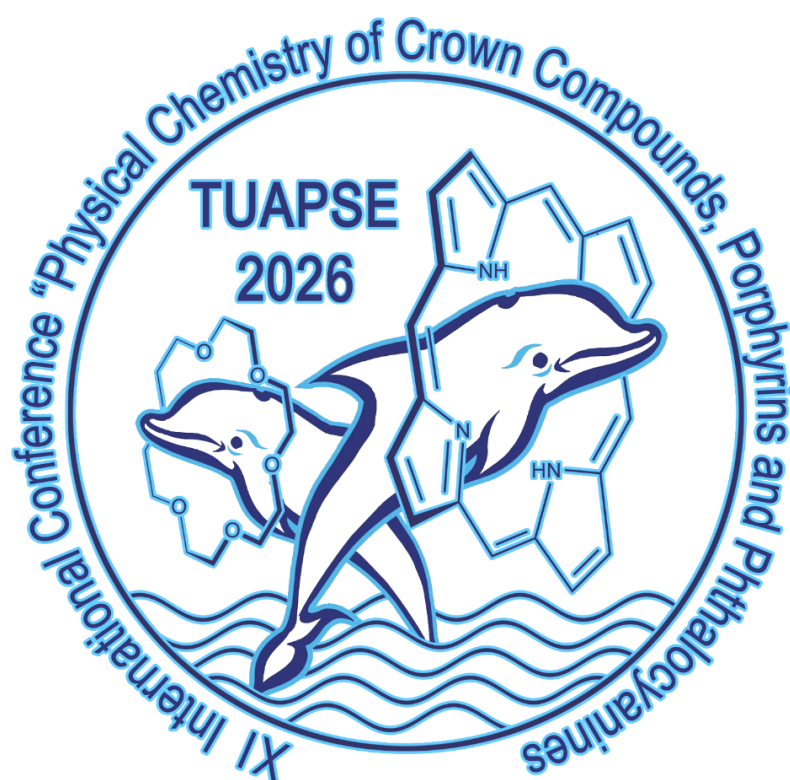


**Российская Академия наук
Министерство науки и высшего образования РФ
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева
Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева
Под эгидой Научного совета РАН по физической химии
секция "Физическая химия нано- и супрамолекулярных систем"**



**XI Международная конференция по физической химии
краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов**

21 сентября – 25 сентября 2026 г.

Туапсе

УДК 544.23(063)
ББК 24.44я431
М43

Утверждено к печати Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина
Российской академии наук

**Физическая химия краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов:
XI Международная конференция. 21-25 сентября, 2026. Сборник тезисов докладов.** – М.: ИФХЭ РАН, 2026. – 67с.

ISBN 978-5-00274-153-3

С 21 по 25 сентября 2026 г. в п. Агой, Туапсинского района Краснодарского края состоится XI Международная конференция по физической химии краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов. Данная Международная конференция является очередным мероприятием в ряду конференций, регулярно проводимых по этой тематике с 2004 года. Организаторами конференций являются Российская Академия наук, Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии имени А. Н. Фрумкина РАН, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Российское химическое общество им. Д.И. Менделеева. Проводится конференция под эгидой Научного совета РАН по физической химии, секция "Физическая химия нано- и супрамолекулярных систем". Сборник тезисов докладов и сообщений общим объемом 67 страниц, содержащий 55 работ, позволяет ознакомиться со всем спектром представленной на конференции научной информации. В издании опубликованы результаты исследований в таких областях химии краун-эфиров, порфиринов и фталоцианинов, как супрамолекулярная химия макроциклических соединений, их фото- и электрохимия, молекулярное распознавание, каталитические процессы, сенсорика, фотодинамическая терапия рака и другие, медицинские и биоэкологические применения. Обсуждаются современные направления дизайна и синтеза макрогетероциклических соединений, методы изучения свойств краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов, а также подходы к их супрамолекулярной сборке.

