ ), числа ароматических колец в слое ( $N_{oa}$ ), числа атомов углерода на ароматическую структуру ( $C_{au}$ ), ароматических слоев в кластере (M). Спектроскопия комбинационного рассеяния также показала деструкцию асфальтенов. Увеличение интенсивности пика D1 указывает на дефекты в структуре асфальтенов. Параметр неупорядоченности системы R1 первоначально возрос, затем снизился, отражая переход к более упорядоченному состоянию.

Особый интерес представляет превышение исходных значений средней молекулярной массы мазута и фракции 400-480°C после завершения основных релаксационных процессов. Этот факт указывает на качественное изменение состава системы, вероятно, связанное с образованием новых, более компактных ассоциатов асфальтенов с измененной структурной организацией.

## Литература

1. Д.В. Никишин, Б.В. Пешнев, С.И. Воробьев, А.И. Николаев, сб. тезисов докл. XII Рос. конф. 2021, 342.
2. З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев, Нефтяные дисперсные системы. 1990, 224.

ВЛИЯНИЕ РЕЦИКЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ СХЕМ  
РАЗНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СМЕСИ  
Н-БУТАНОЛ – ИЗОБУТАНОЛ – ВОДА

Студентка 1 курса (магистратура) Дроздова Д.С.

Руководитель д.т.н. Фролкова А.К.

Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, РТУ МИРЭА

[darya.drozdova03@mail.ru](mailto:darya.drozdova03@mail.ru)

Наиболее энергозатратными в технологиях органического и нефтехимического синтеза являются ректификационные процессы, направленные на выделение продуктов требуемой чистоты, непрореагировавшего сырья и т.п. Основная роль отводится изучению физико-химических свойств смеси, которые, в свою очередь, определяют структуру диаграммы фазового равновесия. Данные о структуре диаграммы, об изменениях внешних параметров (например, давления) системы определяют выбор методов разделения, которые могут быть использованы в схемах [1]. Чем сложнее диаграмма, тем больше термодинамических ограничений накладывается на процесс ректификации и тем больше число рецикловых потоков в схеме. Рециклы, в которые направляются составы, близкие к азеотропному или принадлежащие сепараторисе, являются вынужденными. В то же время в схемах используются и направленные рециклы (например, в процессах ЭР, ГАР, экстракции и др.), организация которых позволяет переводить конкретные составы в более благоприятную подобласть ректификации [2].

В данной работе будет рассмотрена возможность применения комплексов, основанных на сочетании ректификации, самопроизвольного расслаивания и направленных рециклов (по одному из чистых компонентов исследуемой смеси, азеотропу и органическому слою сепаратора) для снижения энергозатрат схем разделения смеси н-бутанол – изобутанол – вода.

Литература

1. А.К. Фролкова, Особенности ректификационного разделения многокомпонентных смесей. Тонкие химические технологии. 2008, 17, 2.
2. J.Leng, Design and optimization of energy-saving heterogeneous azeotropic distillation processes for the separation of ternary mixture of ethyl acetate/ n-propanol/water. Separation and Purification Technology. 2025, 359.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ  
ЦИКЛОГЕКСАНА ДО ЦИКЛОГЕКСАНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА

Студентка 5 курса (специалитет) Косицына А.В.

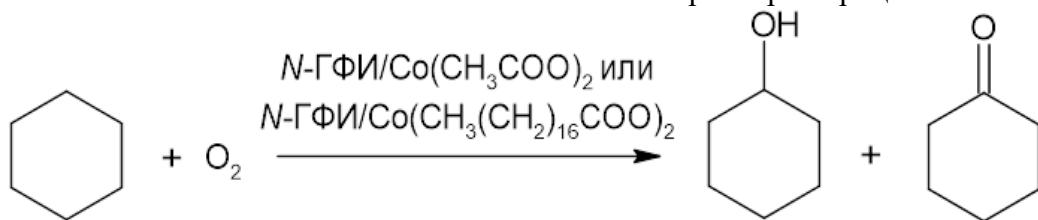
Руководители д.х.н. Курганова Е.А., Смуррова А.А.

Ярославский государственный технический университет  
kosit synanastya03@gmail.com

Циклогексанол и циклогексанон являются крупнотоннажными продуктами органического и нефтехимического синтеза. Они используются в производстве капролактама и адипиновой кислоты, из которых, в свою очередь, получают синтетические полиамиды – нейлон-6 и нейлон-6,6. В последние годы в области инженерии костной ткани интерес представляет поликапролактон – полимерный материал, получаемый на основе капролактама [1]. Помимо этого, циклогексанол применяют как стабилизатор и гомогенизатор для синтетических моющих эмульсий. Также он является эффективной добавкой в дизельном топливе, способствующей повышению экологичности выбросов. Циклогексанон используется в качестве растворителя лаков, синтетических смол, инсектицидов и гербицидов [2]. По данным на 2024 год циклогексанон входит в перечень критических комплектующих РФ.

Основным промышленным способом совместного получения циклогексанола и циклогексанона во всем мире является аэробное жидкотофазное окисление циклогексана, под действием нафтената кобальта. Существенными недостатками процесса является низкая конверсия 4-5 % и невысокая селективность 60-70 %. В результате образуется большое число побочных продуктов, требующих затрат на утилизацию. Таким образом, процесс характеризуется низкой эффективностью и высоким энергопотреблением. Тем не менее, технология окисления циклогексана за последние 50 лет не претерпела существенных изменений. В связи с этим актуальной задачей является повышение эффективности процесса путем введения в систему доступных катализаторов.

В работе предложен способ интенсификации окисления циклогексана, основанный на органокатализе смесью *N*-гидроксифталимида (*N*-ГФИ) с солями металлов переменной валентности. Определено, что использование двухкомпонентных катализаторов *N*-ГФИ/Co(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> и *N*-ГФИ/Co(CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COO)<sub>2</sub> позволяет увеличить конверсию циклогексана в 2.0-2.7 раз, при этом селективность образования циклогексанола и циклогексанона повышается на 25-35 %. Найдены условия достижения наибольших значений технологических параметров процесса.



Литература

1. Xue R. Polycaprolactone nanofiber scaffold enhances the osteogenic differentiation potency of various human tissue-derived mesenchymal stem cells / R. Xue, Y. Qian, L. Li, G. Yao, L. Yang, Y. Sun // Stem Cell Research & Therapy. – 2017. – V. 8(1). – P. 148.
2. Fisher, W.B. and Van Peppen, J.F., Cyclohexanol and cyclohexanone, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Kirk, R.E. and Othmer, D.F., Eds., New York: Wiley, 2001, 4th ed., vol. 7, pp. 425–428.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОР

Студентка 5 курса (специалитет) Селезнева Д.А.

Руководитель к.х.н. Пархомчук Е.В.

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН

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

Разработка и применение алюмооксидных материалов с иерархически организованной пористой структурой является перспективным направлением в материаловедении и катализе. В таких материалах взаимосвязанные поры различного диаметра выполняют комплементарные функциональные задачи. Для создания каналов используют порообразующие темплаты, например, полимерные микросфераы необходимого диаметра, которые механически смешивают с предшественниками и удаляют при прокаливании.

В рамках данной работы изучено влияние фазового состава и размера первичных частиц предшественников на текстурные характеристики конечного материала – оксида алюминия, получаемого с использованием полистирольных микросфер ( $D = 250$  нм). Дисперсные свойства предшественников определяли из рентгенофазового анализа по области когерентного рассеяния, текстурные характеристики  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – из данных ртутной порометрии образцов. Материалы, полученные из предшественников, характеризующихся бимодальным распределением частиц по размеру, обладают иерархической структурой пор: фактический объем пор соответствует теоретическому, распределение пор по размеру демонстрирует связанные перешейками макропоры, соответствующие размеру темплата. В свою очередь, мономодальное распределение частиц предшественника приводит к формированию иерархической структуры пор оксида алюминия только в том случае, когда размер частиц более 11 нм (Рис. 1). Наблюдаемый размерный эффект при формировании пористой структуры оксида алюминия связан как с избыточной энергией наночастиц, так и с разницей размеров между наночастицами и полимерными микросферами.

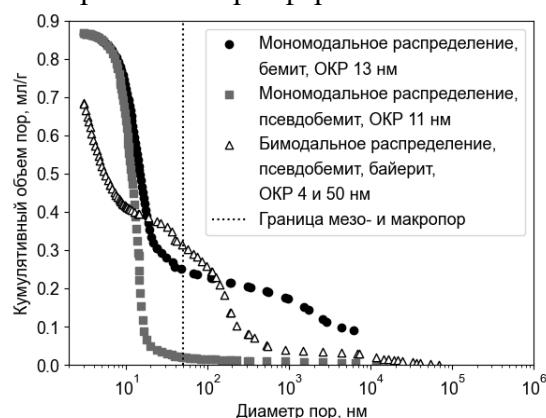


Рисунок 1 - Графики интрузии ртути в образцы  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , полученные из различных предшественников

Показано, что для получения оксида алюминия с иерархической структурой пор из предшественников с размером частиц менее 11 нм необходимо обеспечивать эффективное пространственное разделение наночастиц при формировании пасты путем значительного увеличения содержания темплата или временной технологической связки (воды).

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ДИХЛОРМЕТАНА ИЗ СМЕСИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Студентка 1 курса (магистратура) Шибаева В.В.

Руководитель д.т.н. Фролкова А.В.

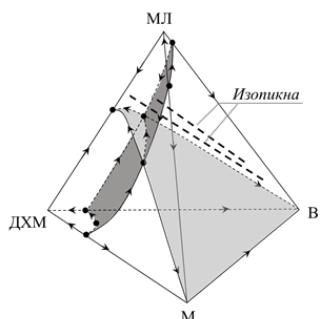
Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова, МИРЭА –

Российский технологический университет

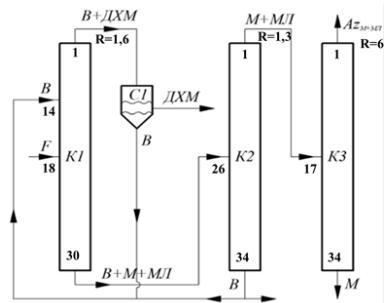
*victoria\_shi@mail.ru*

Использование в производстве некоторых фармацевтических препаратов таких растворителей, как метанол, дихлорметан, приводит к необходимости их утилизации в составе многокомпонентных сложных смесей с другими растворителями и/или тяжелыми химическими соединениями и побочными продуктами [1]. Регенерация данных растворителей из многокомпонентных водно-органических смесей позволяет решать проблему ресурсосбережения (возвращение компонентов в технологическую цепочку) и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду.

В настоящей работе предлагается технология регенерации дихлорметана (ДХМ) из смеси растворителей, содержащей также воду (В), метанол (М) и метилаль (МЛ). Состав смеси (% масс.): ДХМ – 44,91; М – 48,90; МЛ – 3,19; В – 3,00 (количество смеси 4418 кг/ч). Исследование фазового равновесия системы проводилось с использованием математического моделирования. На основе анализа структуры фазовой диаграммы (рисунок 1а) установлены следующие термодинамические ограничения на различные массообменные процессы: 1) наличие 5 бинарных и 3 тройных азеотропов, а также двух внутренних сепараторических многообразий (ограничения на процесс ректификации); 2) наличие двух изопикн (в четырехкомпонентной и в тройной системе ДХМ-МЛ-В) (ограничения на работоспособность жидкостного сепаратора, процесса экстракции).



(а)



(б)

Рисунок 1 - Структура фазовой диаграммы и схемы разделения смеси дихлорметан (ДХМ) – метанол (М) – вода (В) – метилаль (МЛ)

Вода в смеси обладает свойствами автоэкстрактивного-гетероazeотропообразующего агента. Данное свойство положено в основу разработки схемы разделения (рисунок 1б). Схема содержит три ректификационные колонны (К1-К3) и жидкостной сепаратор (С1). Число тарелок в колоннах, тарелки питания, а также флегмовые числа (R) приведены на рисунке. Чистота выделенных ДХМ и М соответствует ГОСТ.

*Работа выполнена при поддержке Гранта Госзадание РФ № FSFZ-2023-0003.*

Литература

1. M. Le Hir, *OPR&D*. 2021, 25, 469.

НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И  
МАТЕРИАЛОВ

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ Pd-Pt СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В  
РЕАКЦИИ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА  
Студентка 1 курса (магистратура) Борисова Д.А.

Руководитель к.х.н. Сукнёв А.П.

Новосибирский государственный университет  
Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН  
[dashenka.borisova04@mail.ru](mailto:dashenka.borisova04@mail.ru)

В последнее время вопрос загрязнения окружающей среды вызывает особое беспокойство. Одним из основных и вредных источников загрязнения воздуха являются выбросы летучих органических соединений (ЛОС), которые обладают канцерогенными и мутагенными свойствами и способствуют образованию озона и фотохимического смога. Наиболее эффективным методом нейтрализации ЛОС является каталитическое окисление, в ходе которого данные соединения преобразуются в менее вредные соединения в мягких условиях [1, 2].

Катализаторы, позволяющие проводить полное окисление ЛОС при более низких температурах, обычно содержат благородные металлы (Pt, Pd, Au и т.д) [2]. Относительно недавно силикатные стекловолокна начали использовать в качестве носителей для катализаторов в процессах каталитического окисления с целью решения различных экологических проблем. Это обусловлено их уникальными свойствами, такими как высокая термическая стабильность и механическая прочность, низкая плотность, оригинальная геометрическая форма и гибкость в организации структурированных слоев любой формы и т.д. Также одним из уникальных свойств стекловолокнистых катализаторов (СВК) является способность стабилизировать небольшие количества высокодисперсных нанокластеров переходных металлов (~0.01-0.02 %) в объёме стекловолокна [3]. Такие катализаторы, синтезированные методом ионного обмена, проявляют более высокую активность по сравнению с традиционными катализаторами [4].

В данной работе были синтезированы и испытаны в реакции глубокого окисления метана Pd-Pt стекловолокнистые катализаторы с различным соотношением и содержанием металлов в активном компоненте. Сравнение каталитической активности образцов проводили по температурам полупревращения, а также из оценок скоростей реакций. Наибольшую каталитическую активность показал биметаллический катализатор Pd-Pt/CB с соотношением металлов 3:1 и содержанием активного компонента 0,015 масс.%. Образцы были охарактеризованы физико-химическими методами, на основе которых были определены электронное состояние и строение частиц активного компонента, и их равномерное распределение на поверхности стекловолокон.

#### Литература

1. M.S. Kamal, S.A. Razzak, M.M. Hossain and et.al., *Atmos. Environ.*, 2016, 117.
2. G. Rochard, L. Olivet, M. Tannous and et.al, *Catalysts*, 2021, 1.
3. B.S. Balzhinimaev, E.A. Paukshtis, S.V. Vanag and et.al, *Catal. Today*, 2010, 151, 195.
4. Y.K. Gulyaeva, V.V. Kaichev, V.I. Zaikovskii and et.al, *Catal. Today*, 2015, 245, 139.

АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В СМЕШАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ НА  
ОСНОВЕ СЕРНОЙ И ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТ

Студент 4 курса (бакалавриата) Пизин М.М.

Руководитель к.х.н. Росляков И.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет наук о материалах

*pizinmm@my.msu.ru*

Пористые плёнки анодного оксида алюминия (АОА), получаемые анодированием металла в кислых электролитах, широко используются в науке и технике. Структура материала — вертикальные цилиндрические поры, образующие гексагональный массив лишь в узком диапазоне напряжений анодирования ( $U$ ). Параметры пористой структуры, например, расстояние между центрами соседних пор ( $D_{int}$ ), строго задаются величиной  $U$ . Как правило, пары «состав электролита – напряжение анодирования», приводящие к формированию упорядоченного гексагонального массива, подбираются эмпирически. Актуальным подходом к расширению диапазона  $D_{int}$  является анодирование алюминия в электролитах на основе смесей индивидуальных кислот.

Целью настоящей работы является направленный поиск условий анодирования для создания малодефектных пористых структур АОА с использованием в качестве электролита смеси серной и щавелевой кислот.

В качестве исходного материала использовали алюминиевые фольги толщиной 500 мкм и чистотой 99,999%. На предварительном этапе поверхность алюминия подвергали механической и электрохимической полировке. Анодирование проводили в двухэлектродной электрохимической ячейке при температуре  $\sim 1$  °С. Морфологию пористых пленок АОА исследовали методом растровой электронной микроскопии с последующей статистической обработкой полученных изображений.

В ходе работы, методом линейной вольтамперометрии проведен направленный поиск условий упорядочения пористой структуры АОА в ходе анодирования алюминия в электролите состава 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 0,3 М  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Показана высокая степень упорядочения (доля пор в гексагональном окружении  $\sim 85\%$ ) на верхней границе кинетического режима при напряжении 31,5 В, а также в режиме предельного диффузионного тока в диапазоне напряжений 80÷95 В (доля пор в гексагональном окружении более 80%). Анодирование алюминия в электролите указанного состава в диапазоне напряжений 80÷95 В позволяет получать упорядоченные пористые структуры с ранее не достижимыми значениями  $D_{int}$  – в диапазоне 113÷130 нм. Несомненным плюсом используемого смешанного электролита является высокая скорость роста АОА в диффузионном режиме  $\sim 200$  мкм/час.

Негативным моментом формирования АОА в режиме предельного диффузионного тока является необходимость плавного увеличения напряжения на начальной стадии анодирования из-за высокой плотности тока. Это приводит к невозможности формирования пористой структуры, упорядоченной по всей толщине (в том числе, с использованием классической методики двухстадийного анодирования). Для решения указанной проблемы, в работе предложена модифицированная методика двухстадийного анодирования, которая заключается в проведении в первой стадии в смешанном электролите 0,1 М  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 0,3 М  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  при напряжении 69÷80 В, а второй стадии – в электролите 0,3 М  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  при напряжении 41÷46 В. Данная методика позволяет получать упорядоченные по всей толщине пленки АОА (доля пор в гексагональном окружении  $\sim 80\%$ ) с  $D_{int}$  в диапазоне 100÷120 нм. При этом продолжительность первой стадии удалось сократить более чем на 90% по сравнению с классической методикой двухстадийного анодирования (проведение обеих стадий в одном электролите).

# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Студентка 2 курса (магистратура) Усачева У.О., Ковнер А.М.

Руководитель к.т.н. Воронков М. Е.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)

ul.usa4eva@yandex.ru, konversee@yandex.ru

Применение интенсификаторов помола – один из наиболее эффективных методов повышения производительности помола клинкера при производстве портландцемента. В настоящее время на рынке интенсификаторов помола наиболее распространены комплексные добавки («улучшители»), представляющие собой смесь аминных (ТПА, ТЕА и др.) соединений с присадками. Синтез аминоспиртов сложен и неэкологичен [1]. Потенциальными аналогами применяемым веществам могут выступить жирные кислоты, производимые из доступного растительного и животного сырья, с учетом их выраженных поверхностно-активных свойств. Таким образом, целью работы являлась оценка перспектив применения жирных кислот в качестве интенсификаторов помола.

В рамках выполнения работы определены оптимальные параметры помола портландцементного клинкера для лабораторного оборудования, установлены оптимальные дозировки масляной (МК), стеариновой (СК) и олеиновой (ОК) кислот в качестве интенсификаторов помола – 0,025% масс. Выбранная дозировка соотносится с промышленной практикой [2]. Проведены физико-механические испытания полученных цементов: определена нормальная густота цементного теста, сроки схватывания, прочность цементного раствора на сжатие и изгиб и др.

На рисунке представлены данные об эффективности применения кислот в качестве интенсификаторов помола в дозировке 0,025% от массы цемента в сравнении с контрольным составом (без применения интенсификаторов) и промышленным интенсификатором помола (ИП), представляющим собой смесь аминных ПАВ.

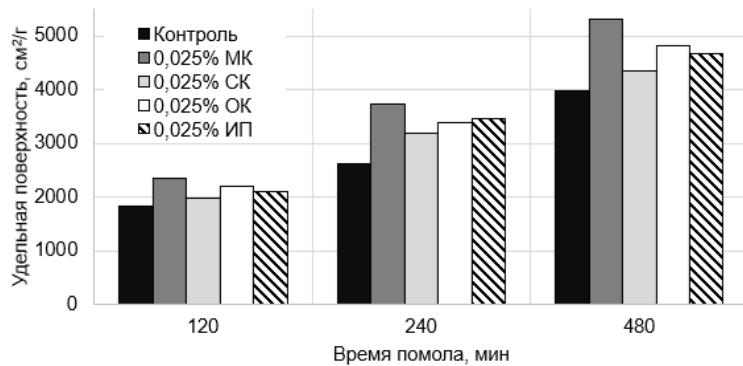


Рисунок - Зависимость удельной поверхности цемента от времени помола при применении интенсификаторов

## Литература

1. Д. В. Ломаченко, Интенсификация помола цемента с использованием добавки на основе отхода производства резорцина : автореферат на соискание степени кандидата технических наук; БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011.
2. Л. Д. Шахова, Р. А. Котляров, Е. С. Черноситова, Цемент и его применение. 2023, 1.

НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИМЕРОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ  
ОСНОВЕ

ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ  
ПРОДУКТОВ ГЛИКОЛИЗА ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА,  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ

**Студентка 1 курса (магистратура) Болотова Л.Д.**

Руководитель к.т.н. Панфилов Д.А.

*Санкт-Петербургский государственный технологический институт*

*(технический университет)*

*bolotova.lyubov1@yandex.ru*

В настоящее время одним из наиболее востребованных полимерных материалов является полиэтилентерефталат (ПЭТ), что обусловлено уникальным сочетанием его физических, химических и эксплуатационных свойств. В условиях растущего объема потребления данного полимера разработка эффективных методов его вторичной переработки становится актуальной научно-практической задачей. Наиболее перспективным методом утилизации ПЭТ является химический рециклинг, в частности гликолиз, позволяющий получать олигомерные продукты, которые после модификации различными соединениями, могут быть использованы для получения фотополимеризующихся композиций (ФПК), применяющихся в аддитивном производстве [1].

Целью работы является разработка и исследование ФПК на основе малеинатов – продуктов гликолиза вторичного ПЭТ.

В настоящем исследовании осуществлен процесс гликолиза вторичного ПЭТ в присутствии многоатомных спиртов (диэтиленгликоля и триэтиленгликоля), в мольном соотношении 1 : 6 по методике, представленной в работе [2]. В результате данной реакции и разной степени отгонки низкомолекулярных продуктов в процессе вакуум-перегонки были получены олигоэфирполиолы с различной среднечисловой молекулярной массой. Последующая модификация синтезированных соединений малеиновым ангидридом привела к образованию ненасыщенных полиэфиров, используемых в качестве основного компонента ФПК. Отвреждение данных композиций проводилось с использованием технологии 3D-печати.

Проведенные исследования показали, что отверженные образцы обладают высокой термической стабильностью (потеря массы образцов начинается при температуре 180–220 °C), средней прочностью (от 3,5 до 37,0 МПа) и имеют достаточно высокие значения кажущейся плотности (от 1185 до 1348 кг/м<sup>3</sup>). Благодаря указанным характеристикам полученные инновационные конструкционные материалы могут найти широкое применение в различных отраслях промышленности.

Установлено, что наибольшее влияние на свойства отверженных образцов оказывают концентрация активного мономера-разбавителя (ТГМ-3) в композиции, среднечисловая молекулярная масса олигомеров и природа многоатомного спирта, использовавшегося в процессе гликолиза ПЭТ. Полученные закономерности создают научную основу для получения материалов с заданными свойствами.

#### Литература

1. А. А. Муравский, С. А. Ивановский, И. М. Дворко, Н. А. Лавров, Пласт. массы. 2024, 3, 36.
2. Г. О. Сторожек, М. Б. Аликин, Д. А. Панфилов, Н. А. Лавров, И. М. Дворко, Пласт. массы. 2023, 5-6, 41.

КРИОСТРУКТУРИРОВАНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА СШИТЫЙ  
ВАНИЛИНОМ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Студентка 1 курса (магистратура) Делич М.

Руководители: к.б.н. Буторова И.А., д.х.н. Кусков А.Н.

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
[delicmasa2001@gmail.com](mailto:delicmasa2001@gmail.com)

Разработка новых полимерных материалов медико-биологического назначения является критическим фактором для прогресса в сфере здравоохранения. Поэтому целью данного исследования явилось получение нового макропористого криоструктурированного материала на основе хитозана.

В работе была разработана схема получения инновационного криоструктурированного материала на основе хитозана для дальнейших исследований и оценки его возможности биомедицинского применения. При разработке данной схемы получения, особое внимание было уделено характеристикам биополимера, выбору сшивающего агента, подбору количественного соотношения полимера и сшивающего агента, обеспечивающим получение необходимой структуры материала. Был использован хитозан с молекулярной массой более 200 кДа и степенью деацетилирования 97% без дополнительной очистки. В качестве сшивающего агента был выбран 3-метокси-4-гидроксибензальдегид (ванилин), поскольку он, в отличие от таких, описанных в литературе сшивающих агентов как диальдегиды или эпихлоргидрин [1], является нетоксичным, что исключительно важно при получении материалов медико-биологического назначения. Для создания трехмерной макропористой полимерной матрицы полученный раствор замораживали при -18°C, после чего сушили сублимационно. Структуру полученного криоструктурируата фиксировали посредством нагрева при 90 °C в течение 2 часов. При этом происходила химическая и межмолекулярная сшивка цепей хитозана ванилином за счет образование оснований Шиффа и дополнительных водородных связей.

Таким образом, нами был получен макропористый материал на основе биополимера хитозана, который может найти практическое применение в качестве основы для раневых покрытий и других изделий биомедицинского назначения.

Литература

1. Nikonorov V.V. et al., Polymer Science Series A, 2010, 52(8), 828–834.

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАОЛИНОВ В  
ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Студент 1 курса (магистратура) Зайцев С.С.

Руководитель к.х.н. Ковалева А.Н.

*РГУ МИРЭА, Институт ТХТ им. М.В. Ломоносова*

Среди материалов на основе полимеров, особый интерес вызывают полимерные композиционные материалы (ПКМ), основу которых составляют полимерные матрицы, в которые вводятся различные наполнители для улучшения свойств [1]. Основными усиливающими наполнителями ПКМ на основе эластомеров являются технический углерод (ТУ) и аморфный диоксид кремния, однако эти наполнители являются достаточно дорогими. Существуют также минеральные наполнители, которые дешевле ТУ и белой сажи, но они не обеспечивают повышение прочности и применяются, в основном, для незначительного улучшения технологических свойств [2].

В работах, проводимых на нашей кафедре было показано, что повышение уровня взаимодействия на границе полимер-наполнитель может приводить к повышению прочностных свойств [3]. Целью проведенной работы является исследование возможности улучшения прочностных показателей ПКМ на основе эластомеров, содержащих каолин, за счет повышения взаимодействия наполнителя с матрицей полимера.

В данной работе проведена модификация каолина КР-1 кипящим раствором щелочи с целью повышения количества гидроксильных групп на поверхности. Для полученного модифицированного наполнителя был исследован показатель его максимального содержания. Были изготовлены 4 смеси ПКМ разного состава. У полученных смесей исследовались динамические показатели и кинетика вулканизации.

Проведены физико-механические испытания вулканизатов смесей. Полученные в ходе исследования данные показывают, что введение агента сочетания в образцы с модифицированным каолином увеличивает показатель прочности на 52%, в то время как прирост данного показателя в образцах с исходным каолином составляет всего 6%.

Литература

1. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткарова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов // Технические науки. 2017. №10. С. 459-465
2. Резниченко Д.С., Симонов-Емельянов И.Д., Резниченко С.В. Усиление эластомерных композиционных материалов дисперсными наполнителями. Из прошлого в будущее // Каучук и резина – 2025: Традиции и новации. 2025 – с. 25-26
3. Куен Х.В. Усиление эластомерных материалов на основе ненасыщенных углеводородных каучуков минеральными наполнителями, содержащими оксиды кремния: диссертация на соискание ученой степени канд. тех. наук. – Москва, 2024. – 127 с.

РАЗРАБОТКА МИКРОИГЛ ДЛЯ БЕЗЫНЪЕКЦИОННОЙ  
МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Студентка 1 курса (магистратура) Карпова Е.В.

Руководитель к.фарм.н. Золотарева М.С.

Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, РТУ МИРЭА  
[grishina.kat2003@gmail.com](mailto:grishina.kat2003@gmail.com)

В настоящее время активно развивается направление по созданию различных типов микроигл (МИ) для доставки лекарственных препаратов и применения в медицинской диагностике. Гидрогелевые микроиглы являются минимально инвазивными и безопасными в использовании, поскольку изготовлены из нетоксичных биосовместимых полимеров [1]. Это делает их перспективным средством для забора биоматериала, в качестве которого может выступать межклеточная жидкость, так как она содержит те же профили аналитов, что и кровь [2]. Целью данной работы является разработка гидрогелевых микроигл для лекарственно-терапевтического мониторинга.

Для подбора состава были приготовлены гидрогелевые пленки из смесей высокомолекулярного (ХВМ) или среднемолекулярного (ХСМ) хитозана с поливиниловым спиртом (ПВС) в соотношениях по массе ХВМ/ПВС и ХСМ/ПВС 60/40 – 40/60 с шагом 5%. Для пленок были оценены прочность на сжатие и предельные степени набухания. Более высокие прочностные характеристики имеют составы, содержащие ХВМ, при этом прочность на сжатие увеличивается с повышением концентрации ПВС в составе гидрогеля. Составы ХСМ/ПВС проявляют более высокие по сравнению с ХВМ/ПВС степени набухания (1160% против 826%), однако плохо держат форму, что может оказаться на качестве МИ, поэтому для дальнейшей работы отобраны составы ХВМ/ПВС. Для пленок данного состава изучена сорбционная емкость на примере метиленового синего (МС), которая по экспериментальным данным уменьшается с повышением концентрации ПВС.

Для составов ХВМ/ПВС методом отлива из растворителя в формы под вакуумом были изготовлены гидрогелевые МИ, для которых оценивали геометрические параметры (световая микроскопия), степень усадки, глубина проникновения (на модели Парафильм®). Наилучшие показатели по глубине проникновения имеют составы 50/50-40/60 ХВМ/ПВС, так как проходят на глубину не менее 350 мкм, что коррелирует с результатами по прочности пленок и геометрическими параметрами МИ. Для МИ данных составов была оценена сорбционная емкость, которая уменьшается с повышением концентрации ПВС в составе гидрогеля: максимальное значение имеет состав 50/50 –  $2,11 \cdot 10^{-8}$  г МС/на иглу.

Таким образом, были разработаны гидрогелевые МИ с наиболее подходящим для лекарственно-терапевтического мониторинга составом 50/50 ХВМ/ПВС.

Литература

1. R. K. Parashar, Int. J. Drug Dev. & Res. 2019, 11, 67.
2. M. Friedel, I. A. P. Thompson, G. Kasting, R. Polksy, D. Cunningham, H. T. Soh, J. Heikenfeld, Nat. Biomed. Eng. 2023, 7, 1544.

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ  
ДИАНГИДРИДА 4,4'-(1,3-ФЕНИЛЕНБИС(ОКСИ))ДИФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И  
РАЗЛИЧНЫХ ДИАМИНОВ

Студент 1 курса (магистратура) Олейников М.О.

Руководитель к.х.н. Ильина М.А.

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический

университет), кафедра химической технологии полимеров

*falseiresync@gmail.com*

Пенополиимида являются лёгкими, термостойкими материалами, с высокими диэлектрическими, теплоизоляционными свойствами, стойкостью к растворителям и другими полезными свойствами. Различные атомы и группировки, находящиеся между ароматическими кольцами внутри используемых мономеров, называют «шарнирами». Их наличие, количество и род оказывают влияние на физико-механические свойства полученного материала.

В данной работе были синтезированы пенополиимида на основе 4,4'-(*m*-диоксифенилен)дифталевого диангидрида (здесь и далее – Р) и трёх диаминов: 4,4'-диаминодифенилового эфира (здесь и далее – ДАДФЭ), 4,4'-диаминодифенилметана (здесь и далее – ДАДФМ) и 1,6-гексаметилендиамина (здесь и далее – ГМДА). Проведен анализ структуры полиимида с применением современных методов анализа.

Синтезированные материалы отличаются высокой термостойкостью, характерной для полиимида, низкой плотностью и эластичностью. Максимальной температурой начала термодеструкции обладает пенополиимида Р-ДАДФЭ (558 °С). Замена шарнирного атома кислорода на углерод приводит к уменьшению температуры начала термодеструкции до 532 °С в случае пенополиимида Р-ДАДФМ, а введение алифатического звена снижает температуру начала термодеструкции до плюс 505 °С для Р-ДАДФМ-ГМДА.

Каждая плотность пенополиимида уменьшается в ряду Р-ДАДФЭ > Р-ДАДФМ > Р-ДАДФМ-ГМДА и составляет 12, 10 и 9,7 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Во всех трёх образцах наблюдается анизотропия пористой структуры. Наименьшая степень анизотропии отмечена у образца пены Р-ДАДФЭ: как площадь, так и размеры пор в поперечном и продольном сечениях близки друг к другу. Наибольшая анизотропия характерна для пенополиимида Р-ДАДФМ-ГМДА, что подтверждается механическими свойствами: напряжение при деформации 10% при сжатии 3.7-7.6, 9.7-11.5 и 4.6-11.7 кПа для Р-ДАДФЭ, Р-ДАДФМ и Р-ДАДФМ-ГМДА соответственно.

Применение различных диаминов позволило добиться разных свойств конечных материалов. Так, диамин ДАДФЭ обеспечил материалу наилучшие термические свойства, но при этом привёл к повышенному водопоглощению. Введение алифатического диамина ГМДА, напротив, способствовало получению более эластичного материала, однако с пониженными термическими характеристиками.

Материалы, полученные на основе 4,4'-(*m*-диоксифенилен)дифталевого диангидрида Р, оказались сопоставимыми по своим свойствам с материалами, синтезированными на основе более распространённых мономеров, что подтверждает перспективность его использования.

ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА  
ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА И ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ

Студент 1 курса (магистратура) Паутова А. А.

Руководители к.х.н. Малахов С. Н., к.х.н. Малахова Ю. Н.

МИРЭА — Российский технологический университет

[79096260812@yandex.ru](mailto:79096260812@yandex.ru)

В настоящие времена происходит активное развитие носимых электронных устройств, гибких датчиков и электродов, суперконденсаторов и др. Для их изготовления необходимы материалы, сочетающие в себе гибкость, малый вес и электропроводность. Также подобные материалы должны быть просты в производстве и недороги, поэтому в качестве основы целесообразно применение различных видов коммерчески доступного технического текстиля. Кроме того, дополнительные преимущества дает замена металлических проводящих компонентов на композитные или полностью органические. Среди обширного класса электропроводящих полимеров одним из наиболее удобных является полианилин, поскольку он сравнительно недорог, прост в синтезе и позволяет наносить проводящие покрытия *in situ* на различные непроводящие основы [1,2].

В этой связи, целью работы является создание электропроводящих текстильных материалов на основе полианилина и технического текстиля в форме нитей и тканей, а также исследование влияния условия синтеза проводящего полимерного покрытия на морфологию, структуру и свойства образцов.

Получение проводящего покрытия проводили методом окислительной полимеризации анилина при различных pH среды (сильнокислой, слабокислой и щелочной), концентрации реагентов и времени синтеза. Морфология, состав и структура были изучены с помощью методов ИК-спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа в больших углах, помимо этого была определена смачиваемость исходных полотен и электропроводность полученных материалов. Показано, что на первом этапе полианилин покрывает поверхность волокон тонким равномерным слоем (не более 200 нм), после чего на нем происходит формирование частиц различной морфологии в зависимости от кислотности используемой среды: в сильнокислой — гранулярная, в слабокислой — нановолокнистая и в щелочной — сферическая. Линейное сопротивление полученных материалов находится в диапазоне от 3 до 130 кОм/см, снижаясь по мере увеличения кислотности среды, времени синтеза и концентрации реагентов. Установлено, что в случае тканей и нетканых материалов критически важным фактором является их смачиваемость. Так, на гидрофобных материалах синтез идет лишь на верхних слоях волокон, что не позволяет достичь высокой проводимости, в то время как на влагопитывающих материалах синтез проводящего покрытия идет во всем объеме образца. Показана возможность использования полученных гибридных материалов в качестве гибких проводников тока в «умном» текстиле, датчиков для обнаружения аммиака, а также компонентов микробного топливного элемента.

Литература

1. M. Krifa, *Textiles*, 2021, 1, 2.
2. S. Bhadra, N.K. Singha, D. Khastgir, *Progress in polymer science*, 2009, 34, 8.

РАЗРАБОТКА СМЕСЕВЫХ ТВЁРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА И ГИДРИРОВАННОГО БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА.

Студент 4 курса (бакалавриат) Плякин Т. В., Иванов И. Д.

Руководитель к. х. н. Гайдадин А. Н.

Волгоградский государственный технический университет

*timophei18@gmail.com*

Целью работы является создание безопасных высокоэнергетических ( $>500$  Вт·ч/кг) литий-металлических аккумуляторов через разработку технологии синтеза квази-твёрдых полимерных электролитов (квази-ТПЭ) на основе композиций поливинилиденфторида (ПВДФ) и гидрированного бутадиен-нитрильного каучука (ГБНК). Актуальность исследования обусловлена необходимостью решения ключевых проблем современных литий-ионных систем: роста литиевых дендритов, пожароопасности жидких электролитов и ограниченного срока службы.

Существующие решения обладают большим недостатком в виде низкой ионной проводимости, которая не превышает  $10^{-4}$  См/см. Перспективным способом повышения ионной проводимости ТПЭ является использование смесей двух полимеров. Этот подход основан на формировании синергетических структур, усиливающих способность полимеров к сольватации ионов лития.

В исследованиях использовался ПВДФ марки Solef 5130 с молекулярной массой 1 000 000 а.е.м.; опытные образцы: ПВДФ-7 (70 000 а.е.м.) и ПВДФ-3 (30 000 а.е.м.). Также использовался гидрированный бутадиен-нитрильный каучук Z2020L. Источником ионов лития служила соль бис(трифторметансульфонил)имид лития (LiTFSI). Для создания растворов была использована смесь растворителей из диметилформамида и тетрагидрофурана. В качестве селективных растворителей использовались пропиленкарбонат и изопропил2,2,3,3-тетрофторпропилкарбонат.

Экспериментально установлено, что смешение ПВДФ марки Solef и ГБНК в соотношении 50:50 масс.% обеспечивает синергетическое увеличение ионной проводимости до  $2,15 \times 10^{-3}$  См/см, что в 1,86 раза превышает показатель монополимерного ПВДФ ( $1,16 \times 10^{-3}$  См/см) и в 15,5 раз – ГБНК ( $1,39 \times 10^{-4}$  См/см). Данный эффект объясняется формированиемnanoструктуры, где электроотрицательные группы макромолекул ПВДФ способствуют диссоциации солей лития, а гибкие цепи ГБНК с высоким содержанием нитрильных групп ( $>40\%$ ) усиливают сольватацию ионов  $\text{Li}^+$  и снижают общую кристалличность матрицы.

Критическим фактором повышения проводимости является применение селективных растворителей: введение 8–12% поликарбоната (ПК) в систему Solef/ГБНК увеличивает проводимость с  $7,98 \times 10^{-5}$  до  $5,0 \times 10^{-4}$  См/см даже при снижении общего содержания растворителя. Механизм основан на образовании стабильных комплексов ионов лития с селективными растворителями и пластификации полимерной матрицы, что снижает энергию активации транспорта ионов.

Научная новизна работы заключается в реализации комбинаторного подхода, включающего:

- Изучение пар ПВДФ/ГБНК с варьированием молекулярной массы;
- Использование селективных высококипящих растворителей (ПК) для обеспечения сольватации ионов лития;

Полученные результаты открывают путь к созданию нового поколения аккумуляторов с высокой энергоёмкостью и повышенной безопасностью, решая проблемы дендритообразования и термической нестабильности.

ПЬЕЗОФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОВОЛОКОННОГО  
КОМПОЗИТА ПВДФ/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>: ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ УЛЬТРАЗВУКА И ИСТОЧНИКА  
СВЕТА НА РАЗЛОЖЕНИЕ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО

Студентка 2 курса (магистратура) Рабаданова А.А.

Руководитель к.х.н. Оруджев Ф.Ф.

Дагестанский Государственный Университет, НИЛ Smart Materials Laboratory

*rabadanova.alinka@mail.ru*

В данной работе представлены результаты исследования высокоэффективного пьезофотокаталитического разложения органического загрязнителя с использованием композитов в виде нановолокон на основе поливинилиденфторида (ПВДФ), модифицированных наночастицами магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), синтезированных методом электропрядения. Полученные материалы характеризуются высокой однородностью и значительным преобладанием пьезоэлектрической  $\beta$ -фазы в полимерной матрице, что обуславливает их улучшенные пьезоэлектрические свойства. Введение наночастиц Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> в состав ПВДФ привело к существенному повышению эффективности в ходе каталитической деградации модельного органического загрязнителя – метиленового синего (МС). Максимальная эффективность деградации (93% за 60 минут) была достигнута при комбинированном воздействии света и ультразвука частотой 40 кГц.

Ключевым результатом является наблюдение выраженного синергетического эффекта пьезофотокатализа: константа скорости деградации в этом режиме на 13% превышала сумму констант скорости для раздельных процессов фотокатализа и пьезокатализа.

Исследование влияния частоты ультразвука выявило критическую зависимость эффективности процесса от кавитационных явлений. Анализ фотокаталитического процесса показал, что фотокатализ оказался менее эффективным, чем фотолиз (простое УФ-облучение без катализатора). Это снижение активности связано с эффектом экранирования света частицами катализатора и высокой скоростью рекомбинации фотогенерированных электронно-дырочных пар в композите. Тем не менее, общая пьезофотокаталитическая активность композитов PVDF/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> значительно превосходит, что убедительно подтверждает важность сочетания пьезоэлектрических свойств материала (для генерации заряда под действием УЗ) и интенсификации кавитационных процессов (для образования активных радикалов) в достижении высокой эффективности разложения стойких органических загрязнителей.

Полученные результаты, включая достижение 93% деградации МС за 60 минут и выявление значимого синергетического эффекта, убедительно подчеркивают высокий потенциал композитных наноматериалов на основе PVDF/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, полученных электропрядением, для создания перспективных и эффективных систем очистки сточных вод [1].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ, проект № 22-73-10091.*

Литература

1. Rabadanova A. et al. ACS Omega. 2025.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНОГО ПОЛИЭФИРИМИДА С НИЗКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕКУЧЕСТИ РАСПЛАВА И ИНДЕКСА ЖЕЛТИЗНЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ.

**Студентка 2 курса (магистратура) Фархутдинова Е.И., Корнеев Н.А.**

Руководители Мохов В.М., к.т.н. Алыкова Е.А.

*ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»*

*catherine.farhutdinova@yandex.ru, nik.korneev.2016@mail.ru*

Материалы на основе полиэфиримидов отличаются высокой термостойкостью, превосходной ударной вязкостью, огнестойкостью и химической стойкостью, низкой диэлектрической проницаемостью и биосовместимостью. Данный полимер предназначен для изготовления теплостойких деталей электротехнических изделий и приборов [1]. Полиэфиримид сертифицирован для изготовления изделий медицинского приложения - протезов и имплантов [2]. Однако, получаемые в промышленности ПЭИ ULTEM 1010 обладают достаточно высоким значениями индекса желтизны от 44 до 78 [3].

Для целенаправленного синтеза оптически прозрачных полиимидов и полиэфиримидов необходимо оценивать влияние природы мономеров и растворителя, так как причины цвета у пленок полиимидов 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. В результате расчетов было установлено, что величина gap составляет 3,227 эВ. Данная величина позволяет предположить, что синтезированный ПЭИ может обладать высокой оптической прозрачностью и низким индексом желтизны.

Предложенный нами способ [4] получения полиэфиримida заключается во взаимодействии (4,4'- (4,4'-изопропилидендиленокси) бис-(фталевый ангидрида) и *m*-фенилендиамина в смеси растворителей сульфолан:толуол позволяет сократить время процесса с 12 часов (в 1,2-дихлорбензоле) до 2 часов, снизить температуру синтеза с 210 до 150 градусов и получать оптически прозрачный полиэфиримид с низким индексом желтизны и требуемыми технологическими параметрами: приведенная вязкость от 0,8 до 1,2 см<sup>3</sup>/г, ПТР 7,4-9,7 г/10 мин, что говорит о возможности использования данного полимера в 3D-печати.

Прозрачность полученной ПЭИ пленки составила 82 % при 400 нм (в сравнении с промышленно получаемым ULTEM -1010 78%), индекс желтизны 2%, T<sub>5%</sub> 554 °C, T<sub>g</sub> = 217°C, прочность на разрыв 96,7 МПа (для ULTEM-1010 81 МПа).

#### Литература

1. Jiang H., Jiang H., Chen G., Fang X., *J Polym Sci*, 2021, 59, 1434.
2. Tang X., Qin Y., Xu X., Guo D., Ye W., Wu W., Li R., *BioMed Res. Int.*, 2019, 2019, 2076138.
3. Zhao, W., Wall, C., Maddikeri, R., & May, A. , *Proc. SPIE*, 2014, 9192, 1.
4. Патент RU 2826011C1, МПК C08G 73/10 / Новаков И.А., Алыкова Е.А., Савельев Е.Н., Наход М.А., Пичугин А.М., Дубинина А.Д., Сухарева Е.М., Шаляпина В.С. ФГБОУ ВО ВолгГТУ. - 2024.

# ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СМЕШАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА БЕЗ СТАДИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ФРАКЦИИ

Студентка 3 курса (бакалавриат) Чекалина С.В., Михрячев О.И.

Руководитель: Тверитникова И.С.

ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

*sofya.chekalina@internet.ru*

В жизни человека особо часто встречающимся материалом является пластик. Полимеры являются одним из перспективных и активно развивающихся направлений химической промышленности. Из-за повышенного спроса на пластик среди человечества количество полимерных отходов растет. Это в свою очередь негативно сказывается на окружающей среде. Один из актуальных способов борьбы с пластиковыми отходами является их вторичная переработка. Выявлено, что такой способ борьбы с отходами не превышает затраты, а в некоторых случаях даже ниже, чем у таких способов как захоронение и сжигание [1].

Целью данной работы является модификация вторичных полиолефиновых композиций сополимером этилена с пропиленом, направленная на разработку технологии повторной переработки отходов упаковки без стадии разделения полимерной фракции на компоненты.

В работе получали полимерные пленки на основе полиэтилена к полипропилену от 0 до 100 мас.%. Содержание сополимера этилена с пропиленом (СЭП) в пленках составляло от 0 до 10 мас.%, обработанные с ультразвуком (УЗ) и без него. В качестве контрольных образцов брали выбраны материалы без обработки УЗ и без добавления СЭП. Исследуемые образцы получали методом экструзии на плоскощелевом лабораторном одношнековом экструдере.

В заключение проведенной работы можно сделать выводы, что полученные композиционные материалы подходят для многократной рециклинговой переработки:

- ультразвуковая обработка благоприятно влияет на структуру образцов и их физико-механические свойства;
- показатель текучести расплава при модификации ультразвуком уменьшает показатели до режимов удобных для переработки экструзией;
- при переработке композиций без добавления СЭП, плотность образцов, обработанных УЗ, уменьшается, а при добавлении СЭП закономерности изменяются;
- оптическая микроскопия показала, что в образцах, модифицированных ультразвуком, произошло заметное уменьшение дефектов;
- результаты ДСК показали, что даже после нескольких циклов переработки у образцов сохраняется высокая степень кристалличности;

В результате проведенных исследований можно предложить технологию переработки отходов полимерной упаковки без сортировки, который включает в себя: отходы упаковки проходят стадии измельчения, мойки, сушки, в смесь отходов добавляют агент совместимости, все это загружается в экструдер, на выходе из головки получаем либо листы толщиной от 150 микрон, либо пленки толщиной 100 микрон.

## Литература

1. А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов. *Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов*. Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2005, 80.

НОМИНАЦИЯ II  
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ  
СОЕДИНЕНИЙ И БИОТЕХНОЛОГИЙ

# РАЗРАБОТКА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ЛОКАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Студентка 1 курса (магистратура) Вотинцева С.А.

Руководитель к.б.н. Товстик Е.В.

ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

[stud144663@vyatsu.ru](mailto:stud144663@vyatsu.ru)

По данным статистики Министерства здравоохранения Российской Федерации ежегодно регистрируется более 13 млн случаев травматических ран различного генеза: ссадины, резаные раны, ожоги и др. [1]. Одним из перспективных решений проблемы терапии раневой патологии считается разработка лекарственных препаратов (ЛП) локального действия (регенерантов и репарантов), направленных на репарацию ран путём создания оптимальных условий для регенерации тканей и локальной доставки биологически активных веществ (БАВ), которые обладают противовоспалительным, регенеративным и антибактериальным действием. К эффективным, экологически и фармакологически безопасным ЛП относят композиции на основе биодеградируемых полимеров, обеспечивающих барьерную и абсорбционную функцию, с включением приоритетного в настоящее время источника БАВ – извлечений из лекарственных растений [2, 3]. Поэтому целью работы являлась разработка рецептуры и оценка функциональных свойств гель-плёнки на основе водного, 50%-го водно-пропиленгликолевого (50%-го ВПГ) и 10%-го водно-аргининового (10%-го ВА) экстракта цветков календулы лекарственной с матрицей из биодеградируемых полимеров – желатина и ПВС.

Разработку рецептуры осуществляли подбором оптимального состава полимерной гелевой композиции по органолептическим показателям. Оценку функциональных свойств формируемых при высыхании геля плёнок проводили по показателям: влагопоглощение, паропроницаемость, растворение, pH водного раствора, биодоступность флавоноидов (действующих веществ). Процесс формирования плёнок на поверхности кожи после нанесения геля моделировали методом литья.

Изготовление экстрактов из цветков календулы лекарственной для введения в состав гель-плёнок в качестве источника БАВ, обеспечивающего их фармакологическое действие, проводили согласно фармакопейной методике, модифицированной применением в качестве экстрагента дерматологически приемлемых дистиллированной воды, 50%-го водного раствора 1,2-пропиленгликоля и 10%-го водного раствора L-аргинина вместо этилового спирта. Методику спектрофотометрического определения содержания флавоноидов в исследуемых экстрактах оценивали по трём валидационным характеристикам: линейность, повторяемость, правильность.

По результатам исследования получены и стандартизованы лабораторные образцы гель-плёнки на основе водного, 50%-го ВПГ и 10%-го ВА экстракта цветков календулы лекарственной с матрицей из биодеградируемых полимеров – желатина и ПВС. Определены валидационные параметры (линейность, повторяемость, правильность) методики спектрофотометрического определения содержания флавоноидов в водном, 50%-м ВПГ и 10%-м ВА экстракте из цветков календулы лекарственной. Разработанные лекарственные гель-плёнки имеют потенциал реализации как ЛП локального действия (после получения регистрационного удостоверения), применяемые в терапии раневого процесса для репарации и регенерации тканей.

## Литература

1. С. Г. Курбанова и др., *BHMT*, 2024, 31, 44.
2. I. Rad et al., *Polym. Bull.*, 2024, 81, 11399.
3. A. Choudhury et al., *J. Ethnopharmacol.*, 2023, 309, 116383.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШЕЙ НА  
ЖИРОВОСКОВОЙ ОСНОВЕ С ВКЛЮЧЕНИЕМ СМОЛЫ ЕЛИ

Студентка 2 курса (магистратура) Киреева А.Р., Харина С.А., Шишина  
В.В., Кухно М.Ю.

Руководитель к.б.н. Фокина А.И.

Вятский государственный университет

*sashakir02@mail.ru*

Цель настоящей работы – изучение показателей безопасности лекарственный карандашей на основе пчелиного воска с включением смолы ели, а также изучение степени высвобождения биологически активных веществ для рекомендации композиций к использованию.

Нами была разработана рецептура лекарственных карандашей на жировосковой основе с содержанием смолы ели в композициях от 1 до 12%. Карандаши были исследованы на следующие показатели: кислотное число, температура каплепадения, кроющая способность, удельная электропроводность, содержание антиоксидантов, содержание полифенолов, микробиологическая активность.

Методика определения кислотного числа основана на потенциометрическом кислотно-основном титровании образца карандаша раствором гидроксида калия до значения pH 10,2–10,5. Температура каплепадения – это температура, при достижении которой в контролируемых условиях падает первая капля расплавленного вещества. Для определения кроющей способности на полоски фильтровальной бумаги наносили три штриха карандашом и имитировали стирание путём накладывания на подложку фильтровальной бумаги и прокатывания по ней груза массой 100 г при температуре 36,6 °С. Определение удельной электрической проводимости растворов композиций проводили с помощью кондуктометрического метода. Определяли количество антиоксидантов и полифенолов в спиртовой вытяжке из материала карандашей: антиоксидантов – по усовершенствованной нами методике методом инверсионной вольтамперометрии, полифенолов – спектрофотометрически с реагентом Фолина–Чекольтеу. Методика определения количества антиоксидантов валидирована по параметрам: линейность, правильность, прецизионность. Исследовали антимикробную активность согласно ОФС.1.2.4.0010.18. В качестве тест культуры использовали бактерию кишечной палочки *Escherichia coli*.

Значения кислотного числа находятся в диапазоне от 4,65 мг KOH/g до 24,43 мг KOH/g; температуры каплепадения – от 57 °C до 63 °C; кроющей способности – от 3,9% до 17,2%; методом кондуктометрии установлено, что наибольшей электропроводностью обладает раствор с массовой долей смолы 8 %; количество экстрагируемых антиоксидантов (в пересчете на абиетиновую кислоту) – от 108,44 мг/g карандаша до 321,05 мг/g карандаша; экстрагируемых полифенолов от 14,83 мг/g карандаша до 8,17 мг/g карандаша. Композиции с массовым содержанием смолы от 1% до 5% не обладают микробиологической активностью, тогда как композиции с содержанием смолы 8% и 12% обладают микробиологической активностью.

ПРЕПАРАТИВНЫЙ СИНТЕЗ 5-ЗАМЕЩЕННЫХ  
1,2,4-ТРИАЗОЛ-СОДЕРЖАЩИХ АНАЛОГОВ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ  
ОСНОВАНИЙ НУКЛЕОЗИДОВ: ВЫБОР СОПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ

Студентка 1 курса (магистратура) Наумова А.А.

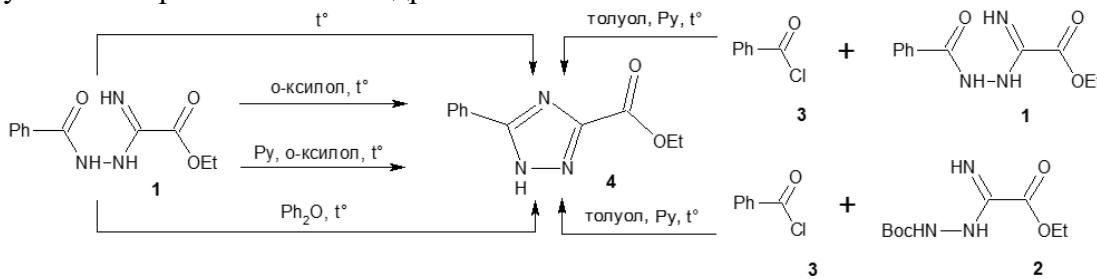
Руководитель доцент к.х.н. Матвеев А.В.

РТУ МИРЭА, ИТХТ им. М.В. Ломоносова

*sashanaumtova92@mail.ru*

Вирусные инфекции представляют собой одну из наиболее значимых угроз для человечества, что обусловлено их высокой скоростью распространения и способностью возбудителей к мутациям. Большая часть препаратов, используемых в терапии и профилактике, являются аналогами нуклеозидов или их оснований, однако многие из них обладают выраженной токсичностью, в связи с чем поиск новых активных производных остается актуальной задачей. Перспективным является синтез аналогов гетероциклических оснований (ГЦО), а особый интерес вызывает получение 1,2,4-триазол-содержащих изостеров пуриновых оснований, демонстрирующих широкий спектр биологического действия. Синтез таких структур часто включает стадию термической циклизации амидразонов, однако универсальных методов на данный момент не представлено. При этом в литературе не встречается сравнение способов циклизации оксаламидразонов. Поэтому цель данной работы заключается в сравнении способов получения 1,2,4-триазол-содержащих аналогов ГЦО циклизацией оксаламидразонов.

В рамках настоящего исследования мы сравнили шесть наиболее часто встречающихся методов на примере получения модельного соединения – этилового эфира 5-фенил-1,2,4-триазол-3-карбоновой кислоты 4 – циклизацией двух оксаламидразонов: этил- $\beta$ -N-бензоилоксаламидразона 1 и этил- $\beta$ -N-третбутилоксикарбонил оксаламидразона 2.



Чтобы сравнить методы циклизации по выходу триазола 4, было необходимо разработать методику количественного определения продукта в реакционной смеси. Для этого мы воспользовались методом ВЭЖХ. Также все методы циклизации были оценены по следующим параметрам: время реакции и выход целевого продукта с учетом сложности выделения продукта из реакционной смеси.

В результате проведенной работы циклизация амидразона 1 в дифениловом эфире при 230°C продемонстрировала наилучшие характеристики по исследуемым параметрам (время реакции – 3 мин, выход 93% и метод выделения продукта – фильтрация осадка). Однако данный метод требует создание инертной атмосферы и быстрого нагрева, что может стать проблемой при масштабировании синтеза. Метод циклизации амидразона 1 с добавлением бензоилхлорида 3 может претендовать на препаративное применение в синтезе этиловых эфиров 5-замещенных 1,2,4-триазол-3-карбоновых кислот по причине более подходящих для масштабирования условий проведения реакции, также показав хорошие характеристики (время реакции – 12 часов, выход 63% и метод выделения продукта – фильтрация осадка с последующей перекристаллизацией).

# СИНТЕЗ КОНЬЮГАТОВ ТЕТРАПИРРОЛОВ С 2-ДЕЗОКСИ-Д-ГЛЮКОЗОЙ

## Студентка 1 курса (магистратура) Сукорева С.М.

Руководитель д.х.н. Брагина Н.А.

Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА  
[s.sukoreva@yandex.ru](mailto:s.sukoreva@yandex.ru)

В борьбе с онкологическими заболеваниями перспективным направлением является фотодинамическая терапия (ФДТ). ФДТ основана на применении фотосенсибилизаторов (ФС), которые при облучении светом определенной длины волны инициируют каскад реакций, приводящих к гибели клеток.

Известно, что эффективность ФДТ ограничивается состоянием микросреды опухоли, в частности, гипоксией, из-за чего снижается образование цитотоксичных радикалов, которые повреждают клеточные структуры, вызывая некроз или апоптоз раковых клеток. Поэтому возникает необходимость в разработке ФС с повышенной селективностью накопления в раковых клетках.

В связи с этим представляет интерес метаболическая особенность опухолевых клеток, известная как «эффект Варбурга», характеризующаяся повышенным аэробным гликолизом и усиленной активностью фермента гексокиназы II [1]. Этот феномен заключается в преимущественном использовании опухолевыми клетками процесса гликолиза, даже при наличии кислорода, что приводит к ускоренному производству лактата. Следовательно, разработка ФС, нацеленных на метаболизм глюкозы, может рассматриваться в качестве эффективной стратегии в противоопухолевой терапии.

В рамках данного исследования был разработан метод синтеза коньюгатов *мезо*-арилпорфиринов с ингибитором гликолиза – 2-дезокси-Д-глюкозой (2-DG). Введение различных остатков 2-DG в молекулу ФС позволит ему избирательно накапливаться в опухолевых клетках. Для полученных гликоконьюгатов 6a, 7b и 7c (схема) были проведены исследования физико-химических свойств и фотохимической активности. Также было оценено цитотоксическое действие целевых коньюгатов.

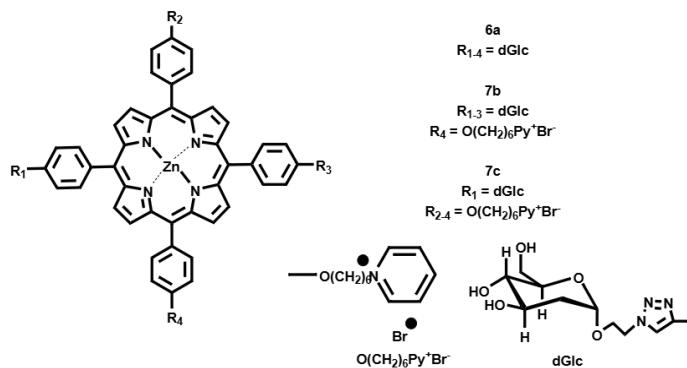


Схема - Структуры целевых соединений.

В результате исследований гликоконьюгаты 6a и 7b показали наиболее высокие значения квантовых выходов флуоресценции и генерации синглетного кислорода. В отношении опухолевых клеток токсический эффект был наиболее выражен для соединений 6a и 7c.

*Работа поддержана Российским Научным Фондом (проект №22-73-10176)*

### Литература

1. Warburg O., Science, 1956, 123, 309-314.

## РАЗРАБОТКА РАСТВОРЯЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОИГЛ

НА ОСНОВЕ ПУЛЛУЛНАДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

**Студентка 4 курса (бакалавриат) Фомичева Н.В., Захарчук К.Н.**

Руководители к.фарм.н. Золотарева М.С., к.х.н. Ковалёва А.Н.

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

*Email: nadiafomic@yandex.ru, kseniya.zaharchuk@mail.ru*

В настоящее время парентеральный путь введения лекарств при обеспечении максимальной биодоступности обладает рядом недостатков, к которым относится большое количество медицинских острых отходов (игл) после каждой процедуры; необходимость в квалифицированном персонале; риск инфицирования и низкая лояльность пациентов к уколам [1]. Решением может стать совершенствование применения микроигл в медицине и фармацевтике [2]. В связи с этим актуальной задачей является разработка растворяющихся микроигл для доставки лекарств с использованием пуллулана, что позволит сделать процесс введения вакцин и ряда других препаратов менее болезненным и более простым, как для пациентов, так и для медицинского персонала.

Для подбора состава были приготовлены пленки из пуллулана разной концентрации (от 0,5 до 5%) и разного объема (от 2 до 5 мл). Для пленок была проведена оценка прочности, времени растворения и остаточного содержания влаги. Наиболее оптимальными составами, формирующими цельную прочную пленку, оказались составы с содержанием пуллулана от 2,8 до 3,5 %. Далее методом отлива из растворителя в формы под вакуумом были изготовлены микроиглы из составов с содержанием пуллулана от 2 до 5%. Для микроигл была проведена микроскопия и прочность на сжатие. Оптимальным содержанием пуллулана, обеспечивающим полноту заполнения форм, необходимую геометрию микроигл и максимальную прочность, является 3%. С данным составом были получены микроиглы с добавлением модельного лекарственного препарата лидокаина гидрохлорида (0,2-0,4 мг) для определения влияния действующего вещества на прочностные характеристики микроигл. По результатам анализа можно сказать, что изменение концентрации действующего вещества в микроиглах от 0,2 до 0,4 мг в массиве практически не оказывается на их прочностных характеристиках: наблюдается незначительное увеличение максимальной нагрузки при сжатии с увеличением концентрации препарата, а также снижение относительной деформации. Следовательно, для последующего изготовления микроигл с другими действующими веществами можно использовать изученные дозировки от 0,2 до 0,4 мг.

Таким образом, были разработаны растворяющиеся микроиглы с наиболее подходящим для доставки лекарств составом, которые могут в дальнейшей использоваться в разработке систем доставки вакцин и других препаратов.

### Литература

1. H. X. Nguyen, *Pharmaceutics*. 2023, 15, 1.
2. T. Liu, *Acta Pharm. Sin. B*. 2021, 11.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>НОМИНАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ ФИЗИЧЕСКАЯ И АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ</b>	<b>5</b>
<b>РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СЕНСОРОВ НА ПЕРОКСИД ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНЫХ ЧАСТИЦ УГЛЕРОД/БЕРЛИНСКАЯ ЛАЗУРЬ, Абишев М. А.</b>	<b>6</b>
<b>ВЛИЯНИЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ БЛАГОРОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА АКТИВНОСТЬ <math>(\text{CrO}_x\text{-ZrO}_2)/\text{SiO}_2</math> КАТАЛИЗАТОРОВ НЕОКИСЛИТЕЛЬНОГО ДЕГИДРИРОВАНИЯ ПРОПАНА, Авхадиева Е.А.</b>	<b>7</b>
<b>ЭЛЕКТРОАНАЛИЗ КОНДЕНСАТА ВЫДЫХАЕМОГО АЭРОЗОЛЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА МУКОВИСЦИДОЗА, Алексеева А.И.</b>	<b>8</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОСТАБИЛЬНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ ПЕРИЛЕНДИИМИДА С ПОМОЩЬЮ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ, Бабаскина М.М.</b>	<b>9</b>
<b>ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ НА ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДИФФУЗИОННУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ГЕТЕРОГЕННОЙ АНИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МА-41, Беспалова Я.Р.</b>	<b>10</b>
<b>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ БЕРЛИНСКОЙ ЛАЗУРИ, КАЛИБРУЕМЫЕ В ПРОЦЕССЕ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА, Гайнанова С.И.</b>	<b>11</b>
<b>ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ И НАТУРАЛЬНЫХ ТКАНЕЙ И МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКОГО КООРДИНАЦИОННОГО ПОЛИМЕРА UiO-66, Лобанова В.В.</b>	<b>12</b>
<b>СВЕТОИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДИРОРДИЕВОМ КОМПЛЕКСЕ, ПЕРСПЕКТИВНОМ В ПРИМЕНЕНИИ В ФОТОХИМИОТЕРАПИИ, Мещерякова В.А.</b>	<b>13</b>
<b>КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ КАК ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ НАНОСЕНСОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДОКСОРУБИЦИНА В ПЛАЗМЕ КРОВИ, Мещерякова С.А.</b>	<b>14</b>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ <math>\text{Np(V)}</math> И <math>\text{Np(IV)}</math> РОНГАЛИТОМ В СРЕДЕ <math>\text{HClO}_4</math>, Назаренко К.М.</b>	<b>15</b>
<b>ПОЛУЧЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСПАРЕНИЯ МАЛОИЗУЧЕННЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗ ДАННЫХ, Низамов И.И.</b>	<b>16</b>
<b>СОЗДАНИЕ ТВЕРДОФАЗНЫХ ЭКСТРАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕТРАОКТИЛДИГЛИКОЛЬАМИДА В СРЕДЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ОЦЕНКА ИХ ЭКСТРАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ, Овочкина А.А.</b>	<b>17</b>

РЕДОКС-АКТИВНЫЕ НАНОЗИМЫ С РЕКОРДНОЙ ПЕРОКСИДАЗНОЙ АКТИВНОСТЬЮ, Повага Е.С.	18
РАЦИОНАЛЬНЫЙ ДИЗАЙН ИМПРИНТИРОВАННОГО БЕЛКА СПЕЦИФИЧНОГО К МИКРОЦИСТИНУ, Решетник И.А.	19
ПРОТОТИП МИКРОУСТРОЙСТВА ДЛЯ ХРОНОАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЕМКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗА С ПРОИЗВОДНЫМИ 2,2'-БИПИРИДИНА, Саликова К.К.	20
ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОДИАЛИЗА С БИПОЛЯРНЫМИ МЕМБРАНАМИ В ПРОЦЕССЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ L-ТРИПТОФАНА ИЗ РАСТВОРА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА, Стрельников М. М.	21
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ЭВТЕКТИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ ВОД ПО ТЕХНИКЕ SDME, Федотова А.В.	22
ПРОСТАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КВАНТОВЫХ ВЫХОДОВ СУЛЬФАТНЫХ РАДИКАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССАХ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ, Цай И.Е.	23
КВАНТОВОХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДНЫХ И БОРНИТРИДНЫХ НАНОТРУБОК, Черезова П.Ю.	24
<i>НОМИНАЦИЯ I</i>	25
<i>ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ</i>	
<i>НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ</i>	
СИНТЕЗ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ТЕТРА-(3-(2,4,5-ТРИХХЛОРФЕНОКСИ)ФЛАТОЦИАНИНОВ МАГНИЯ И ЦИНКА, Антуганова В.А.	26
СИНТЕЗ ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ ПРИ ПОМОЩИ АНОДИРОВАНИЯ Al в 4 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Буздыган А.А.	27
АТОМНО-СЛОЕВОЕ ОСАЖДЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТИТАН-МОЛИБДЕНОВЫХ ОКСИДНЫХ НАНОПЛЕНОК, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ, Гафурова М.Н.	28
ВЛИЯНИЕ МАГНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ФОСФАТА КАЛЬЦИЯ ФЕРМЕНТАТИВНОГО СИНТЕЗА, Герасимова И.И.	29
СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНОГО СТРОНЦИЙ-ДОПИРОВАННОГО ГИДРОКСИАПАТИТА ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ РЕСТАВРАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИЙ, Гомонова А.А.	30

СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИМОРФНЫХ МОДИФИКАЦИЙ ПЕНТАХЛОРИДОВ МОЛИБДЕНА(V), ВОЛЬФРАМА(V) И РЕНИЯ(V), Гонтар О.Д.	31
НОВЫЕ ФТОРИРОВАННЫЕ $\beta$ -ИМИНОКЕТОНАТЫ МЕДИ(II): КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧЕРЕЗ ПОЗИЦИОННУЮ ИЗОМЕРИЮ ЛИГАНДОВ, Жежера М.	32
ЗАМЕЩЕННЫЕ КЛОЗО-ДЕКАБОРАТЫ $[2\text{-B}_{10}\text{H}_9(\text{NHC}(\text{R})\text{NHC}_2\text{H}_4\text{SH})]^-$ ( $\text{R} = \text{Et}$ , $^n\text{Pr}$ , $^i\text{Pr}$ ) – НОВЫЕ ЛИГАНДЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ЗОЛОТЫХ НАНОЧАСТИЦ, Иванова А. А.	33
АТОМАРНО-ТОНКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$ РАЗЛИЧНОЙ РАЗМЕРНОСТИ: СИНТЕЗ В КОЛЛОИДНОЙ СИСТЕМЕ И СРАВНЕНИЕ ХИРОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ С ЭНАНТИОМЕРНЫМИ ЛИГАНДАМИ, Карпич Ф.А.	34
СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНСАМБЛИ НОВЫХ БРОММЕТАЛЛАТОВ И ИХ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, Клыкова А.П.	35
СИНТЕЗ ТРОЙНЫХ ВОЛЬФРАМАТОВ $\text{M}^1\text{M}^2\text{Y}(\text{WO}_4)_3$ ( $\text{M}^1 = \text{Li}, \text{Na}, \text{K}$ ; $\text{M}^2 = \text{Mg}$ , $\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НОВОГО ТРОЙНОГО СОЕДИНЕНИЯ $\text{LiMgY}(\text{WO}_4)_3$ , ДОПИРОВАННОГО $\text{Sm}^{3+}$ , $\text{Eu}^{3+}$ , $\text{Dy}^{3+}$ , $\text{Tb}^{3+}$ , Левин Я.В.	36
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НОВОГО ПРОИЗВОДНОГО 2,1,3-БЕНЗОТИАДИАЗОЛА, Макогон У.А.	37
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОКСИДОВ СОСТАВА $(\text{La}, \text{Ba})\text{FeO}_3$ КАК МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ, Малинин Н.М.	38
КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ ГАДОЛИНИЯ(III) НА ОСНОВЕ СУЛЬФОНИЕВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ КЛОЗО-ДЕКАБОРАТНОГО АНИОНА С КАРБОКСИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ, Манцирева В.А.	39
УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ, ЛЕГИРОВАННЫЕ ГАДОЛИНИЕМ, КАК БИМОДАЛЬНЫЙ КОНТРАСТНЫЙ АГЕНТ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ, Митюшев Н.Д.	40
КОМПЛЕКСЫ $\text{Zn}(\text{II})$ С ПРОИЗВОДНЫМ ФЕНИЛБЕНЗОТИАЗОЛА КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ОБРАТИМЫМ ДОСТУПОМ К ФОСФОРЕСЦЕНЦИИ И ESIPT-ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ, Оленников В.Е.	41
ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И ПРЕВРАЩЕНИЯ RU-НАНОЧАСТИЦ, Орлова Е.Р.	42

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ КАТИОННО-АНИОННЫХ И МОЛЕКУЛЯРНЫХ КАРБОКСИЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЛАТИНЫ(II), Панина М.В.	43
ОПТИМИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТООПТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ГЕКСАФЕРРИТА СТРОНЦИЯ, Семина А.А.	44
ВОДОРОДНЫЕ МЕМБРАНЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ОСАЖДЕНИЯ ПАЛЛАДИЯ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ В ПОРЫ АНОДНОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ С АССИМЕТРИЧНОЙ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРОЙ, Сердюков И.С.	45
БИОСЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА С ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ ЗОЛОТА, СЕРЕБРА И ПЛАТИНЫ, Серебров Е.И.	46
СИНТЕЗ АПИКАЛЬНО-ГЕТЕРОЛЕПТИЧЕСКИХ ПРЕКУРСОРОВ НА ОСНОВЕ ОКТАЭДРИЧЕСКИХ КЛАСТЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ РЕНИЯ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОЙ МОДИФИКАЦИИ ЛИГАНДНОГО ОКРУЖЕНИЯ, Сибиряков М.С.	47
МИКРОСТРУКТУРА И СОСТАВ АНОДНОГО ОКСИДА ОЛОВА, СИНТЕЗИРОВАННОГО В 0,5 М РАСТВОРЕ NaOH, Степанова В.А.	48
ПОЛУЧЕНИЕ ПЛЕНОК ОКСИДА ИНДИЯ-ОЛОВА МАГНЕТРОННЫМ И ИОННО-ЛУЧЕВЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОДОВ В ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ, Чувилева В.М.	49
	50
<i>НОМИНАЦИЯ I ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ ОРГАНИЧЕСКАЯ, БИООРГАНИЧЕСКАЯ И ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ</i>	
НЕАКТИВИРОВАННЫЕ АЛКЕНЫ КАК ДИПОЛЯРОФИЛЫ В РЕАКЦИЯХ 1,3-ДИПОЛЯРНОГО ЦИКЛОПРИСОЕДИНЕНИЯ, Бережная Е.В.	51
ЗАМЕЩЕННЫЕ ДИОКСИДИФЕНИЛСОДЕРЖАЩИЕ МОНОМЕРЫ ДЛЯ СИНТЕЗА ПОЛИИМИДОВ И ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ, Бухалин В.В.	52
С(20)-ПЕРФТОРАЛКИЛСОДЕРЖАЩИЕ ТЕВИНОЛЫ, Горлов С.Н.	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОРЕАКЦИИ 1-ГЕТАРИЛ-2-ГЕТАРОИЛЭТИЛЕНОВ И РАЗРАБОТКА ПРЕПАРАТИВНОГО МЕТОДА СИНТЕЗА ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАМЕЩЕННЫХ ПОЛИАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ, Гребенникова П.Д	54

НОВЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ N-ЗАМЕЩЕННЫХ ПИРРОЛОВ ИЗ НИТРОАЛКЕНОВ, Двиянинова Т.Я.	55
КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНО-ПРЕРВАННАЯ РЕАКЦИЯ НЕФА В РЯДУ ЦИКЛИЧЕСКИХ НИТРОНАТОВ: НОВЫЙ СПОСОБ СИНТЕЗА ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ, Жиров А. В.	56
МЕТАЛЛОКАТАЛИЗИРУЕМОЕ (3+2) АННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОДЕФИЦИТНЫХ АЛКИНОВ КАК ПУТЬ К ФУНКЦИОНАЛИЗИРОВАННЫМ ПИРРОЛАМ, Котикова П.Ф.	57
ГЕТЕРОБИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ СТЕРЕОСЕЛЕКТИВНОЙ МИГРАЦИИ ДВОЙНОЙ СВЯЗИ, Кошелев И.В.	58
РАЗРАБОТКА МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВИРУЕМОГО КОНЬЮГАТА ХЛОРИНА С АНТРАЦИКЛИНОМ, Медведев Д.Ю.	59
ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОНИЖЕННОГО РИСКА НА ОСНОВЕ ПИРАЗИНОВОГО КАРКАСА, Портнов С.В.	60
БОРСОДЕРЖАЩИЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ДИАМИНОКИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ БНЗТ АГЕНТОВ, Рябчикова М.Н.	61
НОВЫЙ ХЛОРИН С РАЗВЕТВЛЕННЫМ ПОЛИАМИНОМ И ЕГО ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ, Сафонова Е.А.	62
ОЗОНОЛИЗ СОЕДИНЕНИЙ С КРАТНОЙ СВЯЗЬЮ С=N: ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫХ ИНТЕРМЕДИАТОВ, Слигузова Д.Ю.	63
СИНТЕЗ И МАСС-СПЕКТРОСКОПИЯ ПРОИЗВОДНЫХ ГЕКСААЗАИЗОВЮРЦИАТА, Тинякова Е.С.	64
ФОТОХИМИЧЕСКОЕ ФТОРИРОВАНИЕ С-Н СВЯЗЕЙ АРОМАТИЧЕСКИХ КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ БЕЗ ДОБАВЛЕНИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ, Черновский Н.	65
<i>НОМИНАЦИЯ I ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ХИМИИ ХИМИЯ ПОЛИМЕРОВ И КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ</i>	66
ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ КАУЧУКА НА МОРФОЛОГИЮ И СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА, Губанков А.Д.	67
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНТЕЗА НА СТРУКТУРУ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ППК-МоO <sub>x</sub> , Куткин А.Р.	68

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА ДЛЯ ДОСТАВКИ АУКСИНОВ ДЛЯ РОСТА РАСТЕНИЙ, Ли В.А.	69
ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КОЛЛОИДНЫХ СИСТЕМ, ОБРАЗОВАННЫХ ИЗ АЛЮМОФОСФАТНЫХ МАТРИЦ, Перова В.С.	70
ВЛИЯНИЕ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО НУКЛЕОТИДА НА СВОЙСТВА НАНОКЛАСТЕРОВ ЗОЛОТА, СИНТЕЗИРОВАННЫХ ЦИТРАТНЫМ МЕТОДОМ, Перфильева Д.А.	71
ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ПЛЁНОК НА ОСНОВЕ ПОЛИДИМИТИЛАМИНОЭТИЛМЕТАКРИЛАТА И ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АМПЕРОМЕТРИЧЕСКИХ БИОСЕНСОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ, Рудаков Н.С.	72
СИНТЕЗ НОВЫХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ СВЕРХРАЗВЕТВЛЕННЫХ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО РЕАКЦИИ ПИРСА-РУБИНШТЕЙНА, Тюлькин А.А.	73
МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПАЛЛАДИЯ И ПЛАТИНЫ В МЕЗОПОРИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТРИЦАХ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ, Храмцовский А.С.	74
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА С $\beta$ -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ И ОЛИГОМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА ЕГО ОСНОВЕ, Шариков С.В.	75
<b>НОМИНАЦИЯ II</b> <i>ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБЩАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ, ОСНОВНОЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ</i>	76
РЕЛАКСАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПОСЛЕ КАВИТАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, Акчурин С.Р.	77
ВЛИЯНИЕ РЕЦИКЛОВЫХ ПОТОКОВ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ СХЕМ РАЗНОЙ СТРУКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ РАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СМЕСИ Н-БУТАНОЛ – ИЗОБУТАНОЛ – ВОДА, Дроздова Д.С.	78
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЦИКЛОГЕКСАНА ДО ЦИКЛОГЕКСАНОЛА И ЦИКЛОГЕКСАНОНА, Косицына А.В.	79
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОР, Селезнева Д.А.	80
РЕГЕНЕРАЦИЯ ДИХЛОРМЕТАНА ИЗ СМЕСИ РАСТВОРИТЕЛЕЙ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА, Шибаева В.В.	81

<b>НОМИНАЦИЯ II</b>	82
<i>ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ</i>	
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ Pd-Pt СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ГЛУБОКОГО ОКИСЛЕНИЯ МЕТАНА, Борисова Д.А.	83
АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В СМЕШАННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ НА ОСНОВЕ СЕРНОЙ И ЩАВЕЛЕВОЙ КИСЛОТ, Пизин М.М.	84
ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИРНЫХ КИСЛОТ В КАЧЕСТВЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА, Усачева У.О.	85
<b>НОМИНАЦИЯ II</b>	86
<i>ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИМЕРОВ И МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ</i>	
ПОЛУЧЕНИЕ ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ГЛИКОЛИЗА ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНФЕТАЛАТА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ МАЛЕИНОВЫМ АНГИДРИДОМ, Болотова Л.Д.	87
КРИОСТРУКТУРИРОВАННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА СШИТЬ ВАНИЛИНОМ ДЛЯ БИОМЕДИЦИНСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ, Делич М.	88
ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАОЛИНОВ В ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ, Зайцев С.С.	89
РАЗРАБОТКА МИКРОИГЛ ДЛЯ БЕЗЫНЪЕКЦИОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ, Карпова Е.В.	90
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИИМИДНЫХ ПЕНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДИАНГИДРИДА 4,4'-(1,3-ФЕНИЛЕНБИС(ОКСИ))ДИФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ И РАЗЛИЧНЫХ ДИАМИНОВ, Олейников М.О.	91
ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНЫХ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА И ТЕХНИЧЕСКОГО ТЕКСТИЛЯ, Паутова А. А.	92
РАЗРАБОТКА СМЕСЕВЫХ ТВЁРДЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА И ГИДРИРОВАННОГО БУТАДИЕН- НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА, Плякин Т. В.	93
ПЬЕЗОФОТОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НАНОВОЛОКОННОГО КОМПОЗИТА ПВДФ/Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ УЛЬТРАЗВУКА И ИСТОЧНИКА СВЕТА НА РАЗЛОЖЕНИЕ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО, Рабаданова А.А.	94

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНОГО ПОЛИЭФИРИМИДА С НИЗКИМИ ЗНАЧЕНИЯМИ ПОКАЗАТЕЛЯ ТЕКУЧЕСТИ РАСПЛАВА И ИНДЕКСА ЖЕЛТИЗНЫ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ, Фархутдинова Е.И.	95
ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА СМЕШАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНА И ПОЛИПРОПИЛЕНА БЕЗ СТАДИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ФРАКЦИИ Чекалина С.В.	96
<i>НОМИНАЦИЯ II</i> <i>ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ПО ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ</i> <i>ТЕХНОЛОГИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ И</i> <i>БИОТЕХНОЛОГИЙ</i>	97
РАЗРАБОТКА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ЛОКАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ, Вотинцева С.А.	98
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ КАРАНДАШЕЙ НА ЖИРОВОСКОВОЙ ОСНОВЕ С ВКЛЮЧЕНИЕМ СМОЛЫ ЕЛИ, Киреева А.Р.	99
ПРЕПАРАТИВНЫЙ СИНТЕЗ 5-ЗАМЕЩЕННЫХ 1,2,4-ТРИАЗОЛ- СОДЕРЖАЩИХ АНАЛОГОВ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ НУКЛЕОЗИДОВ: ВЫБОР СОПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ, Наумова А.А.	100
СИНТЕЗ КОНЬЮГАТОВ ТЕТРАПИРРОЛОВ С 2-ДЕЗОКСИ-Д-ГЛЮКОЗОЙ, Сукорева С.М.	101
РАЗРАБОТКА РАСТВОРЯЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОИГЛ НА ОСНОВЕ ПУЛЛУЛНА ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ, Фомичева Н.В.	102

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абишев Марк Александрович	6	Митюшев Никита Дмитриевич	40
Авхадиева Ева Алмазовна	7	Назаренко Ксения Михайловна	15
Акчуринова София Рафаилевна	77	Наумова Александра Артуровна	100
Алексеева Анастасия Игоревна	8	Низамов Ильяс Ильнарович	16
Антуганова Варвара Александровна	26	Овечкина Анна Александровна	17
Бабаскина Мария Михайловна	9	Олейников Михаил Олегович	91
Бережная Екатерина Витальевна	51	Оленников Вячеслав Евгеньевич	41
Беспалова Яна Романовна	10	Орлова Елизавета Романовна	42
Болотова Любовь Дмитриевна	87	Панина Мария Викторовна	43
Борисова Дарья Анатольевна	83	Паутова Анна Алексеевна	92
Буздыган Андрей Андреевич	27	Перова Вера Сергеевна	70
Бухалин Владимир Владимирович	52	Перфильева Дарья Андреевна	71
Вотинцева София Андреевна	98	Пизин Максим Михайлович	84
Гайнанова Светлана Ильдаровна	11	Плякин Тимофей Владимирович	93
Гафурова Мадина Насировна	28	Повага Елена Сергеевна	18
Герасимова Ирина Игоревна	29	Портнов Степан Вячеславович	60
Гомонова Александра Александровна	30	Рабаданова Алина Абдусаламовна	94
Гонтар Олег Дмитриевич	31	Решетник Иван Александрович	19
Горлов Сергей Николаевич	53	Рудаков Никита Сергеевич	72
Гребенникова Полина Дмитриевна	54	Рябчикова Маргарита Николаевна	61
Губанков Андрей Дмитриевич	67	Саликова Карина Кайратовна	20
Двинянина Татьяна Яковлевна	55	Сафонова Екатерина Алексеевна	62
Делич Маша	88	Селезнева Дарья Александровна	80
Дроздова Дарья Сергеевна	78	Семина Анастасия Андреевна	44

Жежера Михаил	32	Сердюков Игорь Станиславович	45
Жиров Александр Владимирович	56	Серебров Евгений Ильич	46
Зайцев Степан Сергеевич	89	Сибиряков Михаил Сергеевич	47
Иванова Арина Алексеевна	33	Слигузова Дарья Юрьевна	63
Карпич Феликс Алексеевич	34	Степанова Веселина Андреевна	48
Карпова Екатерина Вадимовна	90	Стрельников Михаил Максимович	21
Киреева Александра Ренатовна	99	Сукорева София Мукатдясовна	101
Клыкова Ангелина Петровна	35	Тинякова Елена Сергеевна	64
Косицына Анастасия Васильевна	79	Тюлькин Андрей Андреевич	73
Котикова Полина Филипповна	57	Усачева Ульяна Олеговна	85
Кошелев Иван Владимирович	58	Фархутдинова Екатерина Игоревна	95
Куткин Алексей Романович	68	Федотова Аделина Викторовна	22
Левин Ярослав Васильевич	36	Фомичева Надежда Вячеславовна	102
Ли Виктория Андреевна	69	Храмцовский Артём Станиславович	74
Лобанова Валерия Владимировна	12	Цай Иван Евгеньевич	23
Макогон Ульяна Аркадьевна	37	Чекалина Софья Витальевна	96
Малинин Николай Михайлович	38	Черезова Полина Юрьевна	24
Манцирева Валерия Андреевна	39	Черновский Никита Дмитриевич	65
Медведев Дмитрий Юрьевич	59	Чувилева Варвара Михайловна	49
Мещерякова Валерия Анатольевна	13	Шариков Сергей Владимирович	75
Мещерякова Светлана Андреевна	14	Шибаева Виктория Витальевна	81