

Министерство науки и высшего образования РФ
Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Секция «Физическая химия нано- и супрамолекулярных систем»
Научного совета РАН по физической химии ОХНМ РАН

IX Международная конференция
СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ
НА ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА



22 сентября – 26 сентября 2025 г.

Туапсе

Супрамолекулярные системы на поверхности раздела: IX Международная конференция. 22-26 сентября, 2025. Сборник тезисов докладов. – М.: ИФХЭ РАН, 2025. – 90с.

ISBN 978-5-00202-926-6

АННОТАЦИЯ К СБОРНИКУ ТЕЗИСОВ

IX Международной конференции «Супрамолекулярные системы на поверхности раздела»,

С 22 по 26 сентября 2025 г. в п. Агой, Туапсинского района Краснодарского края состоится VII Международная конференция «Супрамолекулярные системы на поверхности раздела». Организаторами конференций являются Российская Академия наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева Секция «Физическая химия нано- и супрамолекулярных систем» научного совета по физической химии ОХНМ РАН. Конференция проводится при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Гранта НЦМУ "Центр рационального использования редкометального сырья" (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583). Генеральным спонсором конференции выступает компания НКЦ «ЛАБТЕСТ». Сборник тезисов докладов и сообщений общим объемом 90 стр., содержащий 75 работ, позволяет ознакомиться со всем спектром представленной на конференции научной информации. В издании представлены результаты исследований в области наиболее актуальных проблем и передовых направлений современной супрамолекулярной химии поверхности, в числе которых самоорганизация функциональных молекул на поверхности раздела; сборка планарных супрамолекулярных систем методами Ленгмюра-Блоджетт и послойной электростатической адсорбции; супрамолекулярная биомиметика; молекулярное распознавание и сенсорика; супрамолекулярные устройства и машины на поверхности; методы исследования ультратонких пленок. Работы участников конференции, посвященные развитию новых принципов управления молекулярными машинами и устройствами, лежат в русле самого современного тренда развития мировой науки и соответствуют передовому международному уровню.



ОРГКОМИТЕТ
IX Международной конференции
«Супрамолекулярные системы на поверхности раздела»

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

1. Цивадзе А.Ю., академик (ИФХЭ РАН, Москва) - председатель
2. Арсланов В.В., д.х.н., проф. (ИФХЭ РАН, Москва) – зам. председателя
3. Горбунова Ю.Г., академик (ИОНХ РАН, Москва) – зам. председателя
4. Селектор С.Л., д.х.н. (ИФХЭ РАН, Москва) - ученый секретарь
5. Алфимов М.В., академик (ЦФ РАН, Москва)
6. Антипин И.С., чл.-корр. РАН (КГУ, Казань)
7. Белецкая И.П., академик (МГУ, Москва)
8. Вацадзе С.З., профессор РАН (МГУ, Москва)
9. Громов С.П., член-корр. РАН (ЦФ РАН, Москва)
10. Золотов Ю.А., академик (ИОНХ РАН, Москва)
11. Калинина М.А., профессор РАН (ИФХЭ РАН, Москва)
12. Мажуга А.Г., профессор РАН (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)
13. Минкин В.И., академик (НИИ ФОХ РГУ, Ростов-на-Дону)
14. Мясоедов Б.Ф., академик (ИФХЭ РАН, Москва)
15. Синяшин О.Г., академик (ИОФХ РАН, Казань)
16. Федин В.П., академик (ИНХ СО РАН, Новосибирск)
17. Щербина А.А., д.х.н., доц. (ФГБУ «Дирекция НТП», Москва)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Академик **Ю.Г. Горбунова** (ИФХЭ РАН, Москва) – **председатель**, professor **N. Ibraev** (KSU, Karaganda, Kazakhstan), professor **E. Zenkevich** (BNTU, Minsk, Belarus), член-корр. РАН **И.С. Антипин** (КГУ, Казань), профессор РАН **С.З. Вацадзе** (МГУ, Москва), д.х.н., профессор **М. А. Грин** (МИТХТ, Москва), член-корр. РАН **С.П. Громов** (ЦФ РАН, Москва), профессор РАН **М.А.Калинина** (ИФХЭ РАН, Москва), к.х.н. **О.А. Райтман** (ИФХЭ РАН, Москва), д.х.н. **С.Л. Селектор** (ИФХЭ РАН, Москва), д.х.н., профессор **П.А. Стужин** (ИГХТУ, Иваново), д.х.н., профессор **О.А. Фёдорова** (ИНЭОС РАН)

Рабочая группа оргкомитета

к.х.н. Райтман О.А. (РХТУ, ИФХЭ Москва) - Председатель
к.х.н. Колоколов Ф.А. (РХТУ, Москва)
к.х.н. Морозов А.Н. (РХТУ, Москва)
к.х.н. Ключев А.Л. (ИФХЭ РАН, Москва)
Райтман Е.В. (РХТУ Москва)
Тюрин Д.Н. (ИФХЭ РАН, Москва)
Спицын Н.Ю. (РХТУ, Москва)

Кузнецов И.О. (РХТУ, Москва)
Дегтярева В.А. (РХТУ, Москва)
Макшанова А.О. (РХТУ, Москва)
Назарова А.О. (РХТУ, Москва)
Аракчеев А.В. (ИФХЭ РАН, Москва)
Крылов Д.И. (ИФХЭ РАН, Москва)

ПЛЕНАРНЫЕ ЛЕКЦИИ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ АЗАГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СЕНСОРИКИ, МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И МЕДИЦИНСКОЙ ХИМИИ

Вараксин М.В.^{1,2}, Мосеев Т.Д.¹, Акулов А.А.¹, Идрисов Т.А.¹,
Лавринченко И.А.¹, Нелюбина А.А.¹, Никифоров Е.А.¹, Першин А.А.¹,
Чарушин В.Н.^{1,2}, Чупахин О.Н.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет, 6200062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,

² Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, 620066, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 22

E-mail: m.v.varaksin@urfu.ru

Разработка перспективных органических и гибридных материалов для развития областей органической электроники, сенсорики, а также химии физиологически активных веществ представляет актуальную на сегодня междисциплинарную задачу. Перспективной моделью структурной организации (рис. 1) являются молекулярные системы на основе азотсодержащих гетероциклических производных, содержащих в своем составе различные структурные блоки и функциональные группы, наличие которых определяет физико-химические, фотофизические, окислительно-восстановительные люминесцентные и другие свойства.

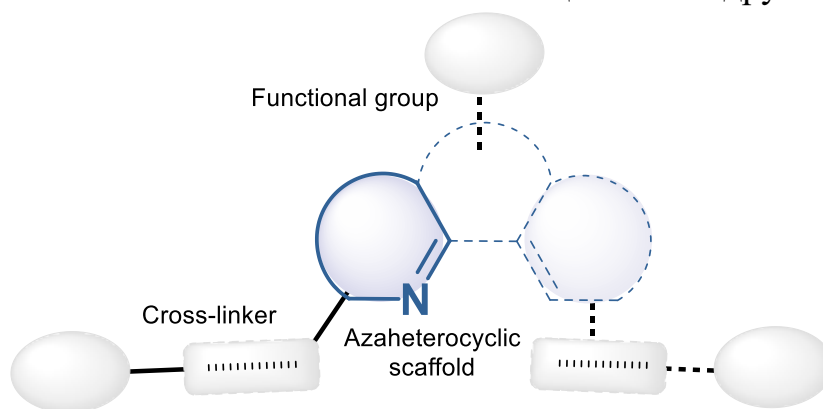


Рис. 1. Перспективная структура молекулярных систем

В докладе рассматриваются разработанные эффективные методы и подходы для синтеза азатетероциклических молекулярных систем разнообразных классов, а также результаты комплексного изучения свойств и оценки возможностей применения разработанных соединений и материалов на их основе в сенсорики, молекулярной электронике и медицинской химии.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда 23-63-10011, <https://rscf.ru/project/23-63-10011/>

ГИБРИДНЫЕ ТЕТРАПИРРОЛО-ТРИС-(ДИ)ОКСИМАТЫ 3d-МЕТАЛЛОВ: МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН, СТРАТЕГИИ СИНТЕЗА, СТРУКТУРА И НАПРАВЛЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ¹

Дудкин С.В.¹, Волошин Я.З.^{1,2}

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук, Москва, Россия

119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр.1

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, Москва, Россия

119991, Россия, г. Москва ул. Ленинский проспект, д. 31

sdudkin@ineos.ac.ru

Макрополициклические тетрапирролокладатрохелаты (фталоцианиinato- и порфиринокладатрохелаты) с инкапсулированным ионом 3d-металла являются политопными соединениями, молекулы которых содержат один или два металлотетрапиррольных апикальных фрагмента, «сшивающих» три α -диоксиматных или три гетероциклооксиматных фрагмента, приводя к образованию соответствующего гибридного клеточного комплекса [1]. Разработанные стратегии их синтеза включают: (а) переметаллирование лабильных триэтилсурьмяных групп их (псевдо)макробициклических предшественников под действием металл(III, IV)фталоцианинатов или порфиринов как кислот Льюиса [2–7,9], (б) макробициклизацию их немакробициклических металлокомплексных предшественников [6–9] и (в) одностадийную темплатную конденсацию хелатирующих α -диоксиматных (или гетероциклооксиматных) и тетрапиррольных сшивающих лигандных синтонов на матрице – ионе 3d-металла [6–13].

Будут представлены как известные, так и новые данные о молекулярном дизайне соединений этого типа и путях их синтеза, о пространственной и электронной структуре гибридных клеточных комплексов, а также о достижениях и перспективах их практического использования в качестве (фото)катализаторов важных химических процессов [13,14].

Список литературы

- [1] Антипин И.С., Алфимов М.В., Арсланов В.В. и др. *Успехи химии*. **2021**, 90, 895-1107.
- [2] Voloshin Y.Z., Varzatskii O.A., et al. *Inorg. Chem.* **2005**, 44, 822-824.
- [3] Dudkin S.V., Erickson N.R., et al. *Inorg. Chem.*, **2016**, 55, 11867-11882.
- [4] Dudkin S.V., Belov A.S., et al. *New. J. Chem.* **2017**, 41, 3251-3259.
- [5] Zelinskii G.E., Dudkin S.V., et al. *Inorg. Chim. Acta*. **2017**, 463, 29-35.
- [6] Dudkin S.V., Chuprin A.S., et al. *Dalton Trans.* **2022**, 51, 5649-5659.
- [7] Chuprin A.S., Dudkin S.V., et al. *New J. Chem.* **2022**, 46, 10863-10877.
- [8] Chuprin A.S., Pavlov A.A., et al. *Dalton Trans.* **2023**, 52, 3884-3895.
- [9] Dudkin S.V., Chuprin A.S., et al. *J. Porphyrins Phthalocyanines* **2023**, 27, 293-303.
- [10] Dudkin S.V., Savkina S.A., et al. *Macroheterocycles*. **2018**, 11, 418-420.
- [11] Belova(Savkina) S.A., Dudkin S.V., et al. *Macroheterocycles*. **2019**,12, 193-197.
- [12] Belova S, Dudkin S.V., et al. *New J. Chem.*, **2024**, 48, 17831-17848.
- [13] Y.Z. Voloshin, S.V. Dudkin, et al. *Molecules*. **2021**, 26, 336.
- [14] Polivanovskaia D.A., Dudkin S.V., et al. *Dyes Pigments*, **2025**, 242, 112995.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №24-23-00323)

РАЗРАБОТКА ФОТОАКТИВИРУЕМЫХ ПРЕПАРАТОВ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ «УМНОЙ ХИМИОТЕРАПИИ» В ОНКОЛОГИИ

Островерхов П.В.¹, Плотникова Е.А.¹, Кирин Н.С.¹, Демина А.И.¹, Говоров Н.Д.¹, Медведев Д.Ю.¹, Боржицкая Е.О.¹, Дурнев Д.А.¹, Усачев М.Н., Плютинская А.Д.², Безбородова О.А.^{1,2}, Грин М.А.¹

¹РТУ МИРЭА, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, дом 78

²МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 125284, г. Москва, 2-й Боткинский пр-д, 3,

*E-mail: ostroverhov@mirea.ru

Природные хлорины и бактериохлорины – это природные пигменты, содержащиеся в растениях и микроорганизмах и обладающие способностью к фотосенсибилизации. Они активно используются в качестве препаратов для фотодинамической терапии онкологических и других заболеваний, так как обладают интенсивным поглощением в ближней ИК области спектра. Также, известно, что подобные тетрапиррольные обладают повышенным накоплением в опухолях за счет относительного высокого сродства к опухолевым клеткам и эндогенным переносчикам, например к альбуминам. Таким образом природные хлорины и бактериохлорины могут быть стать перспективной платформой для создания новых фото-фармакологических и фото-химиотерапевтических препаратов.

Нами были рассмотрены различные подходы к синтезу ряда конъюгатов природных хлоринов и бактериохлоринов с химиотерапевтическими препаратами для комбинированной фотодинамической и химиотерапии, а также изучены их физико-химические свойства. На различных биологических моделях (*in vitro* и *in vivo*) был показан комбинированный эффект при фото-активации.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания номер FSFZ-2025-0020.

ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПОРФИРИНОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ¹

Ермакова Е.В.¹, Бессмертных-Лемен А.Г.^{2,3}.

¹*Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина, 119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4; E-mail: dr.evermakova@phych.ac.ru*

²*Institut de Chimie Moléculaire de l'Université de Bourgogne (ICMUB), CNRS, 21078 Dijon, 9, Avenue Alain Savary, BP 47870, France*

³*ENS de Lyon, CNRS UMR 5182, Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire de Chimie, F69342, Lyon, France*

Разработка и создание оптических сенсоров для обнаружения летучих органических соединений (ЛОС) является важной задачей современной химической науки в связи с высокой токсичностью ЛОС и их способностью нанести непоправимый вред как окружающей среде, так и здоровью человека. Производные порфиринов благодаря своим исключительным оптическим свойствам представляют интерес в качестве основы сенсоров для обнаружения ЛОС в газовой фазе. Такие сенсоры способны определять широкий спектр ЛОС за счет аксиальной координации с металлоцентрами порфиринов, π - π -стэкинга, образования водородных связей и дипольных взаимодействий с аналитом. Кроме того, многие порфирины и их металлокомплексы обладают исключительной термической, фотохимической и химической стабильностью, превосходящей стабильность большинства других органических красителей.

Наиболее перспективными объектами в качестве оптических сенсоров на основе порфиринов являются тонкопленочные системы, а также материалы, полученные путём иммобилизации порфиринов в органические и неорганические полимерные матрицы. При этом селективность и чувствительность твердотельных оптических сенсоров напрямую зависит от метода иммобилизации порфиринов. В связи с этим в данной работе осуществлен обзор существующих твердотельных оптических сенсоров на основе порфиринов и их металлокомплексов для обнаружения ЛОС в газовой фазе, сопоставлены их оптические свойства и сенсорные характеристики.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 125012200626-9).

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ И НЕКОТОРЫЕ РЕАКЦИИ С ИХ УЧАСТИЕМ

Флид В.Р.

*МИРЭА - Российский технологический университет,
ИТХТ им М.В. Ломоносова, Москва, проспект Вернадского, 86*

Катализ является междисциплинарной областью знания, включающей совокупность подходов и методов, относящихся к различным направлениям химии и химической технологии. Их применение позволяет развивать новые междисциплинарные области, такие как экологический катализ, мембранный катализ, «зеленая химия» и многие другие. Катализ, как явление природы, универсален. Без катализаторов невозможны были бы многие процессы, протекающие в атмосфере, гидросфере и литосфере Земли, эволюция и функционирование биологических систем. До 90% химической продукции производится с использованием катализаторов. В связи с этим прогресс в химической технологии невозможен без создания эффективных каталитических систем, которые становятся базой новых химико-технологических процессов. Разработка более совершенных катализаторов невозможна без изучения кинетики и механизма каталитических реакций. Знание вероятного механизма химических превращений создаёт предпосылки для целенаправленного выбора состава и состояния каталитических систем. Изучение механизма каталитических процессов позволяет не только получить информацию о механизме процесса, но и оптимизировать условия его проведения. Очень полезными, а часто, необходимыми, для оптимального решения этих вопросов являются квантово-химические методы и подходы.

На современном этапе катализ является одним из базовых инструментов для эффективного решения вопросов водородной и альтернативной возобновляемой энергетики. В частности, катализ применяется для устойчивого и безопасного хранения водорода и его транспортировки. Важнейшими направлениями катализа являются квалифицированная и селективная переработка побочных продуктов и отходящих газов, образующихся при пиролизе нефти, а также торфа и отходов деревоперерабатывающих производств.

Предложенные нами каталитические методы и подходы позволяют получать из отходов ценные полупродукты и эффективные горючие, решая, тем самым, одновременно задачи экологии и энергетики.

1. В.Р. Флид, М.Л. Грингольц, Р.С. Шамсиев. Успехи химии, 2018, **87**, 1169.
2. V. Zamalyutin, V. Flid. Catalysis in Industry, 2025, Vol. 17, No. 2, pp. 133–156.

Работа выполнена при поддержке РНФ в рамках проекта №23-73-00123

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЗОВАННЫХ УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЁНОК НА ЖИДКИХ И ТВЁРДЫХ ПОДЛОЖКАХ

Селектор С.Л.¹

¹ Федеральное Бюджетное Учреждение Науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4, e-mail: sofs@list.ru;

Лекция посвящена обзору современных физико-химических методов исследования организованных ультратонких плёнок. Такие методы как электронная спектроскопия поглощения, флуоресцентная спектроскопия и микроскопия, циклическая вольтамперометрия (ЦВА), электрохимическая импедансная спектроскопия, поверхностный плазмонный резонанс (ППР), а также различные сочетания этих методов традиционно широко применяются для изучения плёнок Ленгмюра-Блоджетт (ПЛБ) и Ленгмюра-Шефера (ПЛШ), сформированных на твердых подложках. Находят применение для таких «твёрдотельных» систем и современные рентгеновские методы измерений – малоугловая рентгеновская рефлектометрия (XRR), рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS), спектроскопия края рентгеновского поглощения, метод стоячих рентгеновских волн. Следующим шагом в расширении методических подходов к исследованию планарных супрамолекулярных систем стало распространение сложных физических методов исследования на монослои Ленгмюра на поверхности жидкости.

Рассмотрены технические особенности применения методов электронной спектроскопии поглощения и флуоресцентной оптоволоконной спектроскопии для *in situ* исследования монослоев Ленгмюра непосредственно на водной субфазе. На нескольких примерах продемонстрированы широкие возможности этих методов для исследования процессов структурообразования при формировании монослоя, комплексообразования в монослоях при взаимодействии с компонентами субфазы, а также для изучения молекулярных переключений на границе раздела воздух/вода при различных внешних воздействиях. При этом подробно рассмотрены такие виды переключений как редокс-изомерные превращения, спин-кроссовер, фотохромные переключения.

Рентгеновские методы исследования с использованием синхротронного излучения открывают выход на новый уровень характеристики планарных систем на жидких и твёрдых подложках. В работе представлены примеры, демонстрирующие возможности методов XRR, спектроскопии XANES и XPS, а также метода стоячих рентгеновских волн при изучении ультратонких плёнок различной природы. Особый интерес представляют работы, в которых с помощью комплекса современных физических методов и квантово-химических расчётов проводится сравнение характеристик монослоёв прекурсоров и сформированных на их основе ультратонких плёнок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ - грант № 23-73-00037

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ НА ОСНОВЕ СПИРОСОЕДИНЕНИЙ ИНДОЛИНОВОГО РЯДА

Райтман О.А.

*РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д.9.
ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский просп., д.31, корп.4*

Наноразмерные оптически активные объекты на межфазных границах являются основой при разработке технологий молекулярной электроники, химических и биохимических сенсоров, устройств оптической памяти и т.п. Спироциклические соединения индолинового ряда представляют собой широкий класс органических фотохромов, практический интерес к которым обусловлен возможностью их применения в микроэлектронике, компьютерной технике, медицине и других важных отраслях. К настоящему моменту синтезировано огромное количество фото- и электрохимически активных спирозоединений, однако до настоящего времени остается нерешенной проблема закрепления таких молекул на поверхности твердых подложек с сохранением их функциональности. Одним из наиболее перспективных способов перевода растворенных соединений в двумерное упорядоченное состояние с сохранением их функциональных характеристик является метод монослоев Ленгмюра в сочетании с техникой Ленгмюра-Блоджетт. В связи с этим основной целью данного исследования является установление закономерностей поведения фоточувствительных соединений при переходе от молекулярного уровня вещества к системам с повышенной размерностью. Разработаны принципы управления структурой и физико-химическими свойствами планарных организованных оптически активных систем за счет молекулярных переключений, индуцируемых внешними воздействиями. В докладе представлены результаты исследования физико-химических, фотохромных, фотофизических и хемосенсорных свойств дифильных спироиндолинобензопиранов и спироиндолинонафтоксазинов в органических растворителях, в плавающих монослоях на границе раздела вода/воздух и в ультратонких пленках на поверхности твердых подложек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003).

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРАУН-СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССАХ ЖИДКОСТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Костикова Г.В.¹, Бездомников А.А.¹, Шаров В.Э.¹,
Жилов В.И.¹, Цивадзе А.Ю.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: galyna_k@mail.ru*

Краун-эфир – макроциклические соединения, которые середины 1970-х годов рассматриваются в качестве перспективных соединений для извлечения сорбционными и экстракционными методами ценных компонентов из растворов сложного солевого состава. В ИФХЭ РАН ведутся работы, направленные на практическое использование краун-соединений, перспективных как в процессах селективного экстракционного извлечения, так и при разделении близких по свойствам элементов.

В горячей камере ФЭИ (г. Обнинск) был проведен процесс выделения стронция-90 после растворения ТВЭЛ стандартных блоков реактора АМ-1. В качестве экстрагента использован ди-циклогексил-18-краун-6 во фторорганическом разбавителе. Было переработано 10 л исходного раствора и выделено более 20 Кюри очищенного стронция-90, который в дальнейшем может быть использован как материнский изотоп в различных генераторах иттрия-90.

При использовании в качестве экстрагента бензо-15-краун-5 разработан способ селективного извлечения скандия из концентратов РЗЭ в присутствии трихлорацетатов лития и натрия. Коэффициенты разделения S_c и Σ РЗЭ превышают 100, что делает возможным проведение селективного извлечения скандия из нейтральных концентрированных растворов нитратов РЗЭ перед проведением их группового разделения по стандартной технологической схеме.

В процессах селективного извлечения лития из литийсодержащих рассолов нефтепромыслов, содержащих высокие концентрации хлоридов кальция и магния, предложено использовать ди-трет-бутилдибензо-14-краун-4 во фторированном разбавителе.

Бензо-15-краун-5 перспективен в качестве экстрагента для процессов разделения изотопов лития. Рассмотрена возможность использования хлорида и нитрата лития. Разработана технологическая схема проведения процесса; на основе центробежных экстракторов создана многоступенчатая лабораторная установка; проведена серия опытно-промышленных испытаний, подтвердивших эффективность предложенного процесса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583)

ЛИТИЕВОЕ СЫРЬЁ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ЕГО ПЕРЕРАБОТКЕ

Бездомников А.А., Костикова Г.В., Шаров В.Э., Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю.

*Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;
e-mail: bezdomnikovaa@phych.ac.ru*

Одним из значимых элементов современных технологий является литий. Литиевые источники тока играют ключевую роль в беспилотных устройствах, возобновляемой энергетике, электротранспорте и других сферах. Сам литий применяется не только при производстве литий-ионных аккумуляторов, но и в производстве высококачественных стёкол, керамики, смазочных материалов, в металлургии и атомной промышленности. За последнее десятилетие структура потребления лития и его стоимость претерпели значительные изменения. Спрос на литий постоянно растёт, двигая его стоимость вверх, опережая ограниченный рост его производства.

Отставание и ограниченность производства лития связаны со сложностями при его добыче и с особенностями его нахождения в природе. Большая часть лития в очень малых концентрациях находится в морской воде, из которой добыча на нынешнем уровне технологий никогда не окупится. Лишь небольшая доля лития находится в сколько-либо сконцентрированном, компактном виде. Такие запасы состоят из литиевой руды, соляных озёр, геотермальных вод и различных техногенных рассолов.

Классические подходы к переработке, основанные на галургических методах и ступенчатом осаждении, требуют значительных энергозатрат, больших площадей и ведут к существенным потерям лития. Современные исследования направлены на разработку интегрированных технологических решений, позволяющих эффективно извлекать литий из различных типов сырья. В докладе будут рассмотрены современные подходы, включая селективную экстракцию, сорбционные и мембранные методы, применимые как к рассолам, так и к рудным концентратам, а также к переработке отработавших литиевых источников тока. Эти методы открывают возможности для создания замкнутых производственных циклов и минимизации экологического воздействия литиевой промышленности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (№ 075-15-2025-583).

ИЗУЧЕНИЕ КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИХ СВОЙСТВ 3,3-ДИМЕТИЛ-1-ОКТАДЕЦИЛ-1,3-ДИГИДРОСПИРО[ИНДОЛИН-2,3'- НАФТО[2,1-*b*][1,4]ОКСАЗИН]-9'-ОЛ В ОТНОШЕНИИ ИОНОВ Hg^{2+} И Al^{3+}

Морозов А.Н.¹, Спицын Н.Ю.¹, Назарова А.О.¹, Глебездина У.С.¹,
Зайченко Н.Л.², Любимов А.В.², Райтман О.А.^{1,3}

¹РХТУ им. Д.И. Менделеева», Москва, 125047, Миусская пл., 9.

²ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, ул. Косыгина, 4, корп. 1.

³ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина, 119071, Москва, Ленинский просп., д. 31/4

3,3-диметил-1-октадецил-1,3-дигидроспиро[индолин-2,3'-нафто[2,1-*b*][1,4]-оксазин]9'-ол является бистабильным соединением и может существовать в виде двух сравнимых по устойчивости форм. При облучении УФ происходит разрыв связи $\text{C}_{\text{спиро}}-\text{O}$, сопровождающийся планаризацией структуры соединения. Возникновение протяженной цепи π -соп-ряжения приводит к появлению окраски полученной мероцианиновой формы соединения ($\lambda_{\text{max}} = 598 \text{ нм}$) (рис. 1).

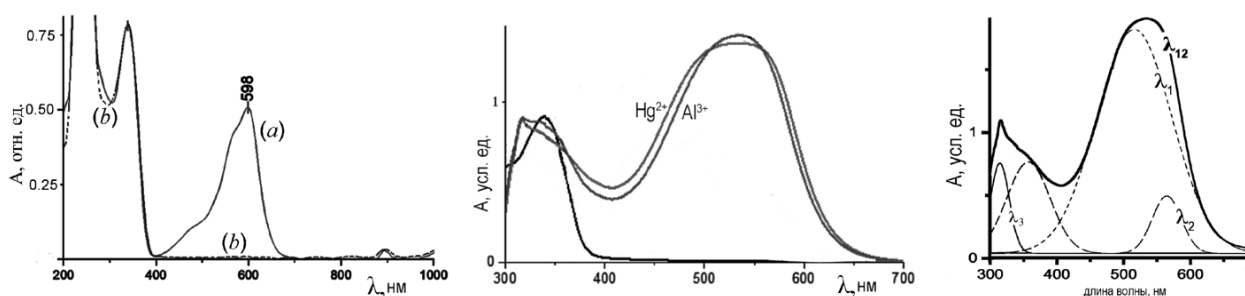


Рис. 1. Спектры поглощения 3,3-диметил-1-октадецил-1,3-дигидроспиро[индолин-2,3'-нафто[2,1-*b*][1,4]оксазин]-9'-ол в присутствии (а) и в отсутствии (b) облучения УФ (слева) и в присутствии ионов металлов (в середине). Компоненты спектральной полосы комплекса Hg^{2+} (справа)

В работе показано, что подобная структурная модификация может быть осуществлена при координации иона металла (Al^{3+} и Hg^{2+}) по одному из имеющихся в молекуле координационных центров. Появление в спектре длинноволновой полосы, характерной для мероцианиновой формы спиронафтоксазина, свидетельствует об образовании комплексов металлов с *открытой* формой фотохрома. Спектральное положение полосы для комплексов обоих металлов почти одинаково ($\lambda_{\text{max}} \sim 530 \text{ нм}$). Её гипсохромный сдвиг на 68 нм обусловлен стабилизацией НОМО лиганда за счёт комплексообразования, при котором энергия регистрируемого электронного перехода увеличивается. Длинноволновая полоса в спектре комплекса Hg^{2+} является двухкомпонентой. Наличие минорной компоненты обусловлено присутствием некоординированной открытой формы фотохрома. Константа равновесия реакции комплексообразования, рассчитанная как отношение интегральных интенсивностей компонент λ_1 и λ_2 (рис. 4) составляет около 10.12, что позволяет оценить ΔG° реакции комплексообразования в -5.73 кДж/моль .

Полоса с $\lambda_{\max} = 315 \text{ нм}$, обусловлена присутствием некоординированной закрытой формы фотохрома (рис.1).

В работе изучена чувствительность спиронафтоксазина в отношении ионов Al^{3+} и Hg^{2+} методом спектрофотометрического титрования растворов, содержащих 10^{-4} М фотохрома, растворами целевых металлов в ацетонитриле, которое показало разное соотношение металл/лиганд (2:1 для комплекса для комплекса Hg^{2+} и 1:2 для комплекса Al^{3+}).

Изучение кинетики комплексообразования позволило рассчитать константы скорости реакции, которые составили $23.2 \cdot 10^{-3}$ и $5.1 \cdot 10^{-3} \text{ (с}^{-1}\text{)}$ для ртути и алюминия соответственно. Периоды полупревращения для реакций комплексообразования ($t_{1/2}$) составили 30 с в случае Al^{3+} и 147 с в случае Hg^{2+} .

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003).

ПАРАМАГНИТНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ЯМР КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОМПЛЕКСОВ 3d- ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЛАНТАНИДОВ¹

Павлов А.А.^{1,2}

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет),
г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1; E-mail: alex90pavlov@mail.ru

²Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова
Российской академии наук, г. Москва, Ленинский проспект, 31

Несмотря на то, что спектроскопия ЯМР диамагнитных соединений сильно развита и активно используется для исследования различных химических соединений и их реакций, спектроскопия ЯМР парамагнитных соединений к настоящему моменту все еще не нашла повсеместного применения в химических научных центрах как страны, так и мира. Это связано со сложностями регистрации и интерпретации данных, а также с отсутствием единой методологии. Тем не менее, спектроскопия ЯМР представляет собой информативный инструмент для исследования электронной структуры, магнитных свойств и взаимодействий, спинового состояния и параметров кристаллического поля лигандов парамагнитных координационных комплексов 3d-переходных металлов и лантанидов.

В настоящем докладе будут обсуждаться примеры исследования спинового равновесия в растворах фенилборатных гекса-н-бутилсульфидных клатрохелатов кобальта(II) [1,2], параметров лигандного поля комплексов лантанидов, магнитных свойств комплексов кобальта(II) в комбинации со смежными магнитными физико-химическими методами (магнитометрия и спектроскопия ЭПР) [3].

1. Pavlov A.A. с сотр. *Коорд. химия*, 2024, **2**, 85.
2. Pavlov A.A. et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2022, **24**, 1167
3. Pavlov A.A. et al. *Inorg. Chem.*, 2020, **59**, 10746.

¹ Работа выполнена при поддержке РНФ (Проект 24-73-00257)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ШУМОВОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ЧЕБЫШЕВА ДЛЯ ОЦЕНКИ БИОКОРРОЗИИ

Макринский К.И.¹, Анисимова Н.Ю.², Киселевский М.В.²,
Мартыненко Н.С.³, Клюев А.Л.^{1,4*}

1 – Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
РАН, Москва, Ленинский пр-т, д. 31, к. 4.

2 – Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
имени Н.Н. Блохина, Москва, Каширское шоссе, д. 23

3 – Институт металлургии и материаловедения имени А.А. Байкова
РАН, Москва, Ленинский пр-т, д. 49.

4 – Российских химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, Москва, Миусская пл., д.9

*e-mail: klyuevchem@mail.ru

В работе апробировано применение метода спектрокопии электрохимических шумов (СЭШ) Чебышева для неинвазивного мониторинга биокоррозии биорезорбируемых имплантатов в условиях *in vivo*. Оценено влияние хитозанового покрытия на кинетику и механизм коррозии. Установлено, что покрытие значительно снижает начальную скорость коррозии, не изменяя ее механизм. Показана возможность СЭШ Чебышева отслеживать динамику процессов биодеградации покрытия в реальном времени. Метод демонстрирует высокий потенциал при разработке и оптимизации биорезорбируемых материалов.

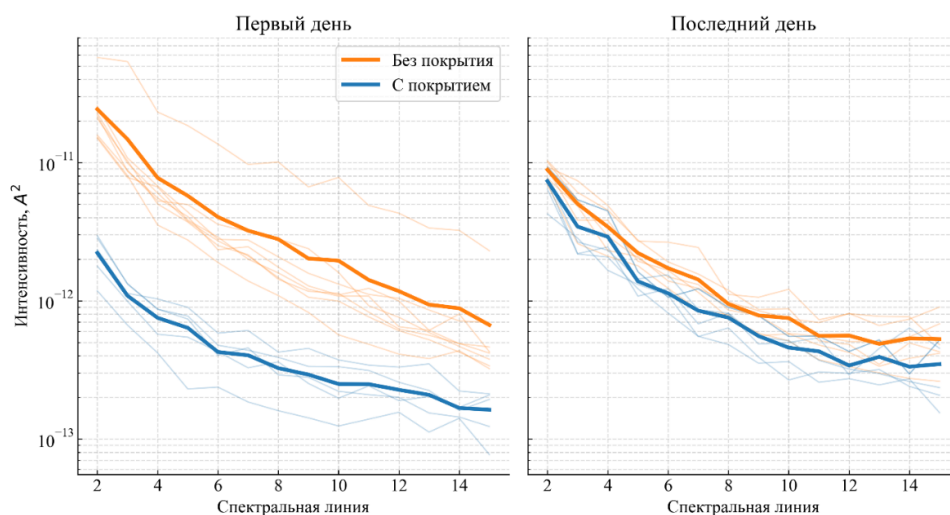


Рисунок 1. Спектры Чебышева для первого и последнего дня мониторинга (жирные линии – усредненные спектры за день)

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003)

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПОРФИРИНОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ УСТРОЙСТВ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Коновалова Н.В.

*МИРЭА – Российский технологический университет, Институт тонких химических технологий им. М.В.Ломоносова, Москва, просп. Вернадского, 86;
E-mail: nadejda_73@mail.ru*

Порфирины и супрамолекулярные системы на их основе представляют большой интерес для молекулярной электроники благодаря уникальным оптическим, фотофизическим и электрохимическим свойствам порфиринов, а также их высокой термической и фотостабильности и способности к самосборке в сложные структуры. Порфирины интенсивно поглощают свет в видимом диапазоне длин волн и могут находить применение в качестве элементов фоточувствительных материалов для создания фотодетекторов и солнечных элементов. Способность порфиринов легко вступать в обратимые окислительно-восстановительные процессы позволяет использовать их в качестве компонентов электронных переключателей и других электрон-транспортных элементов.

Возможность довольно легкой химической модификации периферии порфиринового макроцикла и включения ионов различных металлов в координационную полость позволяет придавать им различные характеристики, в том числе изменять и настраивать оптические свойства, эффективность электронного транспорта и способность к самосборке. Введение определенных функциональных групп на периферию макроцикла открывает возможность дизайна сложных супрамолекулярных структур различной архитектуры, таких как одномерные цепи, двумерные слои и трехмерные каркасы, что позволяет создавать сложные устройства и материалы с разнообразными функциями.

В данном докладе будут рассмотрены принципы дизайна и примеры применения порфиринов и супрамолекулярных систем на их основе в качестве фотосенсибилизаторов для создания фоточувствительных слоев солнечных элементов, сенсибилизированных красителем (dye-sensitized solar cells, DSSC) – фотовольтаических устройств, позволяющих конвертировать солнечную энергию в электрическую. Фотосенсибилизатор в таких устройствах должен содержать одну или несколько функциональных групп, действующих как «якорь», обеспечивающий возможность для закрепления его на поверхности металл-оксидного полупроводника. Кроме того, спектр поглощения фотосенсибилизатора должен, по возможности, охватывать весь видимый диапазон, а энергетический уровень возбужденного состояния фотосенсибилизатора должен быть выше края зоны проводимости полупроводника n-типа, что необходимо для реализации эффективной инжекции электрона в зону проводимости полупроводника.

АНТИМИКРОБНАЯ И ПРОТИВООПУХОЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В СВОБОДНОЙ ИЛИ ПОЛИМЕРНОЙ ФОРМАХ

Жданова К.А.¹, Бортневская Ю.С.¹, Усанёв А.Ю.¹, Савельева И.О.¹,
Карпеченко Н.Ю.², Грузнова О.А.³, Грузнов Д.В.³, Брагина Н.А.¹

¹*МИРЭА - Российский технологический университет, Москва, пр.
Вернадского, 86; E-mail: zhdanova_k@mirea.ru*

²*ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина" Минздрава России,
Москва, Каширское ш., 23*

³*Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной
санитарии, гигиены и экологии*

Фотодинамическая терапия (ФДТ) является перспективным и инновационным методом лечения онкологических и неонкологических заболеваний, основанным на использовании света с соответствующей длиной волны для активации локализованного в опухоли фотосенсибилизатора (ФС) с целью индукции фотохимических реакций. Терапевтическая эффективность ФДТ во многом зависит от свойств используемых фотосенсибилизаторов.

Одними из наиболее часто встречающихся агентов для ФДТ являются фотосенсибилизаторы на основе тетрапиррольных соединений (порфиринов, хлоринов, бактериохлоринов). Использование мезо-арилпорфиринов и их гидрированных аналогов зачастую ограничено их гидрофобностью, пролонгированной фоточувствительностью, неселективностью и низкими квантовыми выходами флуоресценции.

В настоящее время инкапсуляции ФС в носители, например, липосомы, мицеллы и наночастицы, широко используется для улучшения их фотохимических характеристик, а также накопления в целевых участках опухоли. При этом, фотофизические свойства, каталитическая и биологическая активность порфиринов существенно зависят от параметров среды, влияющих на кислотно-основное и агрегационное поведение хромофоров, которое необходимо учитывать при создании супрамолекулярных ансамблей на их основе.

В докладе освещаются литературные данные по современному состоянию в области наноструктурированных ФС, а также собственные результаты исследований по противоопухолевой и антимикробной активности фотосенсибилизаторов на основе мезо-арилпорфиринов в свободной или полимерной формах.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №22-73-10176-П)

ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК УНИКАЛЬНЫЕ МИКРОКОНТЕЙНЕРЫ ДЛЯ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Терехова И.В.

*Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
Иваново, Россия
E-mail: ivt@isc-ras.ru*

В настоящее время супрамолекулярные системы доставки лекарств становятся все более востребованными, поскольку обеспечивают контроль над скоростью, местом и временем высвобождения лекарства, направленно доставляя его к целевым тканям, повышая при этом терапевтическую эффективность и снижая нежелательные побочные эффекты. Системы доставки на основе циклодекстринов особенно популярны благодаря тому, что эти соединения, являясь олигосахаридами природного происхождения, проявляют высокую биосовместимость и низкую токсичность для организма человека. Кроме того, молекулы циклодекстринов, имеющие форму тора с гидрофобной внутренней полостью и гидрофильной внешней поверхностью, способны к образованию комплексов включения с органическими субстратами, что делает их привлекательными микроконтейнерами для доставки лекарств.

В рамках данного доклада обсуждаются вопросы использования различных видов циклодекстринов и лекарственных форм на их основе для доставки фарм-субстанций. Основной акцент делается на усложнение структуры этих соединений при переходе от природных циклодекстринов к их димерным, полимерным и модифицированным производным. Показано, как варьирование строения циклодекстринов меняет их комплексообразующие свойства. Рассматриваются особенности функционирования металл-органических каркасов, построенных за счет координации биорелевантных катионов с циклодекстринами, как носителей лекарственных соединений. Анализируется влияние циклодекстринов на изменение фармакологически значимых свойств лекарственных веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Ивановской области (грант №30-2025-004035 по приоритетному направлению деятельности Российского научного фонда)

МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ СБОРКИ ОБОЛОЧЕК ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОКАПСУЛ

Букреева Т.В., Саруханова В.В.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»,
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1*

Метод послойной сборки (“layer-by-layer” (LbL)) представляет собой достаточно универсальный подход для создания многослойных полимерных капсул, перспективных, прежде всего, в качестве средств доставки лекарств, а также компонентов функциональных покрытий. LbL-нанесение на коллоидные частицы-ядра обеспечивает управляемый рост многослойной оболочки и позволяет контролировать ее состав и толщину, физические и химические свойства. Для успешной разработки LbL-капсул, ориентированных на конкретные практические применения, требуется глубокое понимание механизмов взаимодействия компонентов оболочки на молекулярном уровне.

Исходно метод послойной сборки основывался на электростатическом взаимодействии поликатионов и полианионов. Однако не следует забывать, что классическая полиэлектролитная многослойная сборка помимо основного кулоновского притяжения обусловлена также гидрофобным притяжением цепей и энтропийным вкладом.

В последнее время все больший интерес исследователей привлекают оболочки, сформированные за счет взаимодействий, альтернативных электростатическим. Прежде всего, это водородные связи, обладающие высокой чувствительностью к изменению рН и температуры окружающей среды. Для повышения устойчивости оболочек капсул используют ковалентную сшивку, осуществляя ее как в процессе формирования многослойной структуры, так и после создания капсул с менее прочным связыванием полимерных молекул. Также высокоустойчивые капсулы формируются за счет взаимодействий «гость–хозяин», включающих в себя водородную связь, гидрофобные и ван-дер-ваальсовы силы. Перспективным подходом для формирования LbL-капсул стало использование биоспецифических взаимодействий.

Рассмотренные в докладе новые стратегии формирования капсул методом послойной сборки расширяют диапазон материалов, которые могут быть использованы для создания многослойных носителей с контролируемыми свойствами. В результате открываются перспективы целого ряда практических применений LbL-капсул в диагностике, адресной доставке лекарств или генов и тканевой инженерии.

ЗОЛОТЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ – ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ТЕРАНОСТИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

Жданов А.П.¹, Жижин К.Ю.¹

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Российской академии наук, Москва, Россия
119991, Россия, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 31.
E-mail: zhdanov@igic.ras.ru*

Доклад посвящён оценке возможностей и перспектив применения золотых наночастиц (ЗНЧ) в разработке новых тераностических препаратов для лечения онкологических заболеваний, в частности в рамках бор-нейтронозахватной терапии (БНЗТ) и фотодинамической терапии (ФДТ).

Использование ЗНЧ в качестве платформы для создания препаратов БНЗТ и ФДТ представляет собой инновационный подход в онкологии. Благодаря высокой биосовместимости, уникальным оптическим свойствам и способности к селективному накоплению в опухолевых тканях, золотые наночастицы являются эффективными носителями борсодержащих соединений, что позволяет повысить локальную концентрацию терапевтических агентов в зоне поражения. Это, в свою очередь, способствует увеличению избирательности воздействия на опухолевые клетки и снижению токсического влияния на здоровые ткани.

Кроме того, ЗНЧ могут служить эффективными носителями фотосенсибилизаторов, улучшая их растворимость, стабильность и таргетную доставку в опухоль. Эффект поверхностного плазмонного резонанса, присущий золотым наночастицам, позволяет усиливать генерацию реактивных форм кислорода под действием лазерного облучения, что значительно повышает эффективность фотодинамической терапии. Дополнительно, способность ЗНЧ к фототермической конверсии открывает возможности для создания комбинированных терапевтических систем, сочетающих ФДТ с фототермической терапией (ФТТ).

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ № 24-13-00295

НАНОЭМУЛЬСИИ КАК УНИВЕРСАЛЬНАЯ СРЕДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОРЕАКТОРОВ И СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВ

Зиганшина А.Ю.,¹ Масленников А.А.,¹ Усанев А.Ю.,²
Жданова К.А.,² Брагина Н.А.,² Любина А.П.,¹ Парфенов А.А.,¹
Волошина А.Д.,¹ Низамеев И.Р.,³ Антипин И.С.⁴

¹ ИОФХ им. А.Е. Арбузова ОСП ФИЦ КазНЦ РАН

² МИРЭА - Российский технологический университет

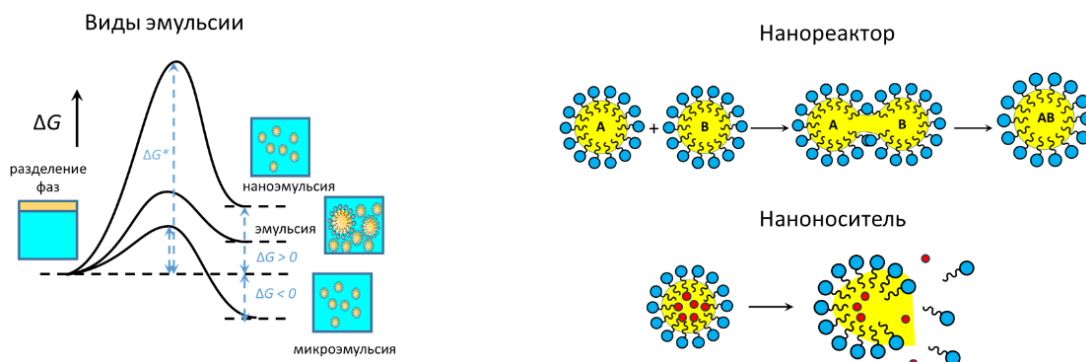
³ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

⁴ Химический институт им А.М. Бутлерова, КФУ

Наноэмульсии представляют собой стабильные или кинетически долгоживущие дисперсные системы, формирующиеся за счет самоорганизации амфифильных компонентов на границе раздела фаз «масло–вода». Их уникальная межфазная архитектура обеспечивает высокую площадь раздела, что делает наноэмульсии перспективными как среда для инкапсуляции, так и как в качестве нанореакторов для химических превращений в ограниченном объеме.

Распределение функциональных групп на межфазной границе позволяет эффективно управлять процессами эмульсионной полимеризации, обеспечивая контроль над размером, морфологией и составом полимерных наночастиц. Включение обратимых ковалентных связей (например, иминных, дисульфидных или боронатных) расширяют функциональные возможности систем, обеспечивая ответ на изменения pH, редокс-условий, температуры или ионной силы. Такие «умные» наноэмульсии способны к контролируемому высвобождению субстратов, что делает их перспективными платформами для синтеза функционализированных наноносителей, пригодных как для доставки биоактивных молекул, так и для организации локализованных химических превращений.

В докладе будут рассмотрены современные подходы к дизайну наноэмульсионных систем, их роль в организации межфазных реакций и потенциал в качестве многокомпонентных нанореакторов и наноносителей в химии и медицине.



НОВЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ДИФИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНОИДОВ С 4-ОКТАДЕЦИЛОКСИПИРИДИН-2,6-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Колоколов Ф.А.¹, Морозов А.Н.¹, Кузнецов Д.И.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д.9.

² ИФХЭРАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп.4

В настоящее время все больше внимания уделяется тонкоплёночным люминесцентным материалам, которые находят применение в системах отображения информации, молекулярной электронике, сенсорных системах. Одними их перспективных в этой области соединений являются комплексные соединения лантаноидов с органическими лигандами, например с пиридин-2,6-дикарбоневой кислотой, которые интенсивно люминесцируют в видимой области и используются как вторичные стандарты для определения квантовых выходов люминесценции комплексов лантаноидов. С другой стороны, для получения тонкоплёночного материала к соединениям предъявляется ряд требований: высокая растворимость в органических растворителях для нанесения методом SpinCoating, или дифильность для получения мономолекулярных слоев методом Ленгмюра-Блоджетт. С этой целью нами была получена 4-октадецилоксипиридин-2,6-дикарбоневая кислота и комплексные соединения европия (III), тербия (III), самария (III), тулия (III) и гадолиния(III) с ней состава $\text{Ln}[\text{DipicOC}_{18}\text{H}_{37}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, где Ln^{+3} - ион лантаноида, а $\text{DipicOC}_{18}\text{H}_{37}^-$ – анион 4-оксиоктадецилпиридин 2,6-дикарбоневой кислоты.

В результате анализа спектра фосфоресценции координационного соединения гадолиния(III) был определен триплетный уровень аниона $\text{DipicOC}_{18}\text{H}_{37}^-$ – 30395 см^{-1} , на основании которого построена энергетическая диаграмма переноса энергии с аниона лиганда на ион лантаноида. Из этой диаграммы установлено, что эффективный внутримолекулярный перенос энергии с аниона лиганда возможен на ионы Eu^{3+} , Tb^{3+} , Sm^{3+} и Tm^{3+} , однако как показал эксперимент наиболее яркой люминесценцией обладают комплексы европия(III) и тербия(III) с квантовыми выходами 11,47% и 6,68%, соответственно. Для остальных соединений квантовые выходы менее 1%.

Для 4-октадецилоксипиридин 2,6-дикарбоневой кислоты и комплексного соединения тербия были изучены изотремы сжатия на границе раздела вода-воздух, на основании которых установлено, что данные соединения способны образовывать стабильные монослои на поверхности воды. Максимум поглощения монослоя координационного соединения тербия (III) претерпевает гипсохромный сдвиг, что является типичным изменением оптических свойств дифильных соединений в результате их переноса из раствора на границу раздела фаз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003).

ИНФОРМАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ 3D-ТЕХНОЛОГИИ В ХИМИЧЕСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

Тюрин Д.Н. , Котенев В.А.

ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский просп., д.31, корп.4

Рассмотрены методические основы использования информационно-оптических 3D-технологий в процессе обучения студентов старших курсов и аспирантов методам высокопроизводительного контроля толщины, топографии и статистических свойств поверхностных слоев на поверхности материалов при использовании широкого класса зондовых и сканирующих методов ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной спектроскопии поверхности, компьютерных оптических видеомикрозондов, оптических сканеров, цифровых микроскопов и др. Формируя видеомикроизображение зондируемого микроучастка поверхности материала и измеряя распределение интенсивности отраженного оптического сигнала по полю изображения данного микроучастка на различных длинах волн, можно в реальном времени унифицировано получать 3-мерное (3D) изображение рельефа толщины и свойств (химического состава, степени неоднородности и др.) сплошных неоднородных слоев, островков, зародышей новой фазы, вторично осажденных слоев по данному участку поверхности.

Использование информационно-оптических 3D-технологий обработки изображений позволяет достичь высокой степени изобразительности и информативности в процессе обучения студентов как химических, так и нехимических специальностей методам неразрушающего контроля неоднородности толщины, дефектности и химического состава слоев по контролируемому участку поверхности исследуемого материала для широкого класса зондовых физико-химических методов исследования поверхности и поверхностных слоев.

Рассмотрены возможности комбинирования информационно-оптических 3D-технологий с методами сканерного и рефлектометрического 3D-видеомикрозонда, методами комбинационного рассеяния и инфракрасной спектроскопии диффузного отражения с остро сфокусированным зондирующим пучком, методом измерения фотоЭДС, эллипсометрией, фотоэлектрохимическими методами при исследованиях воздействия окружающей среды на различные материалы при контроле природных, промышленных, технологических, культурных объектов, техногенных, экологических и др. систем.

СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ОТВЕРЖДАЮЩИХСЯ ПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМАХ¹

Шапагин А.В.

*ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский просп., д.31, корп.4
e-mail: shapagin@mail.ru*

Полимерные композиционные материалы с каждым годом занимают все большие доли рынка практически во всех отраслях промышленности. При этом актуальной задачей полимерного материаловедения является предсказание эксплуатационных свойств создаваемых материалов с целью их регулирования на стадии производства. Наиболее распространенными способами влияния на конечные свойства полимерных композиционных материалов является их модификация как растворимыми в исходном олигомере полимерами, так и армирование олигомер-полимерной матрицы конструкционными волокнами различной природы.

Известно, что в процессе отверждения многокомпонентных полимерных систем происходит увеличение молекулярной массы олигомера, сопровождаемое нарастанием вязкости в системе и, как следствие, термодинамической несовместимости компонентов, что приводит к формированию фазовых структур. Данный процесс описывается диаграммами фазовых состояний для двух и трехкомпонентных, не считая отверждающего агента, систем. Имея фазовую диаграмму для исходной системы, представляя ее эволюцию в процессе химической реакции отверждения, а также зная изменение диффузионных констант можно прогнозировать не только тип конечной фазовой структуры отвержденной многокомпонентной полимерной системы, но и размеры фаз, а также их состав.

Для обеспечения высоких физико-механических свойств армированных полимерных композиционных материалов помимо свойств волокна и полимерной матрицы принципиальное значение имеют адгезионные свойства на межфазной границе волокно – матрица, обеспечивающие распределение механического напряжения от одного волокна к другому. При этом разница в энергетических характеристиках волокна и полимерного связующего определяет фазовую организацию на межфазной границе. Это позволяет технологам иметь дополнительную степень свободы при разработке армированных композиционных материалов, и добиваться формирования на границе с волокном или фазы обогащенной эпоксидом или термопластом в зависимости от поставленной материаловедческой задачи.

Получение инструмента управления фазовой организацией в модифицированных многокомпонентных полимерных системах позволяет достигать требуемых эксплуатационных характеристик материалов, минуя рутинные скрининговые исследования.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

КАТАФОРЕЗНЫЕ ИНГИБИРОВАННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНКИ НА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ И МЕДИ

Шапагина Н.А.

ИФХЭ РАН, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, к. 4

e-mail: fuchsia32@bk.ru

Защита от коррозии металлических сооружений в различных отраслях промышленности – это одна из важнейших задач, игнорирование которой может повлечь колоссальные убытки. В результате коррозионных процессов уменьшается прочность и надежность металлических конструкций, что может привести к неблагоприятным последствиям. Использование ингибиторов коррозии – это один из способов снизить коррозионную агрессивность рабочей среды. Однако, несмотря на разнообразие ингибиторов, проблема расширения их ассортимента остается актуальной. В последние годы, особый интерес представляют ингибиторные композиции (ИНКОМ), состоящие из молекул органосиланов и ингибиторов коррозии, использование которых приводит к формированию на поверхностях металлов ингибированных полимерных пленок (ИПП). Предыдущие исследования показали, что пленки состоят из нескольких слоев: внешний слой – органосилановый, является барьером, защищающим металл от воздействия внешней коррозионной агрессивной атмосферы. В случае нарушения его сплошности, коррозионному растворению металла препятствует приповерхностный слой, состоящий из хемосорбированных молекул органосилана и ингибиторов коррозии.

Традиционно ИПП формируются на металлической поверхности посредством окунания/выдержки образца в водном растворе ИНКОМ. В результате на его поверхности формируется микронная, бездефектная, плотносвязанная с металлом (за счет хемосорбции молекул органосилана и ингибитора коррозии). Для оптимизации процесса формирования качественной ИПП на металле возможно использовать катафорезное осаждение (КФО). При использовании КФО металлический образец является катодом, на который подается отрицательный заряд, а на анод – положительный. На катоде выделяется H_2 , а на аноде O_2 . Под действием электрического тока молекулы ингибитора коррозии и гидролизованного органосилана перемещаются к катоду, распределяясь равномерно по поверхности металлического изделия, что приводит к формированию пленки. Целью данной работы являлось определение условий, при которых возможно осуществить качественное нанесение ИПП на поверхность низкоуглеродистой стали и меди посредством КФО из водных растворов ингибиторных композиций. Для этого решался ряд задач: разработать эффективный состав ИНКОМ; выбрать способ предобработки поверхности; определить оптимальный режим катафорезного осаждения; исследовать структуру и эксплуатационные свойства ИПП.

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ДИОДНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТОВ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Александров А.Е., Тамеев А.Р.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
Россия 119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4*

e-mail: alexeyalex93@mail.com

Перовскитные материалы представляют значительный интерес для применения в детекторах ионизирующего излучения благодаря наличию в их составе элементов с высокими атомными номерами: Pb, Br, I, Cs. В данном исследовании рассматривались два типа перовскитных структур: тонкие пленки $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ (MAPbI_3) и квантовые точки CsPbBr_3 , интегрированные в диодную структуру ИТО/ДТС/перовскит/ЭТС/Al, где ДТС и ЭТС представляют собой дырочно- и электронно-транспортные слои соответственно.

Экспериментальные результаты показали, что при облучении рентгеновским излучением с энергией фотонов 22 кэВ диодная структура с активным слоем MAPbI_3 толщиной 400 нм демонстрирует индуцированный ток, превышающий уровень шума в 7 раз. В случае использования активного слоя из КТ CsPbBr_3 толщиной 60 нм наблюдалось снижение индуцированного тока на порядок величины, что обусловлено недостаточным поглощением излучения в тонком слое. При этом КТ CsPbBr_3 проявили выраженную рентгенолюминесценцию.

На основании полученных данных предложена tandemная детекторная структура, сочетающая диод с активным слоем MAPbI_3 и люминофор на основе КТ CsPbBr_3 , диспергированных в полимерную матрицу. В работе также представлен анализ электронных процессов в исследуемых активных слоях с учетом результатов измерения подвижности носителей заряда методом экстракции заряда при линейно нарастающем напряжении (CELIV).

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583)

ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ ВАЛЕНТНАЯ ТАУТОМЕРИЗАЦИЯ В ЛЕНГМЮРОВСКИХ МОНОСЛОЯХ НА ОСНОВЕ БИС-ФТАЛОЦИАНИНАТОВ САМАРИЯ И ЕВРОПИЯ

Аракчеев А.В.¹, Мартынов А.Г.¹, Селектор С.Л.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4
e-mail: pcss_lab@mail.ru

В этой работе были обнаружены и исследованы новые фотоиндуцированные обратимые молекулярные переключатели в планарных супрамолекулярных системах, на основе краун-замещенных бис-фталоцианинатов самария и европия. Впервые показана возможность управления редокс-изомерным равновесием, устанавливаемым в Ленгмюровских монослоях исследуемых соединений на границе раздела воздух/вода, с помощью УФ-облучения и красного света (рис. 1). С помощью UV-Vis спектров поглощения и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии экспериментально обнаружен факт фотоиндуцированной редокс-изомеризации. Выявлено, что УФ-облучение монослоя промотирует редокс-изомеризацию $[\text{Ln}^{2+}\text{L}^{\bullet-}_2]^0 \rightarrow [\text{L}^{\bullet-}\text{Ln}^{3+}\text{L}^{2-}]^0$, сопровождающуюся окислением металлоцентра и восстановлением лиганда. Обратный процесс $[\text{L}^{\bullet-}\text{Ln}^{3+}\text{L}^{2-}]^0 \rightarrow [\text{Ln}^{2+}\text{L}^{\bullet-}_2]^0$ происходит спонтанно в темноте и может быть ускорен облучением в области Q-полосы.

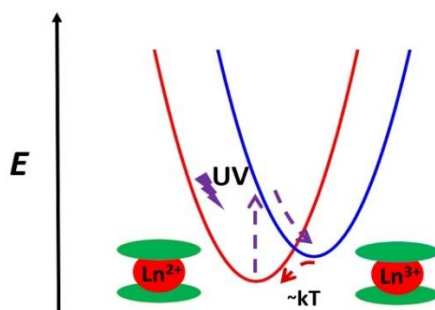


Рис. 1 Схематическое изображение предполагаемого энергетического ландшафта редокс-изомерного равновесия в монослоях SmL_2 и EuL_2 на границе раздела воздух/вода.

Продемонстрирована возможность реализации аналогичных переключений в пленках Ленгмюра-Блоджетт (ПЛБ) на твердых подложках. Более того, во время такой фотоизомеризации в ПЛБ на поверхности электрода были зарегистрированы изменения стационарного электрохимического потенциала и угла поверхностного плазмонного резонанса. Вышеприведенные результаты позволяют констатировать открытие нового класса фотохромных соединений, изменение цвета и других характеристик которых связано с фотоиндуцированной валентной таутомерией.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 23-73-00037

ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИДИАЦЕТИЛЕНА, СМЕШАННОГО С ГЕМИКУРКУМИНОИДОМ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ВОЗДУХ–ВОДА

Скворцова Н.Г.¹, Берлёва А.В.¹, Ахмадеев Б.С.², Мустафина А.Р.²,
Подъячев С.Н.², Позин С.И.¹, Ступников А.В.³, Селектор С.Л.¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4

² Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – ОСП ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия, 420088, ул. Арбузова, 8

³ НИЦ Курчатовский институт, Москва

Уникальные флуоресцентные и хроматические свойства, а также механическая и химическая стабильность делают монослои и пленки Ленгмюра полидиацетиленов (ПДА) привлекательными для различных технологических применений. Поэтому получение контроля над структурными, морфологическими и оптическими свойствами для реализации разнообразного функционального потенциала ПДА представляет большой интерес. В нашей работе был выбран вариант создания смешанного монослоя Ленгмюра на основе 10,12-пентакозодиинновой кислоты (PCDA) и представителя гемикуркуминоидов (HCurBF_2). Выбор производных куркумина обусловлен их высоким потенциалом для создания сенсорных платформ, биомаркеров и терапевтических агентов. Структурные, морфологические и оптические свойства смешанной системы в сравнении с индивидуальной PCDA изучены с использованием изотерм сжатия монослоев Ленгмюра, атомно-силовой микроскопии (АСМ), микроскопии угла Брюстера, оптической спектроскопии поглощения и флуоресцентной спектроскопии и микроскопии. Присутствие гемикуркуминоида в системе существенно влияет на морфологию пленки и на её оптические свойства. Добавление HCurBF_2 к ленгмюровскому монослою PCDA приводит к изменению морфологии поверхности. В присутствии равномерно распределенного в монослое HCurBF_2 образование крупных, ярко выраженных доменов островковой формы вблизи точки коллапса PCDA оказывается затруднено, вследствие чего формируется мозаичная структура из слабо контрастных участков моно- и полислоевой пленок. Различаются морфология индивидуального и смешанного с HCurBF_2 ленгмюровских слоев PCDA после УФ-облучения. В то время как на поверхности жидкоконденсированной фазы красной формы PCDA растут нитевидные и фрактально-разветвленных полислоевые домены, для бинарной смеси PCDA: HCurBF_2 при облучении наблюдается мозаика из перемежающихся мелких полислоевых доменов неправильной геометрии. Причём картина более контрастна, чем для синей формы PCDA. Кроме того, обнаружено, что HCurBF_2 существенно снижает активационный барьер полимеризации в монослое, в результате чего образование синей полимеризованной формы PCDA может протекать практически без УФ-облучения под действием поверхностного давления при сильном сжатии.

КАРБОКСИ- ЗАМЕЩЕННЫЕ БЕНЗО- И ПИРАЗИН- АННЕЛИРОВАННЫЕ КОРРОЛАЗИНЫ P^V

Гнедина Е.С.¹, Лазовский Д.А.¹, Стужин П.А.¹

¹ *Ивановский государственный химико-технологический университет, Шереметевский просп., 7, 153000, Иваново, Россия*

e-mail: ekaterina19gnedina@gmail.com

Порфиразинойды фосфора(V) являются перспективными соединениями для применения в различных областях науки и медицины. Благодаря способности к генерации активных форм кислорода, флуоресценции и интенсивному поглощению в видимой области спектра данные соединения могут быть использованы в фотокатализе, для визуализации биологических процессов, а также в качестве фотосенсибилизаторов для ФДТ и АФДТ [1]. При введении атома фосфора в координационную полость возможно сокращение одного мезо- атома азота макроцикла и, следовательно, образование нового класса соединений – корролазинов фосфора(V), обладающих уникальными спектрально-люминесцентными свойствами.

Аннелирование и периферическая модификация макрогетероциклов позволяет настраивать их физико-химические свойства [2]. В данной работе проведено сравнение бензо- и пиразин- аннелированных корролазинов P^V, замещенных по периферии сложноэфирными и карбоксильными группами. Кроме того, наличие карбоксильных групп открывает возможность использования соединений в качестве строительных блоков для ковалентных органических каркасов (COFs) [3].

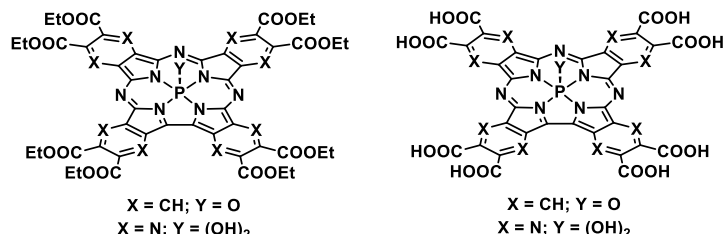


Рисунок 1 – бензо- и пиразин- аннелированные корролазины P^V, замещенные сложноэфирными (слева) и карбоксильными (справа) группами.

Для объектов исследования была охарактеризована структура, изучены фотофизические свойства соединений. Проведено исследование спектральных характеристик карбокси- замещенных корролазинов P^V в буферах Бриттона-Робинсона с диапазоном pH 2,5–12.

Литература

1. Ivanova S.S., Salnikov D.S., Knorr G., Ledovich O., Sliznev V., Kubat P., Novakova V., Stuzhin P.A. *Dalton Transactions*. **2022**, 51, 1364–1377.
2. Novakova V., Donzello M. P., Ercolani C., Zimcik P., Stuzhin P. A. *Coordination Chemistry Reviews*. **2018**, 361, 1–73.
3. Chufarin A. E., Skvortsov I. A., Lazovskiy D. A., Stuzhin P. A. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*. **2024**, 452, 115564.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ: грант № 23-43-00136.

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ КРАСИТЕЛЕЙ ВОДИРУ С ФРАГМЕНТАМИ ЦИАНУРОВОЙ КИСЛОТЫ

Гончаренко А.А.^{1,2}, Калягин А.А.², Финогенов Д.Н.¹,
Стужин П.А.¹, Антина Е.В.²

¹Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново,
Россия

²Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
Иваново, Россия

E-mail: alexs.goncharenko@yandex.ru

Симм-триазины широко применяются в различных областях, особенно как основа пестицидов. Попадая в организм, они метаболизируются до циануровой кислоты, способной к образованию супрамолекулярных комплексов с меламинам. Цианурат меламина обладает высокой нефротоксичностью, представляя серьезную опасность для здоровья человека. Это вызывает необходимость выявления меламина и родственных ему соединений в кормах, молоке и других продуктах, стимулируя поиск новых современных методов их обнаружения и количественного определения.

В настоящей работе был впервые осуществлен синтез бордипирриновых красителей с фрагментами циануровой кислоты (рис.1). Структуры для исследования были выбраны исходя из следующих задач:

- 1) Изучение возможности спектрофотометрического детектирования супрамолекулярного взаимодействия с меламинам;
- 2) Определение влияния фенильного линкера на спектрофотометрический отклик;
- 3) Изучение возможности получения смешанных супрамолекулярных комплексов красителей в присутствии меламина.

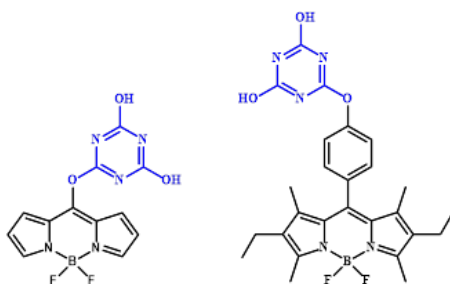


Рисунок 1 – структуры полученных красителей

Структура синтезированных соединений подтверждена комплексом спектральных методов (1H ЯМР, масс-спектрометрия). Фотофизические свойства соединений исследованы методами спектрофотометрии (ЭСФ) и спектрофлуориметрии, включая времяразрешенные измерения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ: проект № 24-73-00309

НОВАТОРСКИЙ ПОДХОД К БЫСТРОЙ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В МОДЕЛЬНЫХ ЛИПИДНЫХ МЕМБРАНАХ

Данилова Д.К.¹, Островерхов П.В.², Медведев Д. Ю.^{1,2},
Грин М.А.², Селектор С.Л.¹

¹ Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина,
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;

² Институт тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова
МИРЭА - РТУ, 119571, г. Москва, проспект Вернадского, 86

Исследование механизмов фотодеградации липидных монослоёв является актуальным направлением в рамках разработки методов быстрых сравнительных испытаний новых агентов для фотодинамической терапии (ФДТ). В работе объектами исследования выбраны два ряда ФС на основе производных хлорина е6. В первый ряд вошли катионные производные: аминобутиламид феофорбида *a* (A4Achl е6), гуанидиновое (Guachl е6) и бигуанидиновое (biGuachl е6) производные хлорина е6 (рис. 1а). Второй ряд составлен из анионно-нейтральных соединений: хлорин е6 (Chl е6), метилфеофорбид *a* (MePPB *a*) и триметилвый эфир хлорина е6 (3MeChl е6)

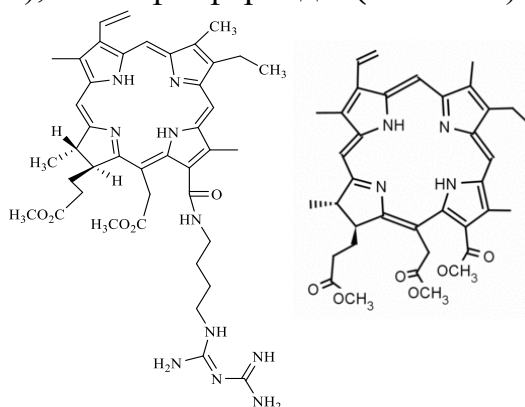


Рис. 1. Структурные формулы

(а) (biGuachl е6), (б) 3MeChl е6

этим данным невозможно. Для быстрой и более детальной оценки эффективности ФС предложена новая экспресс-методика, основанная на регистрации изменения поверхностного давления смешанного монослоя Ленгмюра липид:ФС при облучении на водной субфазе. Облучение монослоёв, содержащих ФС, приводит к падению поверхностного давления, указывая на разрушение монослоя. Наиболее эффективным ФС оказался biGuachl е6. Результаты коррелируют с данными, полученными при изучении влияния облучения на вязкоупругие свойства монослоёв: механические свойства системы с biGuachl е6 снижаются при облучении сильнее, чем у других смешанных монослоёв, подтверждая высокую эффективность этого ФС для фотодеструкции липидных мембран.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант 23-73-01276

КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА КУМАРИНОВОГО ПРОИЗВОДНОГО ДИФИЛЬНОГО СПИРОПИРАНА В МОНОСЛОЯХ ЛЕНГМЮРА

Дегтярева В.А.¹, Макшанова А.О.¹, Митянов В.С.¹,
Кутасевич А.В.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, 9.

²ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский пр-т., 31, к.4

Разработка высокочувствительных и селективных сенсорных платформ требует создания новых функциональных материалов. Перспективными объектами являются фотохромные соединения, в частности спиропираны, способные обратимо менять структуру и свойства под внешним воздействием. Несмотря на то, что в растворах способность спиропиранов связывать определенные катионы с образованием окрашенных мероцианиновых комплексов хорошо известна и служит основой для детектирования некоторых металлов, хемосенсорные свойства этих соединений в ультратонких пленках изучены недостаточно. Таким образом, актуальной задачей является исследование сенсорной активности спиропиранов в условиях упорядоченного монослоя, и способности к селективному связыванию катионов, что принципиально важно для создания твердотельных детектирующих устройств.

В данной работе изучены фотохромные и хемосенсорные свойства в монослоях Ленгмюра на основе дифильного кумаринового спиропирана 1-гексадецил-3,3,4'-триметил-2'Н-спиро[индолин-2,8'-пирано[2,3-f]хромен]-2'-она (MV1901) на границе раздела фаз. Показано, что соединение MV1901 образует стабильные монослои на границе вода/воздух. Изотермы сжатия демонстрируют четкий переход из жидко-расширенного в жидко-конденсированное состояние. Под действием УФ-излучения наблюдается фотоиндуцированное раскрытие спиропиранового цикла с переходом в мероцианиновую форму, что подтверждается увеличением молекулярной площади на $\sim 5 \text{ \AA}^2$ и изменением электронных спектров поглощения монослоя. Изучены комплексообразующие свойства MV1901 в органических растворителях и на границе раздела фаз. Установлена способность монослоев этого соединения селективно связывать ионы меди (II) на границе раздела фаз. Спектрально зафиксировано образование комплекса с медью, проявляющееся в появлении и росте полосы поглощения в видимой области ($\sim 560\text{-}580 \text{ нм}$). Управление молекулярной упаковкой и фотохромными превращениями позволяет регулировать оптический отклик системы, что открывает перспективы для разработки новых хемосенсоров и функциональных материалов для молекулярной электроники и фотоники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ ХИТОЗАН-НАНОАЛМАЗ

Исакова А.А.¹, Сафонов А.В.¹, Абрамова Е.С.¹, Ярыкин Д.И.¹,
Инденбом А.В.², Николаева Т.Н.³, Иванова В.Т.³, Морозова Е.О.³, Спицын Б.В.¹

¹ ИФХЭ РАН, г. Москва, Ленинский проспект, д.31.корп.4

² МФТИ, 141701, МО, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.

³ ФГБУ «НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи» МЗ РФ, г.Москва, ул.Гамалеи, дом 18

Создание и поиск новых материалов, обладающих антибактериальной активностью является актуальной задачей. Это связано с тем, что применение антибиотиков приводит к развитию у бактерий резистентности и, соответственно, заставляет искать новые альтернативные пути в области антибактериальной терапии. В настоящей работе обсуждается способ создания новых композиционных материалов на основе природного биополимера и нанодiamondов детонационного синтеза. На данных композитах был исследован бактерицидный эффект в отношении грамположительных *Staphylococcus aureus*, *Penicabacilius DSB-2-2* и грамотрицательных *Pseudomonas c-49-2* бактерий, а также исследовано падение титра вируса гриппа (штаммы А/Москва/52/22 (H1N1pdm09), А/Москва/15/23 (H3N2), гриппа В/Москва/29/22). Для оценки бактерицидного эффекта пользовались микробиологическим тестом подсчёта выросших на твёрдой питательной среде бактериальных колоний, а также была произведена оценка микробной дыхательной активности методом МТТ-теста по окраске (3-(4,5-диметил-2-тиазолил)-2,5-дифенил-2Н-тетразолия бромид) в растворе ДМСО. Посев бактерий на поверхность композитных пленок ДНА/хитозан не приводит к росту колоний живых микробных клеток *Staphylococcus aureus* в питательном бульоне в количестве 20×10^8 КОЕ/мл. Для грамположительных *Penicabacilius DSB-2-2* наблюдали снижение дыхательной активности примерно в 40-50 раз. Для грамотрицательных *Pseudomonas c-49-2* наблюдалось снижение дыхательной активности более чем в 100 раз, при этом показано, что композиты с использованием хлорированных ДНА обладают более выраженным бактерицидным эффектом. Вероятно, такая особенность взаимодействия композитов хитозан/нанодiamond связана с различием в строении клеточной стенки грамположительных и грамотрицательных бактерий

Для исследования взаимодействий композитов хитозан/нанодiamond была выбрана методика оценки падения гемагглютинирующих титров вируса до и после взаимодействия с композитами. Установлено, что взаимодействию с композитами приводит к падению титра вируса гриппа от 32 до 64 раз независимо от структуры поверхностных белков вируса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 125012200583-5, 125012200626-9, 122021800184-3)

ГИБРИДНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ФТАЛОЦИАНИНАТОВ МЕДИ И ЦИНКА В МАТРИЦЕ ПОЛИ-(3,4-ЭТИЛЕНДИОКСИТИОФЕНА) В КАЧЕСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА АММИАК

Кабанова В.А., Грибкова О.Л., Некрасов А.А.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН), Москва, Россия

Методом электрохимического осаждения были получены композиты поли-3,4-этилендиокситиофена (ПЭДОТ) с водорастворимыми (окта(3',5'-дикарбоксифеноксид) фталоцианинатами цинка и меди. Эти фталоцианинаты обладают 16-ю ионогенными карбоксилатными группами, способными к диссоциации в водной среде, и выступающими в качестве противоионов для компенсации положительных зарядов цепи ПЭДОТ при электрохимическом синтезе.

Электроосаждение осуществляли на оптически прозрачные стеклянные электроды с проводящим слоем FTO, а также электроды с электроосажденным на FTO подслоем ПЭДОТ. Синтез проводился в трех режимах: циклирования потенциала, потенциостатическом, и гальваностатическом. Было изучено влияние центрального атома металла фталоцианината и соотношений ЭДОТ к карбоксилатным группам (1:2, 1:4, 1:6) на ход электрополимеризации. Показано, что, электросинтез слоев композитов наиболее эффективно проходит на подслое в гальваностатическом и потенциостатическом режимах.

Исследования электронной и химической структуры методами электронной спектроскопии в УФ-видимой-ближней ИК областях и спектроскопии комбинационного рассеяния показали, что фталоцианинаты во всех случаях входят в состав композитов с ПЭДОТ. Установлено, что содержание фталоцианината меди в пленках композитов ПЭДОТ выше, чем в случае использования фталоцианината цинка.

Полученные пленки были использованы в качестве функциональных слоев в оптических сенсорах на высоко токсичный газ аммиак. Все полученные пленки композитов показали чувствительность к аммиаку в пределах ПДК рабочей зоны. Наилучшие характеристики продемонстрировали пленки ПЭДОТ с фталоцианинатом меди.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583)

**НОВАЯ СТРУКТУРА СТАТЕЙ ПО ХИМИИ И УСЛОВИЯ
БЫСТРОЙ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ
«ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК. СЕРИЯ ХИМИЧЕСКАЯ»
(RUSSIAN CHEMICAL BULLETIN)**

Коннова Г.Н.

*Институт органической химии имени Н. Д. Зелинского РАН,
19991 Москва, Ленинский просп., 47*

Журнал издается на русском и английском языках. Издателем английской версии остается издательство Springer and Business Media LLC. Журнал выходит в электронном и печатном виде. Электронная русскоязычная версия доступна на сайте e-library (www.elibrary.ru), англоязычная — на сайте Springer (<http://link.springer.com/journal/11172>). Ежегодно публикуется не менее 350 статей из 130 российских и зарубежных научных центров. Журнал включен в список ВАК, индексируется и реферируется ведущими реферативными журналами, в том числе Science Citation Index, SCOPUS, ChemWeb и др. Импакт-фактор составляет 1.7. Высокое качество статей достигается в результате тщательного отбора материала путем двойного рецензирования и научного редактирования. Хорошо подготовленные статьи публикуются за 2—4 месяца.

В журнале публикуются аналитические обзоры и оригинальные статьи в виде полных статей, кратких сообщений и писем редактору. Тематика журнала охватывает все направления химической науки, в том числе супрамолекулярную химию, и смежные области (см. например, 2023 г.: № 4: стр. 819, 853; № 7: стр. 1512, 1542; № 9: стр. 2154; № 11: стр. 2717; 2024 г.: № 2: стр. 283; № 3, стр. 644; № 4: стр. 871; № 6: стр. 1836; № 8: стр. 2151; № 10: стр. 2921; № 11: стр. 3239; 2025 г.: № 2 стр. 418; № 3: стр. 559; № 7: стр. 1976).

Журнал не публикует работы по частным и сугубо прикладным вопросам.

С 2023 г. в публикациях перед списком литературы приводятся разделы «Благодарности» (если есть), «Финансирование», «Соблюдение этических норм», «Конфликт интересов». Правила и примеры оформления новых разделов размещены на сайте журнала: <http://www.russchembull.ru>. С 2025 г. вместе со статьей необходимо направлять «Supplementary materials» для размещения в свободном доступе.

МОНОСЛОИ ЛЕНГМЮРА В КАЧЕСТВЕ СТРУКТУРНЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ БИСЛОЙНЫХ МЕМБРАН¹

Крылов Д.И.¹, Арсланов В.В.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4;

E-mail: da.krylov228@yandex.ru

Предсказание функциональных свойств везикулярных наноконтейнеров представляет собой одну из ключевых задач при создании устойчивых частиц для адресной доставки лекарственных веществ. Для решения этой задачи многие годы с успехом используется подход, в котором биомембраны липосом моделируются монослоями Ленгмюра. В настоящее время наиболее перспективными везикулярными аналогами липидных частиц являются ниосомы, которые состоят из неионогенных поверхностно-активных веществ. Установление корреляции физико-химических свойств планарных и везикулярных объектов и разработка подходов, обеспечивающих получение ниосом с высокой стабильностью открывает перспективы для создания интеллектуальных везикул. В рамках этой проблемы остаётся предметом активных исследований влияние важнейшего компонента-стабилизатора везикул и монослоев - холестерина - на механические свойства мембран, поскольку его способность управлять их текучестью и жёсткостью в значительной степени определяет свойства создаваемых функциональных частиц.

В связи с этим в настоящей работе установлена фундаментальная взаимосвязь между термодинамическими свойствами монослоёв Ленгмюра и стабильностью ниосом. Показано, что знак и величина избыточной свободной энергии смешанных монослоев служат надёжным критерием прогнозирования устойчивости везикулярных систем. Методом поверхностной дилатационной реологии изучены вязкоупругие свойства монослоев, выявлена двойственная роль холестерина в механическом поведении организованных модельных систем. Исследования монослоев рентгеновскими методами позволило связать структурную организацию пленок с их механическими свойствами. Таким образом комплексный анализ монослоев Ленгмюра позволяет прогнозировать функциональные возможности везикул, что открывает перспективы для рационального дизайна ниосомальных структур с заданным набором свойств.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект 23-73-00037)

СТРУКТУРНЫЕ И КООРДИНАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСОВ СПИРОПИРАНОВ

Кузнецов И.О.¹, Кутасевич А.В.¹, Митянов В.С.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

² ИФХЭ РАН, 119071, Россия, Москва, Ленинский пр-т, д.31, корп.4

Спиропираны относятся к классу фотоактивных хромофоров, способных к обратимой изомеризации между закрытой и открытой мероцианиновой формами. Их модификация длинноцепочечными алкильными заместителями по атому азота приводит к изменению растворимости, стабильности и склонности к самоорганизации, а также влияет на способность к комплексообразованию. Исследование взаимодействия таких соединений с катионами металлов представляет интерес для разработки фотоуправляемых сенсоров и функциональных материалов. Формирование комплексов может сопровождаться различными структурными перестройками молекулы, включая фенолят-координацию, образование кето-мероцианиновых форм, О,О-хелатирование, а также пространственные изомеризации ($E \leftrightarrow Z$, $\text{транс} \leftrightarrow \text{цис}$). Каждый из этих типов комплексов отличается устойчивостью, кинетикой формирования и потенциалом фотохромного поведения, что создаёт широкий спектр функциональных состояний.

Электронная спектроскопия позволяет охарактеризовать изменения сопряжённой системы и динамику комплексообразования, фиксируя возникновение новых максимумов поглощения и их трансформацию со временем. Такие наблюдения позволяют делать выводы о характере стехиометрии и общих тенденциях формирования комплексов, хотя на основании только UV-vis спектров невозможно однозначно идентифицировать все существующие формы координации. Протонная ЯМР-спектроскопия, в частности химический сдвиг метиленовой группы при атоме азота, служит локальным маркером координационного окружения, отражая изменения распределения электронной плотности и позволяя различать строение комплексов с разными катионами.

Совмещение спектроскопии электронного поглощения и ¹H ЯМР представляет мощный инструмент для всестороннего изучения устойчивости комплексов, кинетики и избирательности взаимодействия фотохромов с катионами металлов. Такой подход позволяет выявлять особенности стехиометрии и конформационной перестройки молекулы, оценивать влияние фотохромных эффектов и прогнозировать возможности управления структурой и свойствами комплексов с помощью света. Полученные данные расширяют представления о координационной химии спиропиранов и создают основу для разработки новых фотоуправляемых хемосенсоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FSSM-2023-0003)

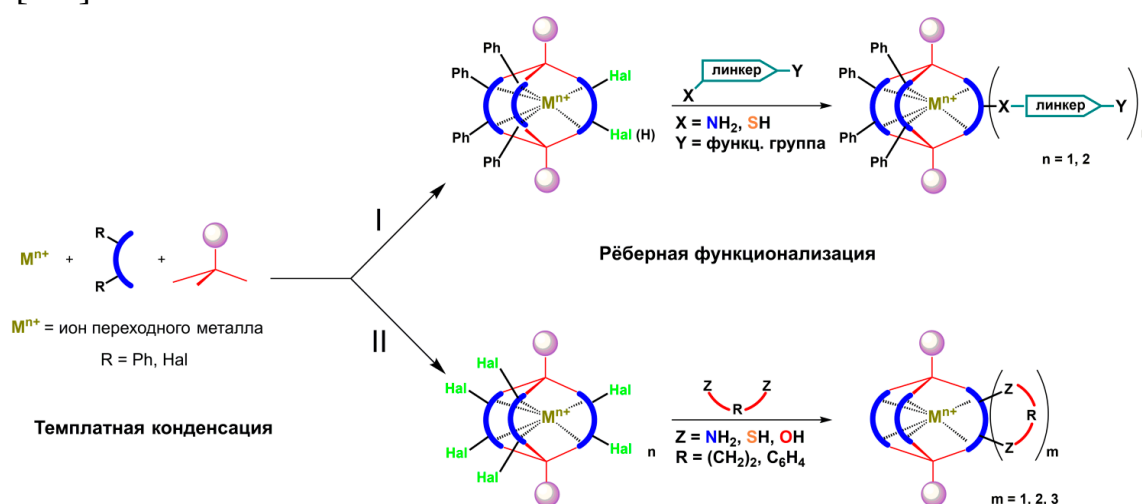
РЁБЕРНАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ (ПОЛИ)ГАЛОГЕНОКЛАТРОХЕЛАТОВ 3d-МЕТАЛЛОВ С АПИКАЛЬНЫМИ РЕАКЦИОННОСПОСОБНЫМИ (ВЕКТОРНЫМИ) ГРУППАМИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ N-, S-, O-СОДЕРЖАЩИХ НУКЛЕОФИЛОВ

Лимарев И.П.^{1,2}, Волошин Я.З.^{1,2}

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова
Российской академии наук, Москва, Ленинский проспект, 31;

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской академии наук Москва, ул. Вавилова, 28, стр. 1

Темплатной конденсацией трёх хелатирующих α-диоксиматных лигандных синтонов на ионе 3d-металла как матрице под действием функционализированных борсодержащих кислот Льюиса и/или эфирата трифторида бора по схеме 1 был получен ряд моно-, ди- и гексагалогеноклатрохелатов [1]. Эти макробициклические предшественники (в том числе, содержащие апикальные векторные заместители) вступали в реакции постсинтетической рёберной функционализации под действием различных реакционноспособных N-, S-, O-нуклеофильных агентов, приводящие к образованию их моно-, ди- и трехрёберно-функционализированных производных с линкерным алифатическим или ароматическим фрагментом, а также к гибридным комплексам, содержащим полиэдрический заместитель [2-6].



1. Я.З. Волошин, И.Г. Белая, Р. Кремер, *Клеточные комплексы металлов: клатрохелаты возвращаются*, Москва, 2019
2. G.E. Zelinskii, I.P. Limarev, Y.Z. Voloshin et al. *Chem. Select*, 2019, 4, 11572
3. G.E. Zelinskii, I.P. Limarev, Y.Z. Voloshin et al. *Molecules*, 2021, 26, 3635
4. I.P. Limarev, G.E. Zelinskii, Y.Z. Voloshin et al. *Trans. Met. Chem.*, 2022, 47, 321
5. I.P. Limarev, G.E. Zelinskii, Y.Z. Voloshin et al. *Chin. J. Chem.*, 2022, 40, 2089
6. I.P. Limarev, S.A. Belova, Y.Z. Voloshin et al. *Proc. Saf. Env. Protec.*, 2024, 192, 285

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 24-13-00230)

ОРГАНИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ПОЛИФЛУОРЕНА, НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНОГО ТИПА И КОМПЛЕКСОВ МЕТАЛЛОВ

Лыпенко Д.А.¹, Дмитриев А.В.¹, Чулкова Т.Г.², Якиманский А.В.²,
Бурлов А.С.³, Грибанов П.С.⁴, Чмовж Т.Н.⁵, Жуков И.А.⁶, Коршунов В.М.⁷

¹ИФХЭ РАН им. А.Н. Фрумкина, Москва, Россия,

² Филиал НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ - ИВС, СПб, Россия

³НИИ физической и органической химии ЮФУ, Ростов-на-Дону, Россия

⁴ИНЭОС РАН им. А. Н. Несмеянова, Москва, Россия

⁵ИОХ РАН им. Н. Д. Зелинского, Москва, Россия

⁶Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

⁷ФИАН имени П.Н. Лебедева, Москва, Россия

Для практического использования органических светоизлучающих устройств (OLED) важной задачей является разработка и исследование новых люминофоров, обладающих высоким квантовым выходом люминесценции, фото- и термостабильностью.

Нами были изучены электролюминесцентные (ЭЛ) свойства ряда комплексов металлов. Комплексы цинка (II) с бидентатными азометиновыми лигандами продемонстрировали высокую стабильность в OLED, яркость которых достигала 8000 кд/м², а внешняя квантовая эффективность (EQE) – 3%. На основе комплекса Sc были получены ЭЛ устройства, обладающие интенсивной полосой излучения в зеленой области спектра с EQE 11%. Были разработаны и исследованы высокоэффективные OLED, включающие комплексы Ir (III), излучающие свет основных цветов - синего, зеленого и красного. На их основе были разработаны OLED-источники, излучающие белый свет различных оттенков.

Исследованные нами производные полифлуоренов (ПФ), включающие различные транспортные и люминесцентные группы обладают сбалансированной подвижностью носителей зарядов и превосходными пленкообразующими свойствами. В зависимости от состава ПФ многослойные светодиодные устройства на их основе излучали свет во всем видимом диапазоне спектра с яркостью, превышающей 10000 кд/м².

Соединения донорно-акцепторного типа, обладающие термически активированной замедленной флуоресценцией (TADF) позволяют получить внутреннюю квантовую эффективность близкую к 100%. OLED на основе новых донорно-акцепторных производных хроменопиразола продемонстрировали высокую яркость – 15000 кд/м² и EQE – 14.6%.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583)

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ НИТРОЗАМЕЩЕННЫХ СПИРОПИРАНОВ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ И НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ

Макшанова А.О.¹, Дегтярева В.А.¹, Райтман Е.В., Митянов В.С.¹, Кутасевич
А.В.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹*РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Россия*

²*ИФХЭ РАН, 119071, Россия, Москва, Россия*

E-mail: annmakshanova@yandex.ru

Молекулярные переключатели представляют собой вещества, которые легко подвергаются изомеризации между двумя термодинамически устойчивыми формами, существенно различающимися по своим физическо-химическим свойствам, под действием внешних стимулов. Растущий интерес проявляется к изучению органических фотохромных переключателей на основе спиропиранов. В таких соединениях под действием ультрафиолетового света или других факторов происходит реакция раскрытия пиранового цикла, в результате чего молекула переходит из слабополярного спиро-изомера в дипольную мероцианиновую форму. Кроме того, одной из особенностей спиропиранов является их способность образовывать комплексы с некоторыми металлами. Однако до настоящего времени подобные системы в ультратонких пленках практически не изучены.

В данной работе изучены физико-химические и комплексообразующие свойства 1'-гексадецил-3',3'-диметилспиро[хромен-2,2'-индолина] и его динитрозамещенного производного в растворах, а также в монослоях Ленгмюра на границе раздела воздух/вода. Изучены кинетические характеристики фотореакций, а также особенности связывания спиропиранами катионов различных металлов в органических растворителях. Установлено, что исследуемые дифильные спиропираны при смешивании с цетиловым спиртом формируют устойчивые фоточувствительные монослои. Облучение УФ-светом таких пленок приводит к смещению изотерм сжатия в сторону больших площадей, сопровождаемому ростом полосы поглощения, соответствующей мероцианиновой форме фотохрома. Показано, что введение в субфазу катионов меди также вызывает увеличение средней площади, занимаемой молекулой на поверхности, и появление в спектре поглощения полосы в области 520 нм, что свидетельствует об эффективном связывании данного металла спиропиранами на границе раздела фаз. Полученные результаты открывают широкие перспективы использования соединений данного класса для разработки сенсорных устройств чувствительных к катионам металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003)

НАНОНОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ УРАЦИЛА ДЛЯ РЕДОКС-УПРАВЛЯЕМОЙ ДОСТАВКИ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В РАКОВЫЕ КЛЕТКИ

Мансурова Э.Э.^{1,2}, Любина А.П.², Шулаева М.М.², Усанев А.Ю.³,
Низамеев И.Р.⁴, Волошина А.Д.², Жданова К.А.³, Брагина Н.А.³,
Зиганшина А.Ю.², Семенов В.Э.², Антипин И.С.¹

¹ Химический институт им А.М. Бутлерова, КФУ

² ИОФХ им. А.Е. Арбузова ОСП ФИЦ КазНЦ РАН

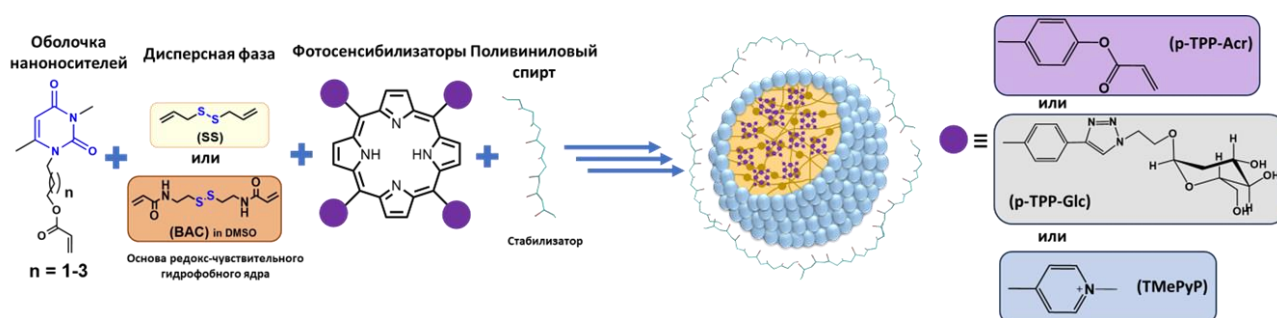
³ МИРЭА - Российский технологический университет

⁴ КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева

В течение последних десятилетий были разработаны новые методы лечения онкологических заболеваний, среди которых выделяется фотодинамическая терапия (ФДТ). Данный метод основан на генерации активных форм кислорода (АФК) при взаимодействии света с фотосенсибилизаторами. Для повышения эффективности ФДТ разрабатываются усовершенствованные системы доставки фотосенсибилизаторов, которые способствуют их более глубокому проникновению в клеточные структуры и усилению терапевтического эффекта.

В данной работе представлены наноносители, созданные в результате наноэмульсионной полимеризации с использованием производных метилурацила и веществ с дисульфидными связями. Производные метилурацила формируют оболочку наноносителей, а соединения с дисульфидными связями выполняют роль дисперсной фазы, формируя гидрофобное ядро. В ядро наноносителей были инкапсулированы производные порфирина с различными заместителями в мезо-положении. Внутриклеточный антиоксидант глутатион вызывает восстановление дисульфидных связей, что приводит к разрушению частиц и высвобождению фотосенсибилизатора.

Биологические исследования показали значительное снижение жизнеспособности раковых клеток линии М-HeLa при обработке их растворами композитов с катионным порфирином. Результаты флуоресцентной микроскопии подтвердили образование внутриклеточных активных форм кислорода при облучении обработанных наноносителями клеток.



БОР- И ФТОР-СОДЕРЖАЩИЕ ЭЛЕМЕНТОРГАНИЧЕСКИЕ «PUSH-PULL» АРХИТЕКТУРЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЛЮМИНОФОРЫ И ХЕМОСЕНСОРЫ

Мосеев Т.Д.¹, Вараксин М.В.^{1,2}, Идрисов Т.А.¹, Лавринченко И.А.¹, Никифоров Е.А.¹, Чарушин В.Н.^{1,2}, Чупахин О.Н.^{1,2}

¹ Уральский федеральный университет, 6200062, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19,

² Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, 620066, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 22

E-mail: timofey.moseev@urfu.ru

Современные органические люминесцентные материалы находят свое применение в качестве органических светодиодов (OLED), полевых транзисторов, молекулярных выпрямителей тока, хемосенсоров и других рабочих элементов молекулярной электроники. Наиболее эффективными из них считаются системы, состоящие из электронодонорной и электроноакцепторной части, соединенные различными π -линкерами. Примерами таких систем могут быть D- π -A, A- π -D- π -A, D- π -A- π -D и пр., где D – электронодонорный фрагмент, π – π -линкер, A – электронакцепторный фрагмент и другие (Рис. 1). Особое внимание благодаря пространственному и электронному строению заслуживают бор- и фторсодержащие молекулярные фрагменты в качестве электроноакцепторных групп, поскольку их введение позволяет производить тонкую настройку оптических свойств и появлению необходимых фотофизических эффектов (AIE, AIEE, ICT, TICT и др.)

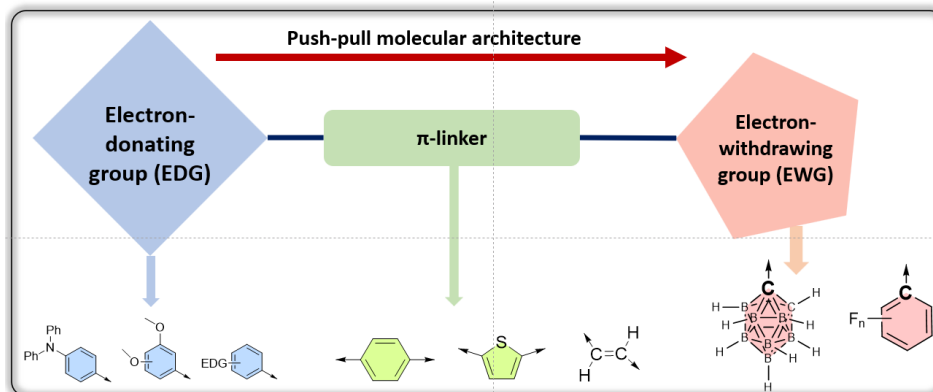


Рис. 1. Принципиальная схема «push-pull» молекулярных архитектур

В настоящем докладе рассматриваются результаты исследований нашей научной группы в области получения и исследования прикладных свойств карборанильных и пентафторфенилированных «push-pull» молекулярных архитектур в качестве эффективных люминофоров, лигандов и хемосенсоров

Исследование проводилось при финансовой поддержке Российского научного фонда и правительства Свердловской области в рамках проекта № 24-13-20023, <https://rscf.ru/project/24-13-20023>

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ СПИРОСОЕДИНЕНИЙ С МЕДЬЮ (II)

Назарова А.О.¹, Кузнецов И.О.¹, Глебездина У.С.¹, Кутасевич А.В.¹, Митянов В.С.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹ РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

² ИФХЭ РАН, 119071, Россия, Москва, Ленинский пр-т, д.31, корп.4

Обнаружение катионов металлов является необходимым в различных областях химии, биологии, клинической биохимии, экологии и т.п. Целый ряд перспективных методов детектирования катионов основан на оптических методах исследования, так как при взаимодействии многих соединений с металлами происходит изменение цвета в системе и/или возникает флуоресценция. Особое внимание в области определения катионов переходных и тяжелых металлов привлекают спиросоединения, обладающие как фотохромными свойствами, так и способностью к комплексообразованию, приводящему к структурной трансформации молекулы, изменению ее физико-химических свойств, а также появлению окраски.

В настоящей работе методом оптической спектрофотометрии проведено исследование комплексообразования спиросоединений: 3,3-диметил-1-гексадецил-1,3-дигидроспиро[индолин-2,3'-нафто[2,1-b][1,4]оксазина] (MV1906) и 1'-гексадецил-3',3'-диметилспиро[бензо[f]хромен-3,2'-индолин] (MV1869). Показано, что при взаимодействии с ионами некоторых металлов в электронном спектре появляются полосы поглощения, соответствующие мероцианиновой форме фотохрома. Молекулы MV1906 способны моментально образовывать комплексы с такими катионами, как Al^{3+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Fe^{3+} , вызывая при этом интенсивное окрашивание раствора. В то же время введение катионов Cu^{2+} в раствор этого спиронафтоксазина приводит к смещению максимума поглощения в коротковолновую область по отношению к указанным выше металлам. При взаимодействии же меди со спиропираном MV1869 сначала образуется комплексное соединение с максимумом поглощения, совпадающим с полосой комплексов с другими металлами, который через некоторое время претерпевает гипсохромный сдвиг. В связи с этим, был выполнен ряд экспериментов, направленных на контролируемое проведение процесса комплексообразования данных спиросоединений с катионами Cu^{2+} . Обнаружено, что существенное влияние оказывают такие факторы как атмосфера, растворитель, природа металла и аниона. В результате было выявлено, что в воздушной атмосфере при взаимодействии катионов Cu^{2+} с раствором спиронафтоксазина происходит мгновенное окисление изучаемого соединения, а в случае спиропирана сначала образуется комплекс, который со временем также окисляется.

Проведение реакций в инертной атмосфере позволяет получать стабильные комплексы фотохромов с катионами металлов, что открывает широкие перспективы использования спиросоединений для разработки высокочувствительных сенсоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (проект FSSM-2023-0003)

ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ НА ОСНОВЕ ГЛУТАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДОСТАВКИ РЯДА ИММУНОССУПРЕССАНТОВ

Никитина М.Г.¹, Делягина Е.С.^{1,2}, Терехова И.В.¹

¹*Институт химии растворов Российской академии наук, Иваново, Россия*

²*Ивановский государственный университет, Иваново, Россия*

nikmariyaa@gmail.com

В настоящее время все больший интерес представляют системы доставки лекарственных соединений на основе металл-органических каркасов. Данные системы доставки лекарств позволяют увеличить фармакологическое действие препаратов и обеспечить их длительное действие за счет поддержания постоянной терапевтической концентрации лекарственного соединения в крови без ее резких изменений. Металл-органические каркасы представляют собой **пористые материалы**, состоящие из ионов или малых кластеров металлов, связанных органическими лигандами. Благодаря наличию пор разного диаметра и развитой удельной поверхности данные материалы способны адсорбировать молекулы лекарственных соединений и влиять на их физико-химические свойства.

В данной работе были синтезированы металл-органические каркасы на основе глутаминовой кислоты и катионов меди (II) и цинка (II) для доставки ряда иммуносупрессантов – финголимода, терифлуномида и лаквинимода. Методом сорбции из спиртового раствора разработанные металл-органические каркасы были загружены изучаемыми лекарственными соединениями. Полученные изотермы и кинетические кривые адсорбции иммуносупрессантов на поверхности металл-органических каркасов были обработаны с помощью математических моделей. Выявлено, что адсорбция лекарственных соединений на металл-органическом каркасе является физическим процессом и протекает в смешанно-диффузионном режиме.

Полученные композиты были охарактеризованы методами низкотемпературной сорбции/десорбции азота, рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и **инфракрасной спектроскопии**.

Проведены исследования процессов высвобождения иммуносупрессантов из металл-органических каркасов *in vitro* в буферных растворах, имитирующих среду кишечника. Проанализировано влияние включения лекарственных соединений в металл-органические каркасы на их физико-химические и фармакологически значимые свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №24-73-10085

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СИНТЕЗУ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФТАЛОЦИАНИНАТОВ ФОСФОРА(V)¹

Сафонова Е.А.¹, Половкова М.А.¹, Горшков Е.В.^{1,2,3}, Овченкова А.Е.^{1,3},
Горбунова Ю.Г.^{1,2,3}, Цивадзе А.Ю.^{1,2}

¹ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский просп., д.31, корп.4

²ИОНХ РАН, 119991, Москва, Ленинский просп., д.31

³МГУ, 11999, Москва, Ленинские горы, д.1

Актуальным направлением в химии фталоцианинов является создание эффективных фотосенсибилизаторов с поглощением в области терапевтического окна и обладающих растворимостью в воде. Введение атома Р(V) приводит к значительному батохромному сдвигу максимума поглощения Pcs , а также к увеличению их растворимости за счет появления положительного заряда и аксиальных лигандов.

В данной работе были разработаны различные подходы для получения серии водорастворимых PcP . Так, были введены различные гидрофильные заместители как в периферийные положения макрокольца, так и в аксиальные лиганды непосредственно на этапе синтеза комплекса Р(V) (Схема. 1).

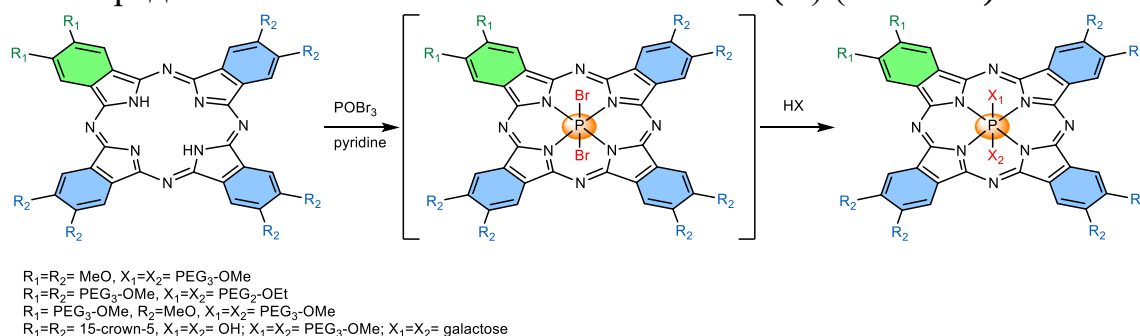


Схема. 1. Стандартная схема синтеза $PcP(V)$.

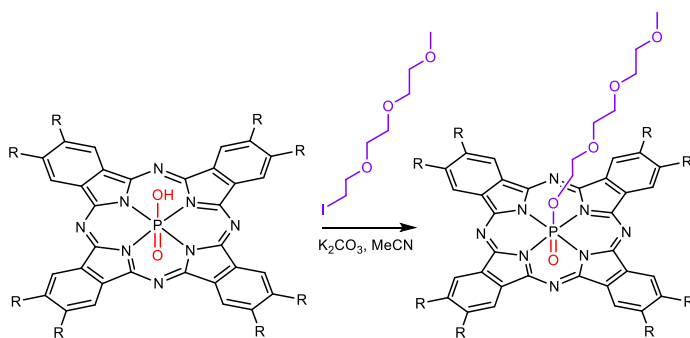


Схема. 2. Схема алкилирования гидроксильных аксиальных лигандов комплексов $PcP(V)$.

Кроме того, впервые была продемонстрирована возможность замещения аксиальных ОН-групп посредством реакции алкилирования с образованием моно-замещенного продукта (Схема 2), что открывает широкие возможности для дальнейшей модификации, включая введение специфических таргетных групп для различных биомедицинских применений.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант №24-73-10192)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКИХ ПЛЕНОК ДВОЙНОГО ГАЛОГЕНИДНОГО ПЕРОВСКИТА¹

Саяров И.Р.¹, Тамеев А.Р.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина,
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4*

Металлогалогенидные перовскиты стали перспективным материалом для опто-электронных устройств благодаря ряду преимуществ таких как: настраиваемая ширина запрещенной зоны, высокий коэффициент поглощения света, высокое значение длины диффузии и подвижности носителей заряда, а также простоте изготовления их тонких пленок. Основная проблема, препятствующая широкомасштабному внедрению перовскитных материалов, связана с их нестабильностью на воздухе. Однако бессвинцовые двойные галогенидные перовскиты лишены этого недостатка. Одним из многообещающих материалов среди них может быть $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$, который к тому же является экологически чистой альтернативой, так как свинец в нем замещен менее токсичными одно- и трехвалентными катионами [1]. В этой связи актуальной задачей является исследование электрических свойств $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$.

Цель работы состояла в исследовании фотопроводимости и подвижности носителей заряда в поликристаллических пленках двухгалогенидного перовскита $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$.

С помощью сканирующего электронного микроскопа и метода рентгеновской дифракции были определены размеры кристаллических зерен, которые лежат в пределах от 100 нм до 300 нм. Измерения подвижности носителей заряда были выполнены методом темновой инжекции токов, ограниченных пространственным зарядом (ТИ-ТОПЗ). Данный метод был впервые применен для исследования перовскита $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$. Метод ТИ-ТОПЗ является предпочтительным подходом для характеристики новых материалов, так как позволяет исследовать свойства тонких пленок толщиной, которая приближена к значениям в электронных устройствах.

Полученное значение подвижности носителей заряда в пленке толщиной 800 нм равно $(0.33 \pm 0.03) \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Удельная электрическая проводимость была определена в двух ортогональных направлениях: в плоскости пленки и перпендикулярно к ней. Пленочные образцы $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ показали фотоотклик при облучении светом видимого диапазона спектра (300 нм - 600 нм). При небольших значениях интенсивности светового потока ($17 \text{ мВт}/\text{см}^2$) и напряженности поля ($10^{-2} \text{ В}/\text{см}$) отношение фототока к темновому составило более 5.

Полученные данные фотопроводимости и подвижности носителей заряда в $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ представляют практическую ценность, обеспечивая основу для оптимизации технологии получения тонкопленочных структур. Исследование способствует как расширению фундаментальных знаний о механизмах переноса заряда, так и оценке прикладного потенциала нового материала.

Литература

1. Biswas I., Dey A., Dalal A., Saha S., Nunzi J-M., Mondal A. Stable, self-biased $\text{Cs}_2\text{AgBiBr}_6$ thin-film based photodetector by three-step vapor-deposition. J. Alloys Compd. 2024, 976, 172903;

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2025-583)

ВЛИЯНИЕ ГЕМИКУРКУМИНОИДА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОНОСЛОЕВ И ПЛЕНОК ПОЛИДИАЦЕТИЛЕНА С ИОНАМИ СВИНЦА

Скворцова Н.Г.¹, Берлёва А.В.¹, Ахмадеев Б.С.², Мустафина А.Р.²
Селектор С.Л.¹

¹ *Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина,
119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;*

² *Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ
КазНЦ РАН, 420088 Казань, ул. Арбузова, 8,*

Тяжелые металлы опасны для окружающей среды и здоровья человека даже в следовых количествах, поэтому необходимо продолжать поисковые исследования для усовершенствования и повышения чувствительности методов детектирования тяжелых металлов. Полидиацетилены (PDA) - уникальные материалы, обладающие способностью хроматического перехода из синей нефлуоресцентной формы в красную флуоресцентную при связывании различных биологических аналитов, а также тяжелых металлов. Высокоструктурированные Ленгмюровские пленки могут быть получены путем смешивания основного представителя полидиацетиленов – 10,12 - пентакозадиеновой кислоты (PCDA) с различными модифицирующими добавками. В данном исследовании в качестве стабилизирующей функциональной добавки был выбран представитель гемикуркуминоидов, ранее проявивший себя как сенсор для флуоресцентного мониторинга ионов тяжелых металлов и полиаминокислот при включении его в полидиацетиленовые полимерные везикулярные агрегаты. Рассмотрено его влияние на взаимодействие смешанных монослоев Ленгмюра состава PCDA:HCur 10:1 на границе раздела воздух-вода и формируемых из них пленок на твердых подложках с растворами перхлората свинца различной концентрации для разработки эффективного и чувствительного сенсора на катионы свинца. С помощью электронной и флуоресцентной спектроскопии установлено, что при воздействии раствора перхлората свинца, как на монослой на границе раздела воздух-вода, так и на формируемые из него пленки происходит хроматический переход из синей нефлуоресцентной формы PCDA в красную флуоресцентную форму. Причем присутствие в системе гемикуркуминоида HCur приводит к возрастанию колориметрического индекса CR этого перехода. Установлено, что гемикуркуминоид обеспечивает увеличение флуоресценции красной формы PCDA после воздействия раствора перхлората свинца более чем в 2 раза. Также обнаружено тушение флуоресценции HCur со сдвигом пика спектра флуоресценции на 15-30 нм при одновременном небольшом увеличении интенсивности его полос поглощения, что позволяет предположить, что гемикуркуминоид принимает участие в координационном связывании ионов свинца.

КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ШЕСТИВАЛЕНТНЫХ АКТИНИДОВ С ПРОИЗВОДНЫМИ ЗАМЕЩЕННЫХ ФОСФИНОКСИДОВ

Сиволап А.А.¹, Федосеев А.М.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31 корп. 4
E-mail: sivolapaline@yandex.ru*

Разработка новых лигандов для связывания катионов металлов включает их модификацию с помощью различных функциональных групп, способных влиять на координационные свойства. Нитрогруппа ($-\text{NO}_2$) представляет особый интерес благодаря своим электроноакцепторным и высокополярным свойствам, которые могут значительно изменять характер взаимодействия лиганда с катионом металла. Синтез нитрофенолов с использованием азотной кислоты часто осложняется низкой селективностью, приводящей к образованию побочных продуктов, таких как динитросоединения и окисленные производные. В случае алкиловых эфиров 2-гидроксифенилфосфоновых кислот дополнительным ограничением является их склонность к гидролизу в присутствии сильных кислот. В связи с этим нитропроизводные эфиров 2-гидроксифенилфосфоновых кислот остаются малоизученным классом соединений.

В данной работе путем взаимодействия диэтил(2-гидрокси-5-этилфенил)фосфоната (HL) с нитратом уранила в ацетонитриле был синтезирован комплекс $[\text{UO}_2(\text{HL}^1)_2(\text{NO}_3)_2]$. Из образующегося комплексного соединения в дальнейшем выделен новый органический лиганд диэтил(5-этил, 2-гидрокси, 3-нитрофенил)фосфонат (HL^1). Образование нитропроизводного HL^1 , оказалось неожиданным результатом, поскольку уранил-нитрат ранее не применяли в целях нитрования фенольного фрагмента.

С полученным нитрофенолом проведен ряд исследований по изучению комплексообразования U(VI) , Np(VI) и Pu(VI) . В кристаллическом виде выделен и изучен методом рентгенструктурного анализа комплекс $[\text{NpO}_2(\text{HL}^1)_2(\text{NO}_3)_2]$. Для нитратов U(VI) и Pu(VI) было изучено межфазное распределение U(VI) и Pu(VI) в экстракционных системах с HL^1 . Показано, что An(VI) образуют с HL^1 экстрагируемые соединения, в которых на атом металла приходится две молекулы экстрагента, что в случае U(VI) согласуется с данными, полученными для кристаллического комплекса.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2025-583)

ФОТОХРОМНЫЕ СВОЙСТВА ДИФИЛЬНЫХ СПИРОИНДОЛИНОБЕНЗОПИРАНОВ И СПИРОНАФТОКСАЗИНОВ

Спицын Н.Ю.¹, Кутасевич А.В.¹, Митянов В.С.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹*РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, д.9*

²*ИФХЭРАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп.4*

E-mail: spitsyn.n.i@muctr.ru

Разработка молекулярных переключателей на сегодняшний день является актуальной задачей супрамолекулярной химии. В качестве таких переключателей применяются органические фотохромные молекулы, способные совершать обратимый переход между двумя различными по физико-химическим свойствам состояниями. Одним из перспективных классов органических фотохромов являются спирособъединения, которые под действием электромагнитного излучения переходят из закрытой в мероцианиновую форму, меняя при этом спектр поглощения, показатель преломления, диэлектрическую проницаемость, электронную проводимость, магнитные и электрохимические свойства, дипольный момент и т.п. Интенсивное изучение таких соединений обусловлено, в частности, возможностью их применения в молекулярной электронике, сенсорике, фотовольтаике т.д.

В настоящей работе представлены результаты исследования фотохромных и фотофизических свойств, а также кинетических характеристик дифильных спиропиранов и спиронафтоксазинов индолинового ряда, модифицированных различными заместителями как по индолиновому фрагменту, так и по хромоновой части, в ряде органических растворителей. Обнаружено, что все представленные соединения обладают выраженным фотохромизмом, причем положение полосы поглощения и скорость фотореакции зависят от природы заместителя и его положения в молекуле. Выявлено, что большинство представленных в работе соединений обладают сольватохромизмом, заключающемся в смещении максимума поглощения в зависимости от полярности растворителя. С помощью флуоресцентной спектроскопии изучены фотофизические свойства спирособъединений и рассчитаны квантовые выходы люминесценции. Для определения кинетических характеристик фотохимических процессов, протекающих при облучении растворов УФ-светом и в результате темновой релаксации, проведен анализ временных зависимостей интенсивности поглощения «открытых» форм соединений после прекращения облучения. Полученные результаты открывают широкие перспективы применения исследованных спиропиранов и спиронафтоксазинов в качестве активных компонентов в фотоуправляемых устройствах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003)

СТРАТЕГИЯ СИНТЕЗА АМФИФИЛЬНЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ПОРФИРИНОВОГО ТИПА: ФОРМИРОВАНИЕ МИЦЕЛЛЯРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Сукорева С.М.¹, Усанёв А.Ю.¹, Прокопова Н.В.¹, Жданова К.А.¹,
Брагина Н.А.¹, Карпеченко Н.Ю.²

¹*МИРЭА – Российский технологический университет, 119454 г. Москва,
проспект Вернадского, дом 78*

²*ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, 115522,
г. Москва, Каширское шоссе, д. 24*

Фотодинамическая терапия (ФДТ) перспективна в лечении рака. В ФДТ используют фотосенсибилизаторы (ФС), которые, активируясь светом, генерируют активные формы кислорода, разрушающие раковые клетки. Для повышения специфичности ФС к раковым клеткам необходима разработка новых или модификация существующих структур ФС.

Метаболизм глюкозы – потенциальная мишень противоопухолевой терапии. Раковые клетки активно поглощают глюкозу и используют аэробный гликолиз (эффект Варбурга), что приводит к повышенному потреблению глюкозы. Ингибирование гликолиза влияет на рост опухоли и чувствительность к терапии. Поэтому введение углеводных фрагментов в ФС обеспечит избирательное накопление в опухоли и поспособствует регулированию амфифильности. В качестве ингибитора выбрана 2-дезоксид-Д-глюкоза, подавляющая гликолиз и предотвращающая рост опухоли.

В данной работе синтезированы конъюгаты ФС порфиринового типа с 2-дезоксид-Д-глюкозой. Амфифильные мезо-арилпорфирины (А4 и А3В) получены монопиррольной конденсацией. Для получения конъюгатов с разным количеством молекул 2-дезоксид-Д-глюкозы использована клик-реакция (Cu(I)). Включение Zn(II) повышает генерацию синглетного кислорода. Структура соединений подтверждена ЯМР- и масс-спектрометрией.

Цитотоксичность конъюгатов оценена МТТ-тестом на клетках HeLa, MDA-MB-231, MCF7 и NKE. Результаты показали, что все целевые соединения оказывают токсический эффект на клеточные линии только после облучения в наномолярном диапазоне концентраций. Для опухолевых клеток токсический эффект был наиболее выражен.

В настоящее время проводятся исследования для оптимизации структуры конъюгатов, а также биологические испытания целевых соединений.

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

ОСОБЕННОСТИ КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЯ f-ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ВАЛЕНТНЫХ СОСТОЯНИЯХ С НОВЫМ АРИЛЗАМЕЩЕННЫМ ДИГЛИКОЛЬАМИДОМ

Тихомирова Ю.Т.¹, Шаров В.Э.¹, Костикова Г.В.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
199071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: julia.tikhomirova@list.ru*

С целью исследования влияния природы заместителей при амидных фрагментах дигликольамидов в рамках данной работы был впервые синтезирован новый арилзамещенный дигликольамид — N,N'-диизопропил-N,N'-дифенилдигликольамид (DiPrDPhDGA). Полученное соединение было охарактеризовано набором физико-химических методов исследования, включая ¹H и ¹³C ЯМР-спектроскопию, масс-спектрометрию высокого разрешения и рентгеноструктурный анализ.

Было проведено систематическое исследование экстракции актинидов в различных валентных формах, лантанидов, а также ряда сопутствующих s-, p- и d-металлов растворами DiPrDPhDGA из азотнокислых сред. Были найдены условия для разделения An(III) и An(VI), An(IV) и An(VI), а также для очистки трех- и четырехвалентных актинидов и лантанидов от большинства основных продуктов деления, включая Zr(IV). Показано, что актиниды могут экстрагироваться в виде моно- и дисольватов, в то время как для лантанидов, в зависимости от порядкового номера, характерно также образование трисольватов. Исследование влияния природы разбавителя на селективность экстракции An(III) и Ln(III) позволило найти условия, в которых достигаются достаточно высокие значения коэффициентов разделения пары Am(III)/Cm(III) ($\beta = 3,1$). Таким образом, рассматриваемый лиганд является перспективным для глубокого фракционирования отработавшего ядерного топлива.

Комплексообразование Ln(III), An(IV) и An(VI) с исследуемым дигликольамидом было изучено методом ИК-спектроскопии. Были выделены основные особенности строения соединений, образуемых лантанидами и актинидами с DiPrDPhDGA.

В кристаллическом виде выделены соединения U(IV), Np(IV), U(VI) и Np(VI) с рассматриваемым лигандом, строение которых установлено методом рентгеноструктурного анализа. Было показано, что An(IV) образуют с DiPrDPhDGA комплексы состава $[An(IV)(DiPrDPhDGA)(NO_3)_3]_2O$, а An(VI) — $[An(VI)O_2(DiPrDPhDGA)(NO_3)_2]$.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2024-534).

СТИРИЛОВЫЕ КРАСИТЕЛИ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ АГЕНТОВ БИОВИЗУАЛИЗАЦИИ¹

Устимова М.А.¹, Ефимова А.С.¹, Федоров Ю.В.¹, Федорова О.А.¹

¹ Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН
119991, ул. Вавилова д. 28. E-mail: ustimova.maria@yandex.ru

Методы флуоресцентной визуализации широко применяются при анализе биологических процессов, а также при создании медицинских диагностических систем. Для этого используют органические флуоресцентные красители. В настоящем исследовании предметом рассмотрения являются стиримовые красители. Они обладают широкими полосами поглощения и эмиссии, большим Стоксовым сдвигом и сольватохромизмом. В свободном виде красители имеют низкий квантовый выход флуоресценции, однако при взаимодействии с биомолекулой (ДНК, РНК, БСА) интенсивность флуоресценции многократно возрастает. Представленные в данной работе стиримовые производные могут использоваться в различном приложении как агенты биовизуализации (Схема 1).

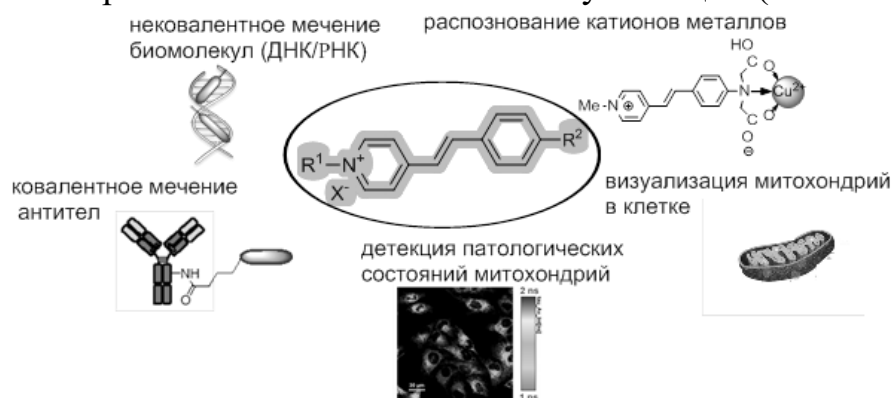


Схема 1

Они могут использоваться для мечения биомолекул, как при нековалентном взаимодействии (ДНК/РНК), так и при ковалентном связывании (антитела). Введение в структуру стиримового красителя фрагментов, координирующих катионы металлов (Hg^{2+} , Cu^{2+}), делает возможным получение сенсоров на катионы металлов, способных к распознаванию даже во внутриклеточной среде. Биологические эксперименты показали, что полученные в данной работе моностириловые красители способны селективно накапливаться в митохондриях живых клеток, тем самым избирательно окрашивая их. Также исследования показали, что некоторые моностириловые красители могут быть использованы для идентификации патологических состояний клетки, демонстрируя изменение флуоресценции при митофагии.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФ (грант № 21-73-20158-П)

СКАНДИЙ-СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭКСТРАГЕНТЫ НА ОСНОВЕ ОРТО-ЗАМЕЩЕННЫХ ФЕНОЛОВ

Чеботников Я.М., Шаров В.Э., Бездомников А.А., Костикова Г.В.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
e-mail: yakov.tchebotnikov@yandex.ru*

При переработке некоторых видов первичного сырья (в частности, руд Томторского месторождения) скандий концентрируется совместно с группой редкоземельных элементов (РЗЭ). Полученный концентрат является важнейшим источником Sc, однако, его селективное извлечение является сложной задачей ввиду схожего химического поведения скандия и РЗЭ.

Перспективным методом для выделения скандия является жидкостная экстракция. Ранее было показано, что орто-замещенные фенолы способны селективно извлекать литий в присутствии больших количеств натрия и калия за счет формирования более устойчивого металлоцикла с катионом наименьшего радиуса [1]. Было сделано предположение, что данные экстрагенты будут обладать большей селективностью по отношению к скандию по сравнению с РЗЭ из-за разницы в катионных радиусах металлов, и могут быть использованы для его отделения от указанных элементов.

В данной работе было исследовано межфазное распределение Sc, РЗЭ, а также Th(IV) и U(VI). В роли экстрагентов выступали следующие представители орто-замещенных фенолов: N,N-диоктиламид салициловой кислоты (АМСАЛ), 2-этилгексиловый эфир салициловой кислоты (2-ЭГСАЛ) и 2-нитро-4-нонилфенол (ННФ). Эти экстрагенты использовались в эквимольной смеси с триоктилфосфиноксидом (ТОФО) и трибутилфосфата (ТБФ) для предотвращения осадкообразования на поверхности раздела фаз.

На первом этапе было изучено влияние pH равновесной водной фазы на экстрагируемость Sc, РЗЭ, Th(IV) и U(VI). Наибольшая селективность извлечения скандия наблюдалась в системах АМСАЛ-ТОФО и АМСАЛ-ТБФ. К сожалению, в системах с использованием 2-ЭГСАЛ наблюдалось выпадение осадков, несмотря на использование сольватирующих добавок (ТОФО и ТБФ). Для систем на основе ННФ и ТБФ – наиболее перспективных из рассмотренных – были детально изучены процессы комплексообразования, происходящие при экстракции катионов исследуемых металлов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2025-583)

1. Bezdomnikov, A.A. Dialkyl(5-ethyl-2-hydroxyphenyl)phosphonates as extractants for the selective recovery of lithium from alkaline media / A.A. Bezdomnikov, L.I. Demina, V.E. Baulin et al. // Desalination. – 2024. – Vol. 579. – P. 117446. DOI: 10.1016/j.desal.2024.117446.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН, СИНТЕЗ И СТРУКТУРА НОВЫХ КВАЗИАРОМАТИЧЕСКИХ КЛАТРОХЕЛАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ *d*-МЕТАЛЛОВ

Чуприн А.С.¹, Мосов Д.О.¹, Волошин Я.З.^{1,2}

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, 119334, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, 28, стр.1;

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, 119991 Россия, г. Москва, Ленинский пр. д.31

Клатрохелаты являются представителями класса клеточных комплексов с одним или несколькими инкапсулированными ионами металла[1]. Темплатной конденсацией на матрице–ионе *d*-металла(II) был получен ряд химически устойчивых макробициклических трис- α -диоксиматов марганца, железа, кобальта, никеля и рутения(II), а также их и реакционноспособных гексахлорклатрохелатов рутения и никеля(II), представленных на схеме 1, охарактеризованные методом РСА. В случае кинетически инертных комплексов рутения(II) был разработан простой и удобный синтетический подход, использующий сольвато-комплексы $[\text{Ru}(\text{CH}_3\text{CN})_4\text{Cl}_2]$ и $[\text{Ru}(\text{CH}_3\text{CN})_4\text{I}_2]$ в качестве источников ионов Ru^{2+} . В случае ионов хрома как матриц и алифатических ациклических или ароматических α -диоксиматов, как хелатирующих лигандных синтонов, были синтезированы устойчивые макробициклические комплексы хрома(II). Используя алициклический α -диоксиматный синтон, был получен и охарактеризован методами ЭПР и РСА клатрохелат хрома(III) с одним анион-радикальным *орто*-бензохиноновым хелатирующим фрагментом в его макробициклическом остове [2]. Рассмотрены общие стратегии получения, оптимальные методы синтеза и методики, и возможные пути реберной функционализации диамагнитных и высокопарамагнитных клеточных комплексов 3*d*- и 4*d*-металлов, а также перспективы практического использования соединений этого типа в качестве противоопухолевых лекарственных кандидатов, селективных моноатомных электрокатализаторов реакции получения водорода $2\text{H}^+/\text{H}_2$ и высокопарамагнитных ЭПР-меток для МРТ и структурной биологии.

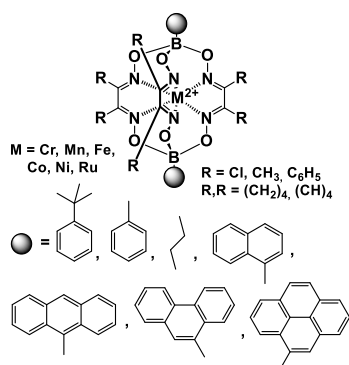


Схема 1.

Работа выполнена при финансовой поддержке

РНФ (проект № 24-13-00230)

Литература

1. Я. З. Волошин, И. Г. Белая, Р. Кремер, Клеточные комплексы металлов: клатрохелаты возвращаются, Springer – Граница, 2018, 544 с.
2. A.S. Chuprin, Y.Z. Voloshin et al. *Inorg. Chem. Commun.*, 2024, 164, 112395.

СОЗДАНИЕ НАНОКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ РЕЗОРЦИНАРЕНОВ И НАНОЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ (ПАЛЛАДИЙ, НИКЕЛЬ И МЕДЬ)

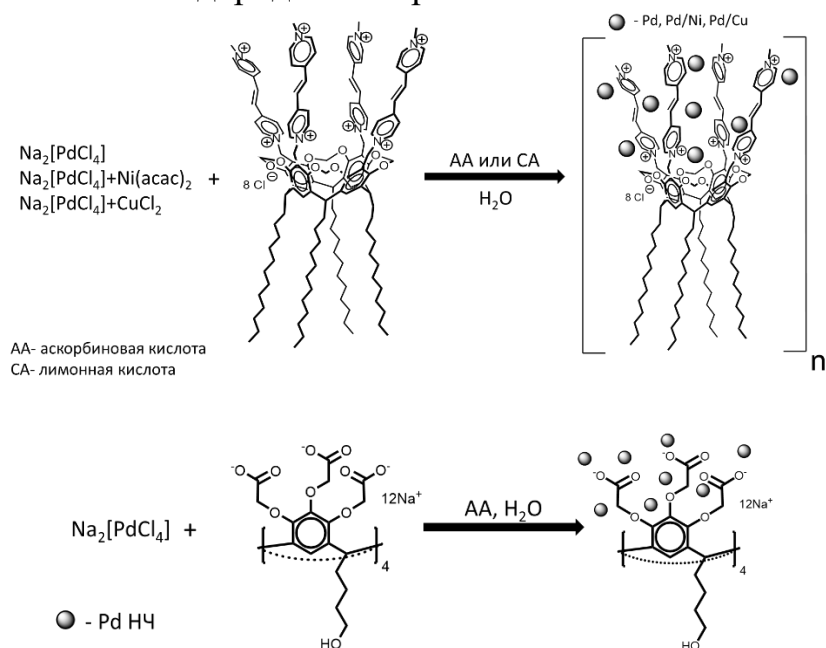
Шамсутдинов А.А.,¹ Кадиров М.К.,² Зиганшина А.Ю.,²
Антипин И.С.¹

¹ Химический институт им А.М. Бутлерова, Казанский федеральный университет

² ИОФХ им. А.Е. Арбузова ОСП ФИЦ КазНЦ РАН

Современные нанотехнологии позволяют создавать функциональные материалы с уникальными свойствами. Особый интерес представляют наночастицы палладия, которые благодаря высокой каталитической активности, электропроводности, устойчивости к коррозии и способности обратимо поглощать водород, находят применение в катализе, сенсорике, водородной энергетике, электронике и медицине. Эффективность таких наночастиц во многом зависит от их размера, формы и свойств поверхности, поэтому важным направлением остается разработка контролируемых и экономически выгодных методов синтеза.

В докладе будут представлены результаты синтеза наночастиц палладия, а также биметаллических систем Pd/Cu и Pd/Ni из солей металлов. В качестве стабилизаторов и структурообразующих агентов использовались амфифильные резорцинарены, содержащие биспиридиновый этиленовый и карбоксилатные группы. Синтез проводился *in situ*, что позволило контролировать размер и морфологию полученных частиц путем варьирования соотношения реагентов. Будут показаны каталитические свойства материалов, а также их потенциал для применения в технологиях водородной энергетики.



ПРИМЕНЕНИЕ ДИГЛИКОЛЬАМИДОВ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ f-ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Шаров В.Э.¹, Костинова Г.В.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: sharov@phyches.ac.ru*

Увеличение темпов производства современных высокотехнологичных устройств приводит к увеличению спроса промышленности в индивидуальных высокочистых редкоземельных элементах (РЗЭ), который в настоящее время не обеспечивается их предложением. Для увеличения сырьевой базы РЗЭ предложено вовлечение в переработку вторичных источников, к которым относятся отходы переработки минерального сырья, электроники, а также сбросные растворы радиохимических производств.

Дигликольамиды (ДГА) являются перспективными экстрагентами для извлечения катионов РЗЭ из растворов, в которых ценные компоненты присутствуют в микроколичествах (единицы – десятки мг/л) на фоне макроколичеств посторонних элементов. Было проведено систематическое изучение влияния параметров экстракционных систем на основе ДГА на селективность и эффективность экстракции Ln(III) и An(III), включая природу разбавителя, состав водной фазы, а также строение молекулы экстрагента. Были определены системы с наиболее оптимальными количественными характеристиками для извлечения РЗЭ из всех вышеуказанных вторичных источников.

Экстрагенты, содержащие N,N,N',N'-тетрабутилдигликольамид в полярных разбавителях, показали высокую эффективность при отделении катионов РЗЭ от ряда сопутствующих s-, p- и d-металлов. Были найдены условия, в которых возможно организовать высокоэффективные процессы извлечения ценных компонентов из растворов кислотного выщелачивания красных шламов, фосфогипса и отработавших неодимовых магнитов, а также разделения соседних Ln (на примере пары Nd/Pr). Впервые синтезированный в данной работе N,N'-диизопропил-N,N'-дифенилдигликольамид показал высокую эффективность при фракционировании отработавшего ядерного топлива.

На основании полученных данных была предложена схема процесса селективного извлечения Sc и РЗЭ из красных шламов, которая была опробована в лабораторных условиях на реальных красных шламах Уральского алюминиевого завода, в результате чего был получен скандиево-редкоземельный концентрат, практически не содержащий посторонних элементов. Степень извлечения Sc превысила 99 %, была достигнута степень концентрирования Sc более, чем в 1500 раз, степень очистки от нередкоземельных примесей превысила 10000 раз.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2024-534)

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ИНДУЦИРОВАННАЯ РЕНТГЕНОВСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ РЕДОКС-ИЗОМЕРИЗАЦИЯ В МОНОСЛОЯХ ЛЕНГМЮРА БИС-ФТАЛОЦИАНИНАТОВ САМАРИЯ И ЕВРОПИЯ

Аракчеев А.В.¹, Мартынов А.Г.¹, Чвалун С.Н.², Селектор С.Л.¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4

²Институт синтетических и полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия, 117393, ул. Профсоюзная д. 70

Управляемые переключения в молекулах, сопровождающиеся изменением физико-химических характеристик организованных ансамблей на основе таких соединений, представляют особый интерес для научного сообщества благодаря перспективе создания на основе таких систем устройств молекулярной электроники.

В данной работе редокс-изомеризация в Ленгмюровских монослоях бис-фталоцианинатов европия и самария была изучена с помощью новаторской методики одновременной регистрации *in situ* электронных спектров поглощения (ЭСП) и спектров XANES. При этом в работе была впервые выявлена стимулирующая роль рентгеновского излучения в таких переходах. Было обнаружено, что в процессе измерений ЭСП обоих комплексов претерпевали обратимые изменения, характерные для редокс-изомерного переключения при латеральном сжатии монослоя, однако в то же самое время положение края поглощения оставалось неизменным и свидетельствовало о присутствии металлоцентра в состоянии Ln^{3+} . Исследования пленок Ленгмюра-Блоджетт бис-фталоцианинатов европия и самария на твердых подложках методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии подтвердили способность обоих факторов вызывать таутомерные переходы в рассмотренных двумерных системах. В спектрах пленок, сформированных на стеклянных подложках при различном поверхностном давлении, были зарегистрированы различия в электронной структуре фталоцианиновых лигандов, однозначно указывающие на редокс-изомеризацию. В то же время катионы обоих металлов были в состоянии Ln^{3+} , по-видимому, из-за быстропротекающего обратного таутомерного перехода под воздействием рентгеновского облучения.

Таким образом, в данной работе были получены прямые доказательства возможности управления редокс-изомерным состоянием бис-фталоцианинатов лантанидов в двумерных системах путем изменения давления в монослое, а также выявлен еще один фактор, индуцирующий такие молекулярные переключения – рентгеновское излучение с энергией близкой к энергии связи металлоцентра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант №19-73-20236

ТЕРМООБРАБОТАННЫЙ СОПОЛИМЕР ЭТИЛЕНА И ВИНИЛАЦЕТАТА КАК КОМПЛЕКСНЫЙ МОДИФИКАТОР ФОТОПОЛИМЕРИЗУЮЩИХСЯ КОМПОЗИЦИЙ¹

Бажанов Д.А., Никулова У.В., Шапагин А.В.

ИФХЭ РАН, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп.4

В качестве основы фотополимеризующихся композиций (ФПК) для аддитивного производства в основном применяют (мет-) акрилатные мономеры/олигомеры. Низковязкие ФПК создаются на основе таких монофункциональных мономеров, как ММА, ТБА или 2-ГЭМА, которые в своей химической структуре имеют только одну (мет-) акрилоильную группу и при фотополимеризации не способны образовывать пространственную сетку. Поэтому в паре с мономером обычно используют сшивающие агенты для разветвления основной цепи. Однако важно, чтобы при этом отвержденный материал обладал требуемыми физико-механическими свойствами. Для выполнения этих условий ФПК обычно модифицируют путем добавления в состав различных неорганических наполнителей, что вызывает некоторые сложности. Поэтому более перспективным вариантом является применение органических добавок, имеющих полную или частичную совместимость с компонентами ФПК и при этом способных улучшить целый комплекс свойств отвержденного материала. К таким модификаторам относятся сополимеры этилена и винилацетата (СЭВА) с высоким содержанием ВА. В частности, СЭВА40 (40 мас.% ВА), благодаря термопластичным свойствам, полной совместимости, и вкуче с образованными в результате специальной термообработки С=С связями способен работать как комплексная модифицирующая добавка (термопластичный модификатор – загуститель – сшивающий агент).

В докладе рассмотрены особенности термообработки исходного СЭВА40 и представлены возможности его применения в низковязких ФПК на примере модельных смесей, состоящих из одного мономера ТБА и фотоинициатора Irgacure 819. Молекулярная структура компонентов и модельных смесей, а также реологические свойства, кинетика отверждения и фазовая структура этих смесей изучены с помощью ИК-НПВО и ЯМР-спектроскопии, спектрофотометрии, реометрии, Фото-ДСК и СЭМ. Показано, что с увеличением концентрации термообработанного СЭВА40 изменяется характер течения модельных смесей, а скорость реакции фотополимеризации и степень конверсии – несколько снижаются. При этом образование гетерогенной фазовой структуры при фотоотверждении и отсутствие непрерывной пространственной сетки подтверждают, что СЭВА40 не является полноценным сшивающим агентом, а выполняет функции загустителя и термопластичного модификатора в системе.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИПОФИЛЬНЫЕ АРИЛ-ЗАМЕЩЕННЫЕ КОРРОЛЫ: АНТИМИКРОБНАЯ АКТИВНОСТЬ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С СИНТЕТИЧЕСКИМИ И ЭНДОГЕННЫМИ НОСИТЕЛЯМИ¹

Березин Д.Б.¹, Макаров В.В.¹, Кустов А.В.², Зорина Т.Е.³, Зорин В.П.³

¹ *Ивановский государственный химико-технологический университет,
Институт макрогетероциклических соединений,
Россия, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 7; E-mail: berezin@isuct.ru*

² *Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии
наук, Россия, г. Иваново, Академическая ул., 1; E-mail: kustov@isuct.ru*

³ *Белорусский государственный университет,
Беларусь, г. Минск, пр-т Независимости, 4; E-mail: vpzorin@mail.ru*

Аналоги порфиринов – корролы (H_3Cor) представляют значительный интерес для создания материалов на их основе и их применения в биомедицине, катализе и сенсорике [1-3]. Причиной являются уникальные фотофизические и координационные свойства этих редокс-активных лигандов, способных к образованию металлокомплексов в необычных степенях окисления, таких как Cu^{+3} , Mn^{+4} или Fe^{+4} [2, 4]. В настоящей работе нами синтезированы арилзамещенные корролы A_2B -типа, содержащие пентафторфенильные заместители в мезо-положениях макроцикла. Методами абсорбционной, а также стационарной и поляризационной флуоресцентной спектроскопии были изучены особенности взаимодействия H_3Cor в модельных (ФСБ, водные растворы Твин 80, БСА и липосом на основе ДМФХ) и биологических (сыворотка и растворы отдельных видов клеток крови) жидкостях. Получены коэффициенты распределения соединений в системах «1-OctOH/ФСБ» и «1-OctOH/ФСБ/Твин80», а также гель-хроматографическая диаграмма их распределения между транспортными белками плазмы крови. Изучена темновая и фотоиндуцированная антимикробная активность H_3Cor в отношении антибиотикорезистентных штаммов грамотрицательных бактерий *E. coli* и *Enterobacter cloacae*.

В ходе исследований установлена высокая степень аффинности корролов к псевдолипидному окружению и некоторое ее снижение в присутствии солубилизаторов, а также способность к слабому связыванию с синтетическими (Твин 80) носителями и эффективному связыванию с транспортными белками плазмы крови, преимущественно с липопротеиновыми ее фракциями. АФДТ с применением H_3Cor в качестве ФС эффективна в случае достаточно высоких доз облучения (≥ 80 Дж/см²) и добавок потенцирующих агентов (ЭДТА, H_2O_2).

[1] R. Paolesse, In: *Topics in Heterocyc. Chem.* Springer: Berlin, **2014**, 184 p.

[2] Д.Б. Березин, Д.Р. Каримов, А.В. Кустов *Корролы и их производные: синтез, свойства, перспективы практического применения.* М.: Ленанд, **2018**, 304 с.

[3] A. Mahammed, Z. Gross [Coord. Chem. Rev.](#) **2019**, [379](#), 121-132.

[4] N.M. Berezina, Vu Thi Thao, D.B. Berezin, et. al. *Russ. J. Gen. Chem.* **2014**, 84(4), 737-744.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № FZZW-2023-0009.

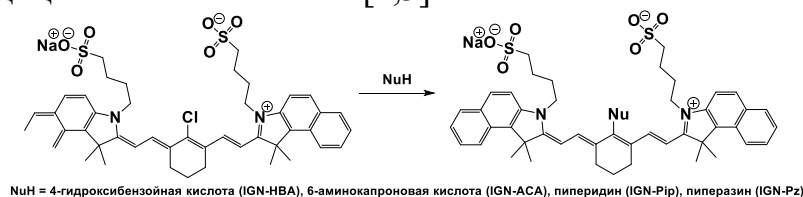
ХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ ЦИАНИНОВОГО КРАСИТЕЛЯ IGN В РЕАКЦИЯХ С N-НУКЛЕОФИЛАМИ¹

Березин Д.Б.¹, Паламар А.В.¹, Смирнова Н.Л.^{1,2}, Кустов А.В.²

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет,
Институт макрогетероциклических соединений,
Россия, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 7; E-mail: berezin@isuct.ru

² Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
Россия, г. Иваново, Академическая ул., 1; E-mail: kustov@isuct.ru

Карбоцианиновые красители, в частности, производное Индоцианинового зеленого (ICG), известное как Индоцианиновый зеленый новый (IGN) [1,2] привлекательны для применения в биомедицинской фотонике как ИК-фотосенсибилизаторы (ФС) для фотодинамической и фототермотерапии локализованных онкологических и инфекционных заболеваний, фотодиагностики патологий и конструирования биосенсоров [2]. IGN, по сравнению с ICG, поглощает свет в более далекой ИК-области спектра, селективнее накапливается и дольше задерживается в пораженных тканях, более фото- и термостабилен, а после определенной химической модификации может служить одновременно флуоресцентным маркером и молекулярной платформой для создания новых материалов биомедицинского назначения [2,3].



В настоящей работе синтезирован ряд аминопроизводных IGN путем замещения активного хлора под действием N-нуклеофилов (Рис.), способных в дальнейшем служить в качестве линкеров, проведена спектральная идентификация соединений методами ¹H ЯМР, ЭСП и МАЛДИ МС, а также оценка термо- и фотоустойчивости красителей. Показано, что N-замещение во всех случаях приводит к гипсохромному смещению полос ЭСП IGN на 100-150 нм, а также к снижению устойчивости соединений, зависящего от природы заместителя и среды. Максимальная устойчивость к действию излучения (660 ± 60 нм) обнаружена для третичного аминного производного IGN, не содержащего Н-атома в аминогруппе, и понижается как при переходе от 1-октанола к воде, так и в ряду соединений (H₂O, доза излучения, Дж/см²): IGN-Pz (273) > IGN (128) ~ IGN-Pip (132) > IGN-ACA (15) > IGN-HBA (2). Термостабильность соединений также снижается при замещении атома хлора в составе IGN, а интенсивная убыль массы твердого образца начинается при 175-225°C.

- [1] P.C.A. Swamy, G. Sivaraman, R.N. Priyanka, et. al. *Coord. Chem. Rev.* **2020**, 411, 213233.
[2] A. Fernandez-Fernandez, R. Manchanda, T. Lei, et al. *Molec. Imaging* **2012**, 11, 7290-2011.
[3] D.B. Berezin, T.V. Bondareva, O.V. Shukhto, et. al. *ChemChemTech* **2025**. 68(10), 26-34.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00108, <https://rscf.ru/project/25-23-00108/>).

АГРЕГАЦИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КРАСИТЕЛЯ IGN И ЕГО ЛИНКЕРНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ С ПАССИВНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ ¹

Березин Д.Б.¹, Паламар А.В.¹, Бондарева Т.В.¹, Шухто О.В.¹,
Батов Д.В.², Кустов А.В.²

¹ *Ивановский государственный химико-технологический университет,
Институт макрогетероциклических соединений,
Россия, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 7; E-mail: berezin@isuct.ru*

² *Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии
наук, Россия, г. Иваново, Академическая ул., 1; E-mail: kustov@isuct.ru*

Агрегация препаратов для фотодиагностики и фототерапии локализованных онкологических и инфекционных заболеваний в водных растворах и модельных системах является важным фактором, определяющим не только степень биодоступности соединений, но и, в ряде случаев, изменение механизма их воздействия [1]. В связи с этим в работе было изучено состояние красителя Индоцианинового зеленого нового (IGN), потенциального фотосенсибилизатора для флуоресцентной визуализации и фототермии опухолей [2], а также его третичных аминных производных в воде и водных растворах неионогенных мицеллярных и полимерных носителей методами абсорбционной спектроскопии и динамического светорассеяния [3].

Было показано, что в воде, в изученном интервале концентраций (10^{-3} - 10^{-6} моль/кг) IGN образует наноагрегаты, размер которых существенно зависит от концентрации красителя. Замещение атома хлора в молекуле IGN во всех случаях приводит к существенному (на 70-110 нм) гипсохромному смещению полос ЭСП. Изученные соединения, в зависимости от степени гидрофильности молекулы, агрегируют в системе «EtOH-H₂O» при содержании воды от 55 до 75%, а в присутствии в водном растворе пассивных средств доставки Твин 80 образуют молекулярные комплексы с двумя характерными константами связывания ($\lg K$) ~ 1.2 и ~ 5.5 , соответственно [4].

Агрегация IGN, сопровождающаяся тушением флуоресценции, блокирует каналы реализации фотодинамического действия ФС, однако повышает вероятность процессов фототермии с участием рассматриваемых красителей.

[1] D.A. Bunin, A.G. Martynov, D.A. Gvozdev, Y.G. Gorbunova *Biophys. Rev.* **2023**. 15, 983.

[2] A. Fernandez-Fernandez, R. Manchanda, T. Lei, et al. *Molec. Imaging* **2012**. 11, 7290-2011.

[3] D.B. Berezin, T.V. Bondareva, O.V. Shukhto, et. al. *ChemChemTech* **2025**. 68(10), 26-34.

[4] D.B. Berezin, A.V. Kustov, M. A. Krest'yaninov, et al. *J. Mol. Liq.* **2019**. 283, 532-536.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00108, <https://rscf.ru/project/25-23-00108/>).

МОДЕЛИРОВАНИЕ СРОДСТВА ИНДОЦИАНИНОВОГО ЗЕЛЕНОГО НОВОГО (IGN) К ЛИПИДНЫМ МЕМБРАНАМ И КОНКУРЕНТНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ С ТРАНСПОРТНЫМИ БЕЛКАМИ КРОВИ¹

Березин Д.Б.¹, Паламар А.В.¹, Смирнова Н.Л.^{1,2}, Моршнева Ф.К.², Кустов А.В.²

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет,
Институт макрогетероциклических соединений,

Россия, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 7; E-mail: berezin@isuct.ru

² Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук,
Россия, г. Иваново, Академическая ул., 1; E-mail: kustov@isuct.ru

Важнейшей характеристикой медицинских препаратов является их гидрофильно-липофильный баланс, поскольку поддержание амфифильности не только способствует сохранению сродства к мембранам клеток-мишеней, но и определяет механизмы транспорта лекарственных средств в организме [1-4].

В связи с этим нами изучено распределение трикарбоцианинового красителя IGN, потенциального препарата для фотодиагностики и фототерапии онкологических заболеваний [5] в двухфазных системах «1-ОстОН/ФСБ» и «1-ОстОН/Н₂O», а также конкурентное связывание ФС с белками плазмы крови в буферном растворе (pH = 7.4). Было обнаружено более высокое сродство водорастворимого красителя IGN к псевдолипидной октанольной фазе ($P^{298} = 21.37 \pm 0.82$) по сравнению с водорастворимыми макрогетероциклическими ФС [3,4,6,7]. Кроме того, в случае IGN в системе «1-ОстОН/ФСБ» наблюдается выраженная температурная зависимость коэффициента межфазного распределения P , характерная для гидрофобных соединений [6]. При замене ФСБ на водную фазу величина P резко снижается (5.38 ± 0.96) по причине исчезновения фактора «высаливания», за счет которого происходит вытеснение красителя из водной фазы. Выраженная липофильность IGN предопределяет характер его распределения по транспортным белкам плазмы крови, а именно – преимущественное связывание ($\geq 85\%$) с липопротеиновой фракцией. Следствием такого связывания ФС может быть его активный транспорт в клетки опухоли, поверхность которых имеет повышенное содержание липопротеиновых рецепторов [1-3].

[1] D. Kessel *Photochem Photobiol.* **2017.** 93, 609-612.

[2] A.P. Castano, T.N. Demidova, M.H. Hamblin *Photodiagn. Photodyn. Ther.* **2005.** 2, 91-106.

[3] Ph.K. Morshnev, E.A. Drondel, A.V. Kustov, I.I. Khlydeev, O.B. Abramova, E.B. Yaroslavtceva-Isaeva, E.V. Lyalyakina, M.O. Koifman, D.B. Berezin *J. Mol. Liq.* **2023.** 123116.

[4] A.V. Kustov, D.B. Berezin, V.P. Zorin, Ph.K. Morshnev, T.V. Kustova, A.I. Strelnikov, E.V. Lyalyakina, T.E. Zorina, O.B. Abramova, et al. *Pharmaceutics* **2023.** 15, 61.

[5] H. Liu, J. Yin, E. Xing, Y. Du, Y. Su, Y. Feng, S. Meng *Dyes Pigm.* **2021.** 190, 109327.

[6] A.V. Kustov, D.V. Belykh, N.L. Smirnova, et al. *J. Chem. Thermodyn.* **2017.** 115, 302-306.

[7] A.V. Kustov, P.K. Morshnev, N.L. Smirnova, D.B. Berezin, D.R. Karimov, O.V. Shukhto, T.V. Kustova, D.V. Belykh, V.P. Zorin, T.E. Zorina, et al. *Int. J. Mol. Sci.* **2022.** 23, 5294.

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-23-00108, <https://rscf.ru/project/25-23-00108/>).

АГРЕГАЦИЯ ХЛОРИНОВЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ С ЗАРЯЖЕННЫМИ ГРУППАМИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С НЕИОНОГЕННЫМИ ПАВ

Березин Д.Б.¹, Бондарева Т.В.¹, Шухто О.В.¹, Батов Д.В.²,
Кустов А.В.²

¹ ФГБОУ ВО ИГХТУ, г. Иваново; E-mail: shukhto@mail.ru

² ФГБУН ИХР им. Г.А. Крестова РАН, г. Иваново

Метод фотодинамической терапии (ФДТ) в настоящее время остается одним из наиболее перспективных малоинвазивных подходов в общей стратегии борьбы с локализованными злокачественными новообразованиями и антибиотикорезистентной патогенной микрофлорой. К числу базовых требований к фотосенсибилизаторам (ФС), наряду с эффективной генерацией их молекулами активных форм кислорода при облучении светом видимого или граничащего с инфракрасным диапазоном, относится соблюдение гидрофильно-липофильного баланса, при котором ФС, не являясь избыточно гидрофобным, способен сохранять сродство к гидрофильному биокружению в ходе интернализации его лекарственных форм и, в то же время, имеет сродство к преимущественно гидрофобной поверхности мембран клеток опухоли и патогенных микроорганизмов.

В связи с этим в настоящей работе спектрофотометрическим методом и методом динамического рассеяния света (ДРС) были исследованы процессы агрегации/деагрегации ряда потенциальных ФС хлоринного типа, содержащих ионизированные группы, в водно-спиртовых растворах, проведен анализ размера наноагрегатов ФС в водных средах и в присутствии неионогенных биосовместимых ПАВ.

Обнаружено, что несмотря на наличие ионизированных групп в структуре гидрофобного макрогетероцикла, изученные водорастворимые ФС как правило существуют в водных растворах либо в виде ассоциатов (субнаноагрегатов), либо наноагрегатов, иногда даже при микромолярных концентрациях, что существенно снижает их биодоступность, ухудшает фотофизические характеристики и негативно влияет на эффективность ФДТ. Негативное влияние агрегации ФС можно предотвратить, применяя солюбилизующие добавки пассивных носителей, например, неионогенного ПАВ Твин 80 или полимерного ПВП. Склонность катионных хлоринных фотосенсибилизаторов к наноагрегации снижается по мере накопления в молекуле заряженных групп, причем повышение концентрации ФС в водном растворе ведет к уширению профиля распределения агрегатов по размерам и понижению интенсивности сигнала, а эффективность деагрегации ФС определяется степенью гидрофильности молекул.

[1] Д.Б. Березин, Т.В. Бондарева, О.В. Шухто и др. *ChemChemTech*. **2025**, 68(6), 70-82.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № FZZW-2023-0009.

ФОТО- И АЦИДОХРОМНЫЕ СВОЙСТВА КУМАРИНОВОГО ПРОИЗВОДНОГО ДИФИЛЬНОГО СПИРОПИРАНА

Гарин С.П.¹, Райтман Е.В.¹, Кутасевич А.В.¹,
Митянов В.С.¹, Райтман О.А.^{1,2}

¹*РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь, д.9*

²*ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д.31, корп.4*

Спиросоединения представляют собой органические фотохромы, которые могут обратимо менять цвет, физико-химические и фотофизические свойства при воздействии на них электромагнитными импульсами, а также в результате взаимодействия с катионами некоторых металлов или протоном H^+ [1]. Значительное место среди соединений этого класса занимают спиропираны и спиро-нафтоксазины, используемые для создания наноразмерных сенсорных систем, при разработке динамических фотопереключаемых материалов, в медицинской химии и т.д.

В настоящей работе представлены результаты исследования фотопереключений и ацидохромных свойств 1–гексадецил–3,3,4’–триметил–2’Н–спиро[индолин–2,8’–пирано[2,3-f]хромен]–2’-она в органических растворителях и в монослоях Ленгмюра. Для изучения ацидохромных свойств длинноцепочечного спиропирана, содержащего кумариновый фрагмент в хроменовой части, записывали спектры поглощения его циклического и мероцианинового изомера, а также протонированной формы в ацетонитриле и ацетоне. При облучении фотохрома УФ-светом ($\lambda=365$ нм) в его спектре поглощения появляется интенсивная полоса в области 570 нм, свидетельствующая об образовании мероцианиновой формы данного соединения. В то же время при добавлении кислоты в раствор, содержащий спиропиран, в спектре появляется полоса поглощения, нехарактерная ни для спиро-, ни для мероцианиновой форм, которая при добавлении в систему щелочи переходит в полосу мероцианина. Сравнение полученных данных с литературными источниками позволяет сделать вывод о протонировании фотохрома. С помощью метода спектрофотометрического титрования была найдена точка эквивалентности для раствора спиропирана в ацетонитриле. Изучены кинетические характеристики реакции протонирования, а также установлена обратимость данного процесса. Показано, что спиропиран способен образовывать стабильные монослои Ленгмюра на поверхности воды как в исходном состоянии, так и в протонированной форме. Полученные результаты открывают широкие перспективы применения спиросоединений данного класса в качестве рабочих элементов рН-чувствительных сенсорных устройств.

1. Wojtyk J.T.C. et al. Elucidating the Mechanisms of Acidochromic Spiropyran-Merocyanine Interconversion // J. Phys. Chem. A. 2007. Vol. 111, № 13. P. 2511–2516.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSM-2023-0003)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЭКСТРАКЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ОРТОЗАМЕЩЕННЫМ НИТРОФЕНОЛОМ

Демина Л.И., Бездомников А.А., Куренкова Е.А., Цивадзе А.Ю.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский пр. 31, корп.4
E-mail: ionh1961@rambler.ru*

Выделение и разделение щелочных металлов из водных растворов является весьма актуальной задачей. Наиболее перспективным методом для этих целей является жидкостная экстракция, основанная на комплексообразовании экстрагента в составе органической фазы с ионом металла, который изначально находится в водной фазе.

В изучаемой системе в качестве экстрагента использовался раствор ортозамещенного нитрофенола и ТФФО. Щелочные металлы извлекали из их щелочных растворов.

Поскольку экстракция щелочных металлов в органическую фазу обусловлена процессом комплексообразования, то предварительно были выделены и изучены комплексы Li, Na и K с нитрофенолом. Было показано, что в состав всех комплексов входит исключительно депротонированная форма лиганда, о чем свидетельствует исчезновение в спектрах всех комплексов полос $\nu(\text{PhO-H})$ и $\gamma(\text{PhOH})$. Заполнение координационной сферы металлов осуществляется за счет полифуркатности донорных кислородных атомов фенолятной и нитро групп лиганда. В ИК спектрах это характеризуется уширением полос валентных колебаний $\nu(\text{Ph-O})$ и $\nu(\text{NOO})$. Показана возможность вхождения в координационную сферу металла молекул воды, как терминально координированных ($\nu_{\text{as}}(\text{HOH})$ и $\nu_{\text{s}}(\text{HOH})$), так и мостиковых (широкая полоса $\nu(\text{OH})$ в диапазоне более низких частот: $3100\text{-}3300\text{ см}^{-1}$). Образование комплексов с щелочными металлами сопровождается значительным сопряжением π -связей по всей системе образующихся колец (бензокольца и металлоциклов), при этом бензольные кольца фенолов являются значимым донором электронов. Это приводит к низкочастотному смещению полос валентных колебаний $\nu(\text{Ph})$ в спектрах комплексов относительно спектра свободного нитрофенола. Результаты, полученные на основе анализа ИК спектров, согласуются с данными РСА, проведенного для ряда комплексов.

Полученные результаты были использованы для анализа экстрактов, в которых все металлы извлекаются в составе комплексов с НФ. Для лития показано образование катионно-анионного комплекса $[\text{LiTFFO}_4]^+[\text{LiL}_2]^-$.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта № 075-15-2024-534)

ЭКСТРАКЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ ЛИТИЯ

Жилов В.И.¹, Костикова Г.В.¹, Шаров В.Э.¹, Цивадзе А.Ю.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4*

E-mail: galyna_k@mail.ru

Литий – один из редких и рассеянных элементов, процессы извлечения и переработки которого являются весьма дорогостоящими. Природный литий состоит из двух стабильных изотопов: ${}^6\text{Li}$ (7,52%) и ${}^7\text{Li}$ (92,48%). В последние годы речь идет о практическом применении индивидуальных или высокообогащенных изотопах лития, чем обусловлен значительный интерес, проявляемый к разработке способов их разделения.

В качестве экстракционных систем, перспективных для разделения изотопов лития, рассмотрены следующие: бензо-15-краун-5 во фторгептаноле – LiCl , изоамил-бензо-15-краун-5 во фторгептаноле – LiCl , бензо-15-краун-5 во фторгептаноле – LiNO_3 , изоамил-бензо-15-краун-5 – LiNO_3 .

Для этих экстракционных систем получены изотермы экстракции лития и определены величины однократного изотопного эффекта, которые близки для растворов нитратов ($1,021 \pm 0,01$) и хлоридов ($1,023 \pm 0,009$) и не зависят ни от концентрации солей в исходных растворах, ни от температуры проведения процесса разделения.

Рассмотрено экстракционное поведение примесей натрия и калия и показано, что их распределение по ступеням экстракционного каскада при проведении процесса разделения изотопов лития зависит от концентрации соли лития в исходном водном растворе. Для предотвращения накопления примесей ЩМ в экстрагенте, процесс разделения необходимо проводить при высоких исходных концентрациях солей лития: более 10 М для LiCl и более 8 М для LiNO_3 .

Разработана принципиальная технологическая схема проведения процесса разделения изотопов. На основе каскада центробежных экстракторов собрана демонстрационная лабораторная установка и осуществлен процесс разделения изотопов лития для рассматриваемых экстракционных систем. Определены эффективные величины коэффициентов разделения изотопов для каждого процесса, для всех случаев получено умножение изотопного эффекта, что демонстрирует универсальность предложенной технологической схемы.

Процесс разделения изотопов лития предпочтительнее проводить из растворов LiCl с использованием в качестве экстрагента изоамил-бензо-15-краун-5 во фторгептаноле. Это объясняется более высокими разделительными характеристиками экстракционной системы, облегченным процессом реэкстракции и существенно меньшим переходом этого краун-эфира в равновесные водные фазы по сравнению с бензо-15-краун-5.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2024-534)

ЭКСТРЕМОФИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОАКТИВНЫЕ МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА: ОТ ВНЕКЛЕТОЧНОГО ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ ДО АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Клюшин Г.С.^{1*}, Гогов А.С.¹, Захарцев М.В.¹, Ключев А.Л.², Гаврилов С.Н.¹

1 – Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, пр-кт 60-летия октября, д. 7, к. 2.

2 – Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Ленинский пр-кт, д. 31, к. 4.

*e-mail: klyushin1999@list.ru

Электроактивные микроорганизмы способны к внеклеточному обмену электронами с электродами в биоэлектрохимических системах, отдавая электроны на анод и генерируя электрический ток в микробных топливных элементах (МТЭ), или принимая электроны с поверхности катода. Наиболее разнообразны электроактивные прокариоты – бактерии и археи, обладающие редокс-активными мультигемовыми цитохромами, или электропроводящими структурными белками пилинами. Широкие перспективы разработки автономных источников тока для бесперебойного питания мониторинговых устройств в труднодоступных районах открываются при использовании прокариот из экстремальных экотопов (экстремофилов), обладающих повышенной электроактивностью. Мы исследовали два экотопа с экстремальными для развития жизни температурами. В обоих были установлены осадочные МТЭ, генерировавшие постоянный ток за счёт электроактивности осадочных микробных сообществ и разности потенциалов между анаэробными осадками и поверхностной оксигенированной водой. МТЭ в холодных беломорских осадках в течение 3-х месяцев питал радиобуй, передававший данные о температуре воды на расстояние до 0,5 км. В процессе работы этого МТЭ в осадочном микробном сообществе произошло накопление электроактивных микроорганизмов. Многоуровневый МТЭ в горячем вулканическом источнике Солнечный позволял отслеживать генерацию тока микроорганизмами в различных слоях осадочной толщи. Этот МТЭ генерировал постоянный ток в течение 12 суток наблюдения. Молекулярно-биологические исследования различных частей микробного сообщества этого источника помогут выявить биологическую составляющую электроактивности экосистемы, но уже сейчас можно говорить о возможности практического использования данного типа экотопов для создания автономных, экологически нейтральных источников тока.

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 24-64-00023.

СИНТЕЗ N,N-ДИБУТИЛАМИДА 5-НИТРОСАЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЕГО ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ КАТИОНОВ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

¹Мосалева С.П., ¹Чеботников Я.М., Шаров В.Э.¹, Костикова Г.В.¹

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: mosaleva.s@bk.ru*

Орто-замещенные фенолы, к которым, в том числе, относятся производные салициловой кислоты, показали высокую эффективность при извлечении лития из растворов, содержащих большие количества натрия и калия [1; 2]. Эфиры салициловой кислоты, несмотря на ряд серьезных преимуществ, характеризуются низкой кислотностью, что требует использования для экстракции водных растворов с высокой концентрацией гидроксид-ионов, а также гидролизом при контакте с указанными растворами. Таким образом, необходима модификация экстрагентов данного класса с целью повышения их кислотности и устойчивости к гидролитическому разложению.

В рамках данной работы была разработана и масштабирована методика синтеза модифицированного производного салициловой кислоты – N,N-дibuтиламида 5-нитросалициловой кислоты, в результате чего было наработано значительное количество вещества и исследованы его экстракционные характеристики.

Введение нитрогруппы в молекулу салициловой кислоты позволило в значительной степени увеличить кислотность экстрагента, что, в свою очередь, позволило уменьшить содержание гидроксид-ионов в растворах, подаваемых на экстракцию.

Была исследована растворимость нового экстрагента в ряде коммерчески доступных разбавителей, в результате чего был выбран наиболее оптимальный состав органической фазы для проведения экстракционных исследований.

Была исследована экстракция ряда редких элементов, включая литий, редкоземельные элементы и скандий экстрагентом на основе N,N-дibuтиламида 5-нитросалициловой кислоты, найдены оптимальные условия для выделения ценных компонентов из растворов сложного солевого состава.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2025-583)

1. Tsivadze, A.Yu. A New Extraction System Based on Isopropyl Salicylate and Trioctylphosphine Oxide for Separating Alkali Metals / A.Yu. Tsivadze, A.A. Bezdomnikov, V.E. Baulin et al. // *Molecules*. – 2022. – Vol. 27. – № 10. – P. 3051. DOI: 10.3390/molecules27103051.

2. Bezdomnikov, A.A. Dialkyl(5-ethyl-2-hydroxyphenyl)phosphonates as extractants for the selective recovery of lithium from alkaline media / A.A. Bezdomnikov, L.I. Demina, V.E. Baulin et al. // *Desalination*. – 2024. – Vol. 579. – P. 117446. DOI: 10.1016/j.desal.2024.117446.

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ СБОРКА ТЕТРАПИРРОЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИКЕЛЯ И РУТЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМИ АКСИАЛЬНЫМИ И ПЕРИФЕРИЙНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ В МОНОСЛОЯХ ЛЕНГМЮРА

Мамонов М.Д.¹, Аракчеев А.В.¹, Кройтор А.П.¹, Дмитриенко А.А.¹, Мартынов А.Г.¹, Селектор С.Л.¹

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской
академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4*

Явление индуцированного аксиальной координацией спин-кроссовера никеля(II) в его порфиринах привлекает внимание исследователей по всему миру благодаря своей фундаментальной и практической значимости. Однако, все работы, посвящённые этой динамично развивающейся теме, описывают $LS \leftrightarrow HS$ переходы в комплексах никеля различного строения в объёмной среде раствора. В данной работе продемонстрирована и впервые всесторонне охарактеризована принудительная супрамолекулярная сборка порфирина никеля(II) и фталоцианина рутения(II), обусловленная аксиальной координацией атома никеля в смешанных планарных системах на границе раздела воздух/вода. Определено влияние химического окружения металлоцентров на характерные особенности процессов координации. Впервые с помощью комплексной новаторской методики одновременной *in situ* регистрации UV-Vis и XANES спектров монослоя доказана управляемая латеральным сжатием аксиальная координация атома никеля ($CN4 \rightarrow CN5 \rightarrow CN6$) в изучаемых смешанных монослоях.

Размещение молекул на межфазной поверхности ограниченной площади в определённой копланарной ориентации решает проблему необходимости добавления больших избытков координирующего лиганда в систему, причём изучаемые процессы координации в 2D реакторе на поверхности воды проходят полностью. Реализуемый в работе подход к принудительной сборке в пространстве ограниченной размерности – монослой на поверхности раздела воздух/вода – открывает широкие перспективы для создания миниатюрных переключаемых супрамолекулярных систем с управляемыми оптическими и магнитными свойствами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 23-73-00037

ПРИМЕНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТАЛЬКОВ В ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ

Неделькин А.В., Назарова А.О., Слепов С.В.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
125047, г. Москва, Миусская площадь, д.9, стр.1; nedelkin.a.v@muctr.ru*

Применение тальков в защитных колерованных эпоксидных композициях, совместно с другими наполнителями, насчитывает не один десяток лет, в виду комплекса присущих им свойств: повышение стабильности систем при хранении, относительная дешевизна, высокая степень белизны, и др. После ухода с российского рынка ряда зарубежных производителей возник вопрос импортозамещения в производстве эпоксидных систем с сохранением всех целевых свойств производимых композиций. Ключевыми характеристиками тальков в рассматриваемых системах были выбраны в первую очередь доступность на рынке, стабильность продукции, гранулометрический состав, в т.ч. его средне-медианное значение, белизна, а также маслосъемкость. Маслосъемкость необходимо учитывать как параметр, напрямую связанный со смачиванием, т.е. способностью данного наполнителя адсорбировать вводимые в систему функциональные добавки, в первую очередь диспергаторы и смачивающие агенты, влияющие на стабильность и однородность цвета при применении эпоксидных композиций. Основной проблемой при замене импортных тальков, на которых были отработаны производимые эпоксидные системы, оказалось расслоение пигментов при нанесении покрытий, поэтому подбор производился в начале исходя из стабилизации системы добавками фирмы ВУК (2163, 2152, 088 и др.), а впоследствии – при применении добавок ряда китайских производителей.

Первичные испытания показали существенное отличие результатов при применении различных отвердителей, поэтому в дальнейшем тесты проводились с использованием в качестве отвердителя триэтилентетрамина (ТЕТА), как наиболее распространенного и стабильного варианта. Полученные результаты свидетельствуют, что исходные предположения о ключевом влиянии маслосъемкости и гранулометрического состава на целевые характеристики эпоксидных композиций оказались верными. Наилучшие значения были получены со средне-медианным диаметром частиц 7 мкм, минимальным медианным диаметром частиц 2.0 мкм и маслосъемкостью до 35г/100г (ISO 787/5). Более высокие показатели маслосъемкости приводили к расслоению пигментов эпоксидных композиций, особенно при применении органических пигментов. Величина белизны тальков (CIE L, %; ASTM E-313) при содержании пигментов в композиции до 9% существенного влияния на колеровку композиций не оказывала.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект FSSM-2023-0003)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНЬЮГАТОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ХИНОЛИЗИНА И СТИРИЛОВОГО КРАСИТЕЛЯ С ДНК¹

Перевозчикова П.С.^{1*}, Федоров Ю.В.¹, Федорова О.А.¹

¹Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 28, стр. 1. E-mail: polinap@ineos.ac.ru

Разработка полифункциональных молекул, способных выполнять несколько функций одновременно или последовательно, является важной задачей современных исследований в области биомедицины и нанотехнологии, так как они находят широкое применение в клеточных исследованиях, диагностике заболеваний и таргетной терапии. Бифункциональные конъюгаты привлекают внимание из-за их потенциала в диагностике и целевой доставке лекарственных средств, где одна часть молекулы может сигнализировать о связывании, а другая – обеспечивать терапевтическое действие.

В данной работе были синтезированы бифункциональные конъюгаты **1a-b** (Схема 1). С одной стороны, в своем составе они содержат производные хинолизины, которые являются эффективными интеркаляторами ДНК и обладают фотоцитотоксическим действием, генерируя активные формы кислорода при облучении, что может обеспечивать терапевтический эффект. С другой стороны, в структуру конъюгатов вводится стирильный краситель, демонстрирующий многократное увеличение интенсивности флуоресценции при связывании с биомолекулами, что обеспечивает диагностическую функцию.

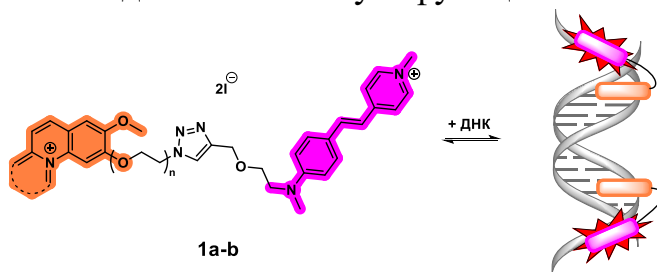


Схема 1

Методами оптической спектроскопии и спектроскопии кругового дихроизма было обнаружено, что комплексообразование стирильного красителя в составе конъюгатов **1a-b** с ДНК происходит путем залегания в малую бороздку, в то время как поликонденсированный фрагмент интеркалирует между парами оснований. С помощью электрофореза в агарозном геле было показано, что облучение конъюгата **1a** приводит к эффективному фотоиндуцированному повреждению плазмиды pBR322.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант №21-73-20158-П)

КУМАРИН- И БЕНЗОДИОКСИН- АННЕЛИРОВАННЫЕ ПИРАЗИНОСУБПОРФИРАЗИНЫ

Романова К.Р., Фазлыева А.М., Стужин П.А., Скворцов И.А.

Ивановский государственный химико-технологический университет

В настоящее время актуальной задачей является развитие методов диагностики и лечения злокачественных новообразований и различных инфекций. Особый интерес для развития тераностики представляют соединения на основе пиррол-содержащих макрогетероциклов (субфталоцианинов – sPc), а также природных фотосенсибилизаторов (кумаринов – CM). Гидроксизамещенные кумарины и субфталоцианины привлекают внимание из-за своей способности к генерации активных форм кислорода [1,2] и обладают флуоресцентными свойствами. Ранее не были получены субфталоцианины, содержащие на периферии кумариновый фрагмент. Поэтому целью данной работы была разработка субфталоцианина с аннелированными фрагментами природных фотосенсибилизаторов – гидроксизамещенных кумаринов. Задачами являлись синтез, характеристика и изучение фотохимических свойств разрабатываемых соединений.

В рамках данной работы были получены впервые кумарин и бензодиоксинзамещенные 2,3-дицианопиразиновые предшественники. На их основе синтезирована серия пиразиносубпорфиразинов как симметричного, так и несимметричного строения (Рис. 1).

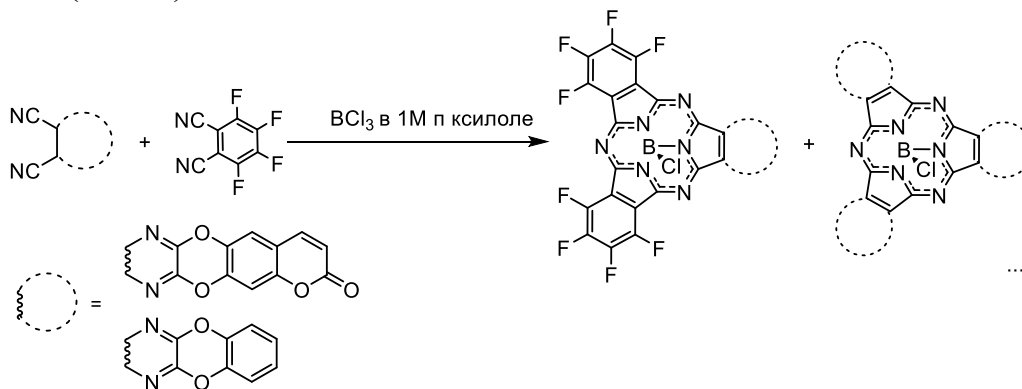


Рис. 2

Все соединения были охарактеризованы различными спектральными методами (УФ-видимая и ЯМР- спектроскопия, ИК, масс-спектрометрия MALDI-TOF и др.).

Список литературы:

1. Ortega-Forte E., et. al. Journal of Medicinal Chemistry. – 2021. – Т. 64. – №. 23. – С. 17209-17220.
2. Zhao N., et. al. ACS Applied Materials & Interfaces. – 2019. – Т. 12. – №. 2. – С. 2076-2086.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 23-43-00136

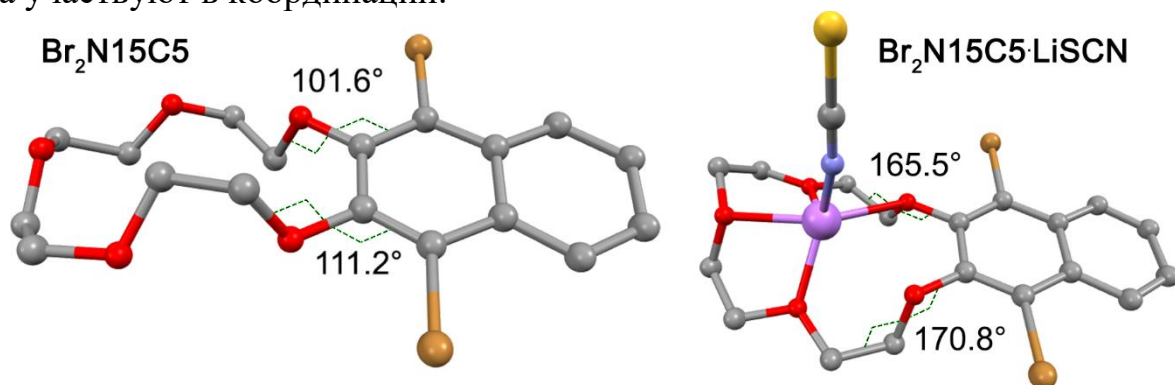
НОВЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ КОНФОРМАЦИОННЫМ СОСТОЯНИЕМ И ЭКСТРАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ НАФТО-15-КРАУН-5-ЭФИРА

Мартынов А.Г., Бездомников А.А., Сафонова Е.А., Половкова М.А., Тихомирова Ю.Т., Демина Л.И., Шаров В.Е., Костикова Г.В., Жиллов В.И., Григорьев М.С., Горбунова Ю.Г., Цивадзе А.Ю.

ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский просп., д.31, корп.4

Ароматические производные краун-эфиров, например бензо-15-краун-5 – B15C5, являются одними из наиболее востребованных макрогетероциклических экстрагентов. Структурная модификация данного типа экстрагентов проще всего достигается за счет проведения реакций электрофильного ароматического замещения в ароматических фрагментах, затрагивающих положения, удаленные от краун-эфирных макроциклов.

В данной работе впервые показано, что электрофильное ароматическое бромирование нафто-15-краун-5 – N15C5 приводит к функционализации положений 1- и 4-, находящихся в непосредственной близости к краун-эфирному кольцу. Согласно данным РСА из-за стерического отталкивания атомов брома и α -CH₂ групп, в образующемся 1,4-дибром-производном и его комплексе с LiSCN наблюдаются необычные неплоские конформации краун-эфирных колец. Более того, в комплексе Br₂N15C5·LiSCN катион лития связан лишь с четырьмя атомами кислорода, в отличие от комплекса N15C5·LiSCN, где все пять атомов кислорода участвуют в координации.



Такие особенности комплексообразования объясняют более низкую экстрагирующую способность Br₂N15C5 по отношению к катионам лития по сравнению с B15C5 и N15C5, что также позволило проверить взаимосвязь между экстрагируемостью лития и коэффициентами разделения изотопов ⁶Li/⁷Li. Показано, что с падением экстрагируемости лития вместо увеличения изотопного эффекта наблюдается его уменьшение в ряду B15C5 ≥ N15C5 >> Br₂N15C5.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2024-534)

УФ-ИНДУЦИРОВАННЫЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В 2D СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ БИС-ФТАЛОЦИАНИНАТА ИТТЕРБИЯ

Соболев А.А.¹, Аракчеев А.В.², Мартынов А.Г.², Селектор С.Л.²

¹«МИРЭА — Российский технологический университет», Москва, Россия, 119454, пр-т Вернадского, д. 78

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4; e-mail: pcss_lab@mail.ru

Фотоиндуцируемые переключения в сопряжённых органических соединениях представляют особый интерес для исследователей благодаря перспективности использования таких систем в качестве активных модулей устройств молекулярной электроники.

В данной работе впервые показана возможность фотоиндуцируемой редокс-изомеризации бис-[тетра-(15-краун-5)-фталочианината] иттербия $\text{Yb}(\text{Cr}_4\text{Pc})_2$ в монослоях Ленгмюра. На основании анализа UV-Vis спектров поглощения монослоя установлено, что при УФ-облучении монослоя Ленгмюра $\text{Yb}(\text{Cr}_4\text{Pc})_2$ на поверхности водной субфазы происходит редокс-изомеризация комплекса (рис. 1). При этом степень окисления металлоцентра меняется $\text{Yb}^{2+} \rightarrow \text{Yb}^{3+}$. Необходимо отметить, что после выключения УФ-лампы происходит темновая релаксация, в течение которой комплекс возвращается в исходное состояние $\text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Yb}^{2+}$.

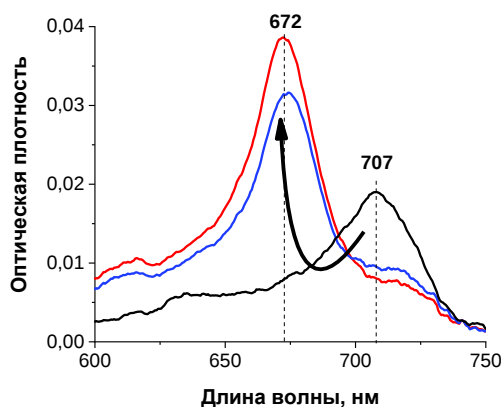


Рис. 1 Эволюция UV-Vis спектров поглощения монослоя $\text{Yb}(\text{Cr}_4\text{Pc})_2$ при 10 мН/м при УФ-облучении в течение 15 минут

В работе продемонстрированы аналогичные фотоиндуцируемые превращения в плёнках Ленгмюра-Блоджетт $\text{Yb}(\text{Cr}_4\text{Pc})_2$, сформированных на кварцевых пластинах. Изменения физико-химических характеристик мономолекулярных плёнок на твёрдых подложках зарегистрированы с помощью UV-Vis спектроскопии, показана обратимость переключений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 23-73-00037

ОСОБЕННОСТИ ИМПРЕГНИРОВАНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИММУНОСУПРЕССИВНОГО ДЕЙСТВИЯ В РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИХ КАРКАСОВ

Пануев Д.М.^{1,2}, Агафонов М.А.¹, Парфенов А.С.^{1,3}, Делягина Е.С.^{1,2},
Терехова И.В.¹

¹*Институт химии растворов Российской академии наук, Иваново, Россия*

²*Ивановский государственный университет, Иваново, Россия*

³*Ивановский государственный медицинский университет, Иваново, Россия*
ivt@isc-ras.ru

В последнее десятилетие металл-органические каркасы (МОК) привлекают внимание исследователей в качестве перспективных систем доставки лекарств. МОК – это упорядоченные пористые структуры, образованные органическими линкерами и ионами металлов в определенных условиях. МОК обладают рядом уникальных свойств, а именно развитой удельной поверхностью и регулируемым размером пор, благодаря чему они способны адсорбировать молекулы лекарственных веществ и высвобождать их с настраиваемой кинетикой высвобождения. Среди большого разнообразия МОК наиболее ценными для медицины и фармацевтики являются каркасы, синтезированные на основе биологически активных катионов металлов и биосовместимых линкеров.

В данной работе были получены МОК, органическими линкерами у которых являются циклодекстрины (ЦД-МОК), аминокислоты (АК-МОК), производные имидазола (ZIF-8 и ZIF-67). Данные МОК рассматриваются как носители терифлуномида и лаквинимода, которые используются в терапии рассеянного склероза – аутоиммунного заболевания, сопровождающегося неврологическими нарушениями. Данные лекарственные соединения были загружены в МОК методом пропитывания. Проанализировано влияние строения МОК и лекарственных соединений на эффективность импрегнации. Выявлены основные закономерности адсорбции терифлуномида и лаквинимода на МОК.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №24-73-10085

ПОЛУЧЕНИЕ СТРОГО МОНОДИСПЕРСНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Черевинский А.П.

ИФХЭ РАН, 119071, г. Москва, Ленинский пр., д.31, корп. 4

e-mail: Cherevinskiy@mail.ru

Современные стоматологические композитные материалы требуют наполнителей с точно контролируемыми размерными и оптическими характеристиками. Монодисперсные сферические наночастицы SiO_2 размером 20 нм представляют особый интерес для создания эстетически совершенных пломбирочных материалов, обеспечивающих высокую полируемость поверхности и оптическую прозрачность, сопоставимую с естественной эмалью зубов. Традиционные методы синтеза SiO_2 наполнителей часто приводят к получению полидисперсных систем с широким распределением размеров частиц ($\text{PDI} > 0.3$), что негативно влияет на оптические свойства и качество полировки композитных реставраций.

Объекты исследования – наночастицы диоксида кремния (SiO_2), синтезированные золь-гель методом с целевым диаметром 20 ± 2 нм, стабилизированные поливинилпирролидоном (ПВП).

В работе использовался модифицированный метод Штёбера в щелочной среде, позволяющий провести контролируемый гидролиз тетраэтилортосиликата в присутствии ПВП-стабилизатора при $T=50^\circ\text{C}$. Методом динамического светорассеивания определены гидродинамический диаметр $19,8 \pm 1.2$ нм и индекс полидисперсности $\text{PDI} = 0.08 \pm 0.02$ (строгая монодисперсность). ПЭМ и СЭМ исследования показали, что частицы обладают гладкой сферической морфологией поверхности со средним диаметром 21.3 ± 1.5 нм без образования агломератов. Измерение показателя преломления проводили рефрактометрией водных дисперсий $n = 1.353 \pm 0.002$. Светопропускание, в диапазоне длин волн 400-700 нм, составило $>92\%$.

Разработан эффективный метод синтеза строго монодисперсных SiO_2 наночастиц около 20 нм с высокой степенью монодисперсности ($\text{PDI} < 0.1$), что критично для оптических свойств в стоматологии. Показатель преломления близок к стоматологическим мономерам. ПВП-стабилизатор разрешен для применения в медицине, но может быть полностью удален при 300°C . Продемонстрированы превосходные оптические свойства, обеспечена долговременная стабильность наночастиц без агломерации. Полученные наночастицы перспективны для создания высокоэстетичных стоматологических композитов нового поколения.

САМООРГАНИЗАЦИЯ АМФИФИЛЬНЫХ МОЛЕКУЛ НА ГРАНИЦЕ ДЕНТИН/АДГЕЗИВ¹

Шапиро И.Д.^{1,2}, Плюснина И.О.², Шапагин А.В.²

¹НУИ ВШЭ, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д.20

²ИФХЭ РАН, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д.31, корп.4

В настоящее время при реставрации зубов после удаления кариозного заражения превалирует использование адгезионных систем в качестве связующего звена между дентином зуба и стоматологическим реставрационным композиционным материалом. Для придания прочных адгезионных взаимодействий между гидрофильной поверхностью дентина и гидрофобной реставрационного материала необходимо использование адгезионных составов на основе амфифильных молекул.

В данной работе рассматривается влияние соотношения полярных и неполярных акрилатов в фотоотверждающейся стоматологической адгезионной системе на адгезионную прочность при использовании ее в качестве межфазного слоя на границе дентин – стоматологический композит.

В качестве объектов исследования использовали дентин человеческих зубов и реставрационный материал Filtek Z550 (Kerr, США). Адгезионная система – смесь стоматологических метакрилатов, фотоинициатора, растворителя, наполнителя и стабилизатора. В исследуемых смесях изменяли концентрацию гидрофильного компонента 2-гидроксиэтилметакрилат (НЭМА) в диапазоне от 0 до 25 мас.%.

Основными методами исследования были: сканирующая электронная микроскопия, метод «сидячей капли» для определения энергетических характеристик поверхности и адгезионные испытания по ГОСТ 59423-2021 (ИСО 29022:2013).

Изучено влияние соотношения гидрофильных и гидрофобных акрилатов в адгезионной системе на энергетические характеристики поверхности до и после отверждения. Получены деформационно-прочностные зависимости при испытании исследуемых адгезионных систем на сдвиг. Исследован характер разрушения адгезионных соединений. Установлено, что отсутствие в адгезионной системе молекул с гидрофильной функциональной группой снижает силу адгезионных взаимодействий на границе дентин – адгезив, повышая вероятность появления микротрещин и вторичного кариеса. Показано, что введение гидрофильного компонента изменяет механизм разрушения с адгезионного на когезионный. Получена корреляционная зависимость влияния концентрации гидрофильного компонента в стоматологической адгезионной системе на прочность соединения дентин – адгезив – композит. Показано, что наличие молекул с гидрофильной функциональной группой способствует образованию стабильных связей с дентином и увеличению прочностных характеристик в адгезионной стоматологической системе.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУБСТРАТОВ НА ВЕЛИЧИНУ АДГЕЗИОННОЙ ПРОЧНОСТИ В ЭЛЕКТРОАДГЕЗИОННЫХ СИСТЕМАХ¹

Шаров К.И.

ИФХЭ РАН, 119071, г. Москва, Ленинский пр., д.31, корп. 4
e-mail: Deathknight_91@mail.ru

В последнее время при создании адгезионных систем специалисты во всём мире всё чаще применяют устройства на базе эффекта электроадгезии. Сам по себе эффект электроадгезии – сложный динамический эффект электростатического притяжения между двумя заряженными поверхностями. Данный эффект лежит в основе создания электроадгезионных систем. Опубликовано достаточно большое количество работ в области моделирования эффекта электроадгезии, а также воздействия параметров окружающей среды, однако исследований реальных электроадгезионных систем в области влияния фазового состава и энергетических характеристик субстратов на величину электроадгезионной прочности крайне мало.

Объекты исследования – электроадгезионные системы, включающие в себя электроадгезив и субстраты – плёнки полиэтилена низкой плотности, поливинилацетата и сополимеров этилена и винилацетата (СЭВА) с различным содержанием полярных винилацетатных групп (от 7 до 40 масс.%) толщиной от 180 до 230 мкм, подвергавшиеся и не подвергавшиеся отжигу.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии и просвечивающей электронной микроскопии исследована степень кристалличности плёночных субстратов и влияние на неё ориентационных процессов при растяжении. Методом «сидячей капли», используя уравнение Оуэнса-Вендта, рассчитана поверхностная энергия субстратов в исходном состоянии, под воздействием электрического поля (4 кВ) и через 10 секунд после снятия напряжения. Силу электроадгезии регистрировали на разрывной машине по бесконтактной методике при напряжении от 3 до 8 кВ. Величину электроадгезионной прочности рассчитывали, как силу электроадгезии, отнесённую к площади субстрата.

В ходе проведённых исследований установлена корреляция между степенью кристалличности, концентрацией полярных винилацетатных групп в сополимерах этилена и винилацетата, поверхностной энергии и её составляющих и электроадгезионной прочностью в электроадгезионных системах. Определены критерии изготовления электроадгезионных систем, характеризующихся максимальными электроадгезионными свойствами.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

МНОГОЛИКИЙ ХОЛЕСТЕРИН КАК «МОЛЕКУЛЯРНЫЙ МАЖОРДОМ» МЕМБРАН¹

Арсланов В.В.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, г. Москва, Ленинский проспект д. 31, корп. 4;

E-mail: vladimir.arslanov@gmail.com

Холестерин является неотъемлемым компонентом мембран эукариотических клеток и ключевой молекулой, контролирующей их стабильность, текучесть, организацию и другие, прежде всего, регуляторные функции. В этом отношении холестерин можно считать "молекулярным мажордомом" клеточной мембраны, поскольку он выполняет свои функции подобно дворецкому, поддерживающему порядок и управляющему функционированием дома. Холестерин располагается между фосфолипидами, обеспечивая стабильность мембраны при разных температурах и контролируя ее проницаемость, что делает клеточную мембрану более прочной и менее подверженной повреждениям. Однако, как справедливо отмечено в работе [1], из-за огромного внимания к геномике и биологическому функционированию, основанному на белках, холестерин и другие липиды долгое время оставались вне мейнстрима большинства областей наук о жизни и родственных дисциплин. Признается, что не все ответы на вопросы биологической функции можно получить из генома. Например, в геноме не записано, как молекулярные строительные блоки собираются в супрамолекулярные ансамбли, органеллы и целые клетки. Поэтому в последние годы исследованию бислойных мембран и их планарных и везикулярных моделей уделяется повышенное внимание. Один из признанных и наиболее загадочных эффектов, связанных с влиянием холестерина на липидные мембраны, состоит в его способности одновременно упрочнять и разжижать мембраны. В связи с этим изучение механических свойств мембран и их биомиметических моделей имеет важное значение не только для осознанного управления многими биологическими процессами, но и потому, что эти свойства определяют саму возможность существования уникальных природных объектов (клеток). В настоящей работе обсуждается современное понимание того, каким образом холестерин влияет на физико-химические свойства липидных и модельных мембран на основе неионогенных ПАВ. Особое внимание уделено взаимосвязи структуры и свойств планарных и везикулярных систем.

1. Mouritsen, O. G. and Zuckermann, M. J. (2004). What's so special about cholesterol? *Lipids*, 39(11), 1101-1113.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 23-73-00037)

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамова Е.С., 37
 Агафонов М.А., 80
 Акулов А.А., 6
 Александров А.Е., 30
 Анисимова Н.Ю., 18
 Антипа Е.В., 34
 Антипин И.С., 24, 45, 59
 Аракчеев А.В., 31, 62, 74, 79
 Арсланов В.В., 40, 84
 Ахмадеев Б.С., 32, 51
 Бажанов Д.А., 63
 Батов Д.В., 66, 68
 Баулин В.Е., 14
 Безбородова О.А., 8
 Бездомников А.А., 13, 14, 57, 70, 78
 Березин Д.Б., 64, 65, 66, 67, 68
 Берлёва А.В., 32, 51
 Бессмертных-Лемен А.Г., 9
 Бондарева Т.В., 66, 68
 Боржицкая Е.О., 8
 Бортневская Ю.С., 20
 Брагина Н.А., 20, 24, 45, 54
 Букреева Т.В., 22
 Бурлов А.С., 43
 Вараксин М.В., 6, 46
 Волошин Я.З., 7, 42, 58
 Волошина А.Д., 24, 45
 Гаврилов С.Н., 72
 Гарин С.П., 69
 Глебездина У.С., 15, 47
 Гнедина Е.С., 33
 Говоров Н.Д., 8
 Гогов А.С., 72
 Гончаренко А.А., 34
 Горбунова Ю.Г., 49, 78
 Горшков Е.В., 49
 Грибанов П.С., 43
 Грибкова О.Л., 38
 Григорьев М.С., 78
 Грин М.А., 8, 35
 Грузнов Д.В., 20
 Грузнова О.А., 20
 Данилова Д.К., 35
 Дегтярева В.А., 36, 44
 Делягина Е.С., 48, 80
 Демина А.И., 8
 Демина Л.И., 70, 78
 Дмитриев А.В., 43
 Дмитриенко А.А., 74
 Дудкин С.В., 7
 Ермакова Е.В., 9
 Ефимова А.С., 56
 Жданов А.П., 23
 Жданова К.А., 20, 24, 45, 54
 Жижин К.Ю., 23
 Жилов В.И., 13, 71, 78
 Жуков И.А., 43
 Зайченко Н.Л., 15
 Захарцев М.В., 72
 Зиганшина А.Ю., 24, 45, 59
 Зорин В.П., 64
 Зорина Т.Е., 64
 Иванова В.Т., 37
 Идрисов Т.А., 6, 46
 Инденбом А.В., 37
 Исакова А.А., 37
 Кабанова В.А., 38
 Кадиров М.К., 59
 Калягин А.А., 34
 Карпеченко Н.Ю., 20, 54
 Киринов Н.С., 8
 Киселевский М.В., 18
 Ключев А.Л., 18, 72
 Ключин Г.С., 72
 Колоколов Ф.А., 25
 Коннова Г.Н., 39
 Коновалова Н.В., 19
 Коршунов В.М., 43
 Костикова Г.В., 13, 14, 55, 57, 60, 71, 73, 78
 Котенев В.А., 26
 Кройтор А.П., 74
 Крылов Д.И., 40
 Кузнецов Д.И., 25
 Кузнецов И.О., 41, 47
 Куренкова Е.А., 70

Кустов А.В., 64, 65, 66, 67, 68
 Кутасевич А.В., 36, 41, 44, 47, 53, 69
 Лавринченко И.А., 6, 46
 Лазовский Д.А., 33
 Лимарев И.П., 42
 Лыпенко Д.А., 43
 Любимов А.В., 15
 Любина А.П., 24, 45
 Макаров В.В., 64
 Макринский К.И., 18
 Макшанова А.О., 36, 44
 Мамонов М.Д., 74
 Мансурова Э.Э., 45
 Мартыненко Н.С., 18
 Мартынов А.Г., 31, 62, 74, 78, 79
 Масленников А.А., 24
 Медведев Д.Ю., 8, 35
 Митянов В.С., 36, 41, 44, 47, 53, 69
 Морозов А.Н., 15, 25
 Морозова Е.О., 37
 Моршнева Ф.К., 67
 Мосалева С.П., 73
 Мосеев Т.Д., 6, 46
 Мосов Д.О., 58
 Мустафина А.Р., 32, 51
 Назарова А.О., 15, 47, 75
 Неделькин А.В., 75
 Некрасов А.А., 38
 Нелюбина А.А., 6
 Низамеев И.Р., 24, 45
 Никитина М.Г., 48
 Никифоров Е.А., 6, 46
 Николаева Т.Н., 37
 Никулова У.В., 63
 Овченкова А.Е., 49
 Островерхов П.В., 8, 35
 Павлов А.А., 17
 Паламар А.В., 65, 66, 67
 Пануев Д.М., 80
 Парфенов А.А., 24
 Парфенов А.С., 80
 Первозчикова П.С., 76
 Першин А.А., 6
 Плотникова Е.А., 8
 Плюснина И.О., 82
 Плютинская А.Д., 8
 Подъячев С.Н., 32
 Позин С.И., 32
 Половкова М.А., 49, 78
 Прокопова Н.В., 54
 Райтман Е.В., 44, 69
 Райтман О.А., 12, 15, 25, 36, 41, 44, 47, 53, 69
 Романова К.Р., 77
 Савельева И.О., 20
 Саруханова В.В., 22
 Сафонов А.В., 37
 Сафонова Е.А., 49, 78
 Саяров И.Р., 50
 Селектор С.Л., 11, 31, 32, 35, 51, 62, 74
 Семенов В.Э., 45
 Сиволап А.А., 52
 Скворцов И.А., 77
 Скворцова Н.Г., 32, 51
 Слепов С.В., 75
 Смирнова Н.Л., 65, 67
 Соболев А.А., 79
 Спицын Б.В., 37
 Спицын Н.Ю., 15, 53
 Стужин П.А., 33, 34, 77
 Ступников А.В., 32
 Сукорева С.М., 54
 Тамеев А.Р., 30, 50
 Терехова И.В., 21, 48, 80
 Тихомирова Ю.Т., 55, 78
 Тюрин Д.Н., 26
 Усанев А.Ю., 24, 45
 Усанёв А.Ю., 20, 54
 Усачев М.Н., 8
 Устимова М.А., 56
 Фазлыева А.М., 77
 Федоров Ю.В., 56, 76
 Федорова О.А., 56, 76
 Федосеев А.М., 52
 Финогенов Д.Н., 34
 Флид В.Р., 10
 Цивадзе А.Ю., 13, 14, 49, 70, 71, 78
 Чарушин В.Н., 6, 46
 Чвалун С.Н., 62

Чеботников Я.М., 57, 73
Черевинский А.П., 81
Чмовж Т.Н., 43
Чулкова Т.Г., 43
Чупахин О.Н., 6, 46
Чуприн А.С., 58
Шамсутдинов А.А., 59
Шапагин А.В., 27, 63, 82

Шапагина Н.А., 28
Шапиро И.Д., 82
Шаров В.Е., 78
Шаров В.Э., 13, 14, 55, 57, 60, 71, 73
Шаров К.И., 83
Шулаева М.М., 45
Шухто О.В., 66, 68
Якиманский А.В., 43

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные лекции.....	5
Устные доклады.....	29
Стендовые доклады.....	61
Алфавитный указатель.....	85

Супрамолекулярные системы на поверхности раздела: IX Международная конференция. 22-26 сентября, 2025. Сборник тезисов докладов. – М.: ИФХЭ РАН, 2025. – 90с.

Сборник тезисов докладов
Под редакцией Райтмана О.А., Тюрина Д.Н.

Подписано в печать 12.09.2025г.

Формат 60х84

Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 11,0. Тираж 90 экз.

Заказ № 76

Отпечатано в Федеральном
государственном бюджетном учреждении науки
Институте физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Дизайн и компьютерная верстка
Райтман О.А., Тюрин Д.Н.