Рецензионная комиссия:
Селектор С.Л., Райтман О.А

Ответственный редактор:
Райтман О.А

Редакционная коллегия:
Райтман О.А, Тюрин Д.Н

Материалы конференции представлены в авторской редакции

ISBN 978-5-00274-153-3

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина Российской академии наук, 2026.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

академик РАН А.Ю. Цивадзе (ИФХЭ РАН, Москва) – председатель
академик РАН Ю.Г. Горбунова (ИФХЭ РАН, Москва) – зам. Председателя
профессор В.В. Арсланов (ИФХЭ РАН, Москва) – зам. председателя
д.х.н. С.Л. Селектор (ИФХЭ РАН, Москва) - ученый секретарь
академик РАН М.В. Алфимов (ЦФ РАН, Москва)
член-корр. РАН И.С. Антипин (КГУ, Казань)
академик РАН И.П. Белецкая (МГУ, Москва)
член-корр. РАН С.П. Громов (ЦФ РАН, Москва)
профессор РАН С.З. Вацадзе (МГУ, Москва)
академик РАН Ю.А. Золотов (ИОНХ РАН, Москва)
д.х.н., профессор РАН А.Г. Мажуга (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)
академик РАН В.И. Минкин (НИИ ФОХ РГУ, Ростов-на-Дону)
академик РАН Б.Ф. Мясоедов (ИФХЭ РАН, Москва)
академик РАН О.Г. Синяшин (ИОФХ РАН, Казань)
д.х.н. Щербина А.А. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)
член-корр. РАН В.П. Федин (ИНХ СО РАН, Новосибирск)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Академик РАН 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), к.х.н. Ю.Ю. Енакиева (ИФХЭ 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 РАН, Москва)-председатель	к.х.н. Александрова А.В. (ИФХЭ РАН, Москва)
к.х.н. Колоколов Ф.А. (РХТУ, Москва)	Селивантьев Ю.М. (РХТУ, Москва)
к.х.н. Ключев А.Л. (ИФХЭ РАН, Москва)	Райтман Е.В. (РХТУ, Москва)
к.х.н. Ермакова Е.В. (ИФХЭ РАН, Москва)	Спицын Н.Ю. (РХТУ, Москва)
к.х.н. Морозов А.Н. (РХТУ, Москва)	Аракчеев А.В. (РХТУ, Москва)
Тюрин Д.Н. (ИФХЭ РАН, Москва)	Дегтярева В.А. (РХТУ, Москва)
	Макшанова А.О. (РХТУ, Москва)

ПЛЕНАРНЫЕ ЛЕКЦИИ

МЕТАЛЛИРОВАНИЕ ПОРФИРИНОВ В ОРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Арсланов В.В.

*Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина, 119071,
Москва, Ленинский проспект, д.31, корп. 4;
E-mail: da.krylov228@yandex.ru*

Введение ионов металлов в тетрапирролы является одним из рутинных процессов, идущих неферментативно в щелочных средах средней полярности при нагревании. В биологических системах реакцию катализирует класс ферментов, называемых хелатазами [1]. Производные порфирина широко изучаются с точки зрения моделирования различных процессов в биологических системах. Упорядоченные структуры порфиринов играют важную роль в осуществлении химических реакций, в процессах преобразования солнечной энергии в фотосинтетическом комплексе. В течение последнего десятилетия организованные структуры с участием порфиринов, такие как везикулы, мицеллы, самоорганизованные монослои, LbL-пленки активно исследуются. Особое внимание уделяется монослоям на границе раздела воздух-жидкость благодаря адекватности модели биологическим структурам. Металлирование порфирина в монослоях на поверхности воды определяется микроокружением; порфирины в гидрофильных участках вблизи границы раздела достаточно легко металлируются, тогда как в более гидрофобных участках осуществление процесса затруднительно [2,3]. Внедрение иона металла в порфириновые макроциклы зависит от ориентации порфирина, его взаимодействий с липидами в организованной 2D среде. Интересное направление исследований представляет «самометаллирование» тетрапиррольного макроцикла, адсорбированного на поверхности металла. Взаимодействие молекулы с поверхностью обеспечивает перенос заряда и геометрическое искажение молекулярной плоскости, необходимые для включения металла. В настоящей работе обсуждается современное понимание того, каким образом упорядоченность молекулярной структуры влияет на эффективность процесса металлирования и свойства модельных мембран на основе монослоев поверхностно-активных веществ.

1- Hunter, G. A. et al. Journal of porphyrins and phthalocyanines, 2011, 15(05n06), 350-356.

2 - Ramos, A.P. et al. J. Colloid Interface Sci. 2010, 350, № 1. P. 148–154.

3 - Armillotta, F. et al. Self-Metalation of Porphyrins at the Solid–Gas Interface. Angewandte Chemie, 2021, 133(49), 26192-26197.

**Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (соглашение №075-15-2020-782)*

2-ФОСФОРИЛФЕНОЛЫ - НОВЫЕ ХЕЛАТИРУЮЩИЕ СОЕДИНЕНИЯ. СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Баулин В.Е.^{а,б}, Рогачева Ю.И.^б, Лапшина М.А.^б, Николаева Н.С.^б,
Цебрикова Г.С.^а, Иванова И.С.^б, Пятова Е.Н.^б, Соловьев В.П.^а,
Илюхин А.Б.^б, Цивадзе А.Ю.^а

^аИнститут физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина Российской академии наук, Российская Федерация, 119071 Москва, Ленинский просп., 31, корп. 4.

^бФедеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Институт физиологически активных веществ Российской академии наук, Российская Федерация, 142432 Черноголовка, Московской обл., Северный пр-д, 1.

^сИнститут общей и неорганической химии им. А. Н. Курнакова Российской академии наук, Российская Федерация, 119991 Москва, Ленинский просп., 31.

Синтез новых хелатирующих органических соединений, изучение их физико-химических и биологических свойств является эффективным подходом к созданию функциональных материалов и лекарственных средств. 2-Фосфорилфенолы (2-ФФ) (рис. 1) являются малоизученными аналогами салициловой кислоты (H_2Sal) в которой карбонильная ($C=O$) группа заменена фосфорильным фрагментом.

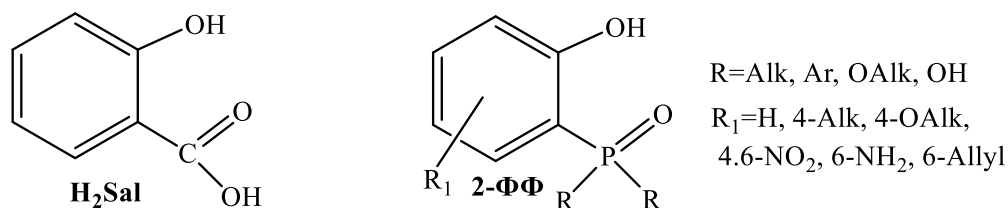


Рисунок 1. Структурные формулы (H_2Sal) и 2-фосфорилфенолов (2ФФ).

В докладе представлены результаты синтеза и функционализации 2-ФФ, изучения строения и свойств координационных соединений 2-ФФ катионами s-, d- и f-элементов. Обсуждаются перспективы использования полученных соединений в качестве компонентов селективных жидкостных и твердофазных экстракционных систем, и биологически активных веществ.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования России (грант № 075-15-2024-534).

НАНОЧАСТИЦЫ КАК НОСИТЕЛИ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ: СИНТЕЗ, СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Дементьева О.В.¹, Рудой В.М.¹

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071 Москва, Ленинский пр-т, д. 31, корп.4; dema_ol@mail.ru*

Диагностика и терапия злокачественных новообразований входят в число самых актуальных проблем современной медицины. При этом основными задачами являются разработка способов ранней диагностики и малоинвазивных комплексных методов лечения, создание принципиально новых препаратов и обеспечение их направленной доставки в опухоль. В этой связи следует выделить фотодинамическую терапию (ФДТ) – сравнительно новый перспективный подход, основанный на способности некоторых красителей (фотосенсибилизаторов) индуцировать под действием лазерного излучения образование цитотоксичных кислородсодержащих соединений.

Многие препараты этой группы плохо растворимы в воде и характеризуются высокой кожной токсичностью и/или низким коэффициентом селективности. Все это затрудняет их использование в ФДТ. Направленная доставка фотосенсибилизаторов в опухоль с помощью наноразмерных носителей разной природы позволяет существенно снизить риск возникновения побочных эффектов и, одновременно, повысить эффективность действия препарата за счет его локального высвобождения.

В докладе будут проанализированы перспективы решения этой задачи с использованием в качестве таких носителей наночастиц благородных металлов и мезопористых оксидов, а также композитных структур ядро/оболочка на их основе.

Основное внимание планируется уделить вопросам, связанным с синтезом частиц-контейнеров с заданными морфологией и свойствами, существующими подходами к загрузке фотосенсибилизаторов в тот или иной контейнер, а также с возможностью создания многофункциональных наноструктур для сочетанной терапии опухолей.

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

ГИБРИДНЫЕ ТЕТРАПИРРОЛО-ТРИС-(ДИ)ОКСИМАТЫ 3d-ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ: МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН, СИНТЕЗ, 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

119071, Россия, г. Москва ул. Ленинский проспект, д. 31

sdudkin@ineos.ac.ru

Гибридные тетрапирролокатрохелаты с инкапсулированным ионом 3d-переходного металла являются политопными соединениями, молекулы которых содержат один или два металлотетрапиррольных апикальных фрагмента, «сшивающих» три (α -диоксиматных или гетероциклооксиматных) фрагмента, приводя к образованию гибридного 3d-металл-центрированного клеточного комплекса [1]. Разработанные нами стратегии получения соединений этого типа включают: (а) переметаллирование лабильных триэтилсурьма(V)-содержащих групп их (псевдо)макробициклических предшественников под действием металл(IV)фталочианинов или порфиринов как кислот Льюиса [2–7,9], (б) макробициклизацию их немакробициклических металлокомплексных трис- α -дииминатных предшественников [6–9] и (в) одностадийную темплатную конденсацию хелатирующих α -диоксиматных (или гетероциклооксиматных) и тетрапиррольных «сшивающих» лигандных синтонов на подходящем ионе 3d-металла как «матрице» [6–13].

Будут представлены новые данные о молекулярном дизайне гибридных клеточных комплексов этого типа, о путях их синтеза и об их пространственной и электронной структуре. Будет сообщено о последних достижениях и перспективах их практического использования в качестве (фото)катализаторов важнейших химических процессов [13–15].

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.
- [15] Dudkin S.V., Polivanovskaia D.A., et al. *Mol.Catal.*, **2026**, 600, 116041.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №24-13-00230)

СУПРАМОЛЕКУЛЯРНАЯ СБОРКА 2D НАНОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОРФИРИНИЛФОСФОНАТОВ¹

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*

Супрамолекулярная сборка функциональных материалов на основе порфиринов представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной физической, органической и координационной химии наноразмерных систем, имеющее фундаментальное значение для создания высокоэффективных молекулярных устройств, оптических сенсоров и гетерогенных фотокаталитических платформ. Ключевой проблемой при формировании упорядоченных планарных структур на основе порфиринов является их выраженная склонность к агрегации, что приводит к образованию 3D ассоциатов и сопровождается снижением квантового выхода люминесценции, а также частичной потерей способности макроциклов координировать внешние аналиты.

В связи с этим, в данной работе была продемонстрирована уникальная роль диэтилфосфонатного заместителя $(P(O)(OEt)_2)$, связанного с тетрапиррольным макроциклом напрямую или через фенильный линкер для создания флуоресцентных тонкопленочных материалов. Выяснено, что структура и оптические характеристики супрамолекулярных структур напрямую зависят от количества и положения фосфонатных групп на периферии макроцикла. Показано, что дополнительное фторирование порфиринилфосфонатов, обеспечивает фотостабильность пленок, многократно превосходящую нефторированные аналоги. Установлено, что природа металлоцентра значительно влияет как на морфологию, так и на стабильность наноразмерных 2D систем. При этом структура полученных тонкопленочных материалов обеспечивает диффузию молекул-аналитов к активным центрам внутри пленки, что является ключевым фактором для разработки высокочувствительных твердотельных сенсоров.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 26-73-00184

СПЕКТРОСКОПИЯ ЭПР В ИССЛЕДОВАНИИ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Ефимов Н.Н.

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
г. Москва, Россия*

Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) является уникальным инструментом для решения задач координационной химии. ЭПР является высокоинформативным, неразрушающим и экспрессным методом исследования парамагнитных центров различной природы. С помощью спектроскопии ЭПР возможно определить наличие неспаренных электронов в веществе, координационное окружение центрального атома, его степень окисления и основное состояние, распределение электронной плотности и концентрации парамагнитных центров в веществе [1].

Метод ЭПР уникален в силу своей высокой чувствительности ($\sim 10^{-7}$ моль/л), позволяющей исследовать тонкие плёнки, определять наличие парамагнитных микропримесей, а возможность исследования веществ как в твердом, так и – растворённом состоянии, позволяет, например, выявить влияние растворителя на строение соединения.

В работе рассматривается ряд примеров конкретных задач химии координационных соединений, решение которых было получено в основном или исключительно благодаря применению ЭПР спектроскопии [2-3].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 25-23-01012)

1. Ракитин Ю.В., Ларин Г.М., Минин В.В. Интерпретация спектров ЭПР координационных соединений. М. : Наука. 1993.

2. Koroteev P.S. et al. Supramolecular charge transfer adducts of rare earth 3, 5-dinitrobenzoates and diaminodurene: a new approach to increasing spin density in lanthanide complexes // Molecular Systems Design & Engineering. – 2025. – Т. 10. – №. 2. – С. 143-157.

3. Petrosyants S.P. et al. Influence of the Coordination Environment on the EPR Spectra of Mononuclear Gd Thiocyanates // Russian Journal of Coordination Chemistry. – 2024. – Т. 50. – №. 4. – С. 246-256.

КАРБОКСИЛАТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ЦИНКА: ОТ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ К ТОНКИМ ПЛЕНКАМ

Кискин М.А., Бушуев В.А., Самулионис А.С., Ямбулатов Д.С.

*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
г. Москва, 119071, Россия, Ленинский проспект 31*

E-mail: mkiskin@igic.ras.ru

Карбоксилатные координационные соединения металлов, подобно макрогетероциклическим, представлены многообразием молекулярных и полимерных структур, функциональные характеристики которых можно тонко настраивать с использованием химических подходов. Карбоксилаты цинка являются одними из активно исследуемых объектов в широком спектре применения, включая оптические и люминесцентные материалы, биоактивные вещества, а также в качестве фоторезистов в решении задач фотолитографического процесса. В зависимости от состава и строения, такие соединения могут проявлять свойства позитивного или негативного фоторезиста, высокая фотопоглощающая способность ионов цинка увеличивает эффективность взаимодействия резиста с высокоэнергичными источниками излучения, в особенности EUV, используемого для создания транзисторов нанометрового разрешения. Для получения таких транзисторов необходимо решать задачи связанные с формированием гладких тонких пленок фоторезиста на кремниевой пластине методом спин-коатинга или напыления, с управлением разрешением «рисунка» на подложке и чувствительностью фоторезиста, что в первую очередь определяется составом самого фоторезиста.

В работе обсуждаются карбоксилатные комплексы цинка в качестве перспективы фоторезистов для фотолитографии высокого разрешения. В настоящий момент получена серия молекулярных комплексов цинка общего состава $M_3(O_2CR)_6L_2$ и близких по строению аналогов, для которых исследованы состав, строение, электронные свойства, проанализированы межмолекулярные взаимодействия в кристалле, и на их основе получены тонкие пленки, для которых определены толщина, поверхностный рельеф и морфология.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 25-73-20065)

УЛЬТРАТОНКИЕ ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛАНТАНОИДОВ С ДИФИЛЬНЫМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ КАРБОНОВЫМИ КИСЛОТАМИ

Колоколов Ф.А.¹, Райтман О.А.^{1,2}

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

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

Соединения ряда лантаноидов, в том числе с карбоновыми кислотами, характеризуются эффективной люминесценцией в видимой и ближней инфракрасной области спектра, что позволяет их использовать в качестве рабочих элементов для биовизуализации, хемосенсорики, в метках защиты от подделок, источниках света и системах отображения информации. Люминесценция комплексов лантаноидов с ароматическими карбоновыми кислотами существенно отличается от всех других интенсивными и узкими полосами испускания, длительными временами жизни возбужденного состояния, а сами соединения обладают высокой химической, термической и фотостабильностью. В то же время большинство синтезируемых карбоксилатов лантаноидов обладают низкой летучестью и низкой растворимостью в органических растворителях, что влияет на перспективы их использования в качестве материалов. В этой связи актуальным является не просто поиск новых люминесцирующих соединений, но и дизайн новых соединений, способных стать люминесцентными материалами.

В настоящей работе в качестве объектов исследования были выбраны комплексы лантаноидов с длинноцепочечными ароматическими карбоновыми кислотами. К преимуществам таких систем следует отнести хорошую растворимость в высоколетучих органических растворителях, в том числе в хлороформе, что открывает широкие перспективы получения тонких пленок из этих соединений методом полива на вращающуюся подложку (spin coating) и с помощью технологии струйной печати. Кроме того, дифильность молекулы обеспечивает возможность формирования монослоев Ленгмюра из синтезированных комплексов на границе раздела вода-воздух и переноса мономолекулярных пленок этого соединения на твердые подложки.

Для всех синтезированных соединений были изучены спектры поглощения, возбуждения люминесценции и люминесценции в растворе, твердом виде и в виде ультратонких пленок, полученных различными методами. На основании полученных данных установлено, что при переходе от раствора к твердому веществу и тонкопленочному материалу значительных изменений в спектральных характеристиках не наблюдается, что открывает перспективу использования комплексных соединений лантаноидов с длинноцепочечными ароматическими карбоновыми кислотами в качестве ультратонких люминесцентных пленок для различных областей применения.

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

КРАУН-ЭФИРЫ В ПРОЦЕССАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ ЛИТИЯ

Костикова Г.В.¹, Жилов В.И.¹, Шаров В.Э.¹, Сухарь П.А.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-эфиры – практически единственные экстрагенты, рассматриваемые для разработки процессов разделения изотопов лития, которые могут быть альтернативой действующей амальгамной технологии. При разработке экстракционных технологий разделения изотопов основное внимание уделяется следующему: 1. Величине однократного изотопного эффекта в экстракционной системе; 2. Удовлетворительной емкости экстрагента, что связано с растворимостью лиганда в органическом разбавителе и количественными характеристиками экстракционной системы; 3. Возможности организации полного возврата всех выходящих потоков в экстракционный каскад.

Рассмотрены экстракционные системы на основе ряда краун-эфиров и ряда солей лития. В качестве реперной точки принят экстрагент на основе Б15К5 в хлороформе. В качестве альтернативы хлороформу рассмотрены различные фторзамещенные соединения. Для рассмотренных экстракционных систем определены однократные изотопные эффекты и получены изотермы экстракции лития; исследовано поведение примесей натрия и калия, а также влияние температуры на величины коэффициентов распределения лития и элементов-примесей. В ходе проведенных исследований найдено, что оптимальными количественными характеристиками обладают 4 экстракционные системы: 1М Б15К5 во фторгептанолe – LiCl, 1М Б15К5 во фторгептанолe – LiNO₃, 1М ИАБ15К5 во фторгептанолe – LiCl, 1М ИАБ15К5 во фторгептанолe – LiNO₃.

Предложена принципиальная технологическая схема экстракционного процесса разделения изотопов лития с двумя узлами обращения потоков, собраны две установки, включающие каскад центробежных экстракторов и выпарные аппараты, на базе ИФХЭ РАН (г. Москва) и СХК (г. Северск), на которых для 4-х экстракционных систем проведены процессы разделения изотопов лития в безотборном режиме и по полной схеме с отбором обогащенного продукта.

Полученные данные подтвердили универсальность разработанной схемы проведения процесса разделения изотопов лития и возможность ее реализации для различных экстракционных систем; эффективность разделения изотопов лития зависит от применяемого оборудования, правильный выбор и настройка которого является отдельной важной задачей.

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

ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ХИМИИ И НАУКАХ О МАТЕРИАЛАХ¹

Павлов А.А.,¹ Злобин И.С.,¹ Шандыбо М.А.,¹ Беспалов И.А.¹

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Российской академии наук,
г. Москва, Ленинский проспект, 31; E-mail: alex90pavlov@mail.ru*

Одной из основополагающих задач химической науки является разработка новых химических процессов и/или новых химических веществ и материалов. Для успешного осуществления данной научной деятельности необходимо учитывать в работе все известные данные, как минимум, в рамках исследуемого направления. Сегодня, в цифровую эпоху, объем доступной информации кратно превышает возможности человека или даже целой научной группы. Технологии искусственного интеллекта (ИИ) в химии выполняют единственную задачу — дают возможность охватить и учесть в исследованиях большой объем научных данных. При этом, такой ИИ-анализ данных может справляться с задачей «лучше» (в некоторых аспектах) и/или «быстрее», чем при использовании традиционных подходов. Важно отметить, что использование ИИ-анализа данных может качественно дополнять, но не заменять традиционные методы.

Например, пласт предиктивных ИИ-моделей на основе регрессионного анализа известных данных позволяют ученым сформулировать первоначальные или конкретные направления перспективных исследований, оценивая целевые эксплуатационные свойства химических веществ и материалов. Большие языковые модели (LLM) позволяют перерабатывать большой объем научной информации, выделяя и обобщая наиболее значимые части, что помогает ученым актуализировать проводимые исследования.

Вместе с этим прогресс в области применения ИИ для химии сталкивается с большим количеством преград и идет гораздо медленнее, чем в смежных областях, таких как биология, компьютерное зрение, малораспространенные языки и др. В целом, медленный прогресс в области хемоинформатики связан с (а) малым количеством и недостаточной полнотой химических данных; (б) отсутствием негативных результатов исследований; (в) крайне разнообразным пространством для химической модификации; (г) отсутствием скрытых переменных в данных и пр. Дальнейший интенсивный прогресс в хемоинформатике невозможен без приложения усилий для преодоления вышеуказанных проблем.

В настоящем докладе будут обсуждаться основы и последние достижения хемоинформатики, обзор полезных ИИ-инструментов для химиков, а также результаты работы центра цифрового материаловедения ИОНХ РАН.

¹ Работа выполнена при поддержке РНФ (Проект 26-73-10077)

ПЛАНАРНЫЕ ФОТОХРОМНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СПИРОСОЕДИНЕНИЙ

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*

В основе работы практически любых устройств молекулярной электроники, фотоники, сенсорики лежит действие молекулярных переключателей – соединений или супрамолекулярных систем, обладающих способностью находиться в двух или более термодинамически стабильных состояниях, различающихся по физическим и физико-химическим свойствам. Переключения между такими состояниями могут осуществляться с помощью термических, электрических, фото- и других воздействий. Интенсивные исследования последних десятилетий в области организованных молекулярных ансамблей (монослои на поверхности жидкости, пленки Ленгмюра-Блоджетт, самоорганизованные адсорбционные слои) внесли существенный вклад в разработку принципов создания молекулярных устройств и функционализированных поверхностей. С развитием ультратонких оптоэлектронных устройств, монослои на основе фотохромных материалов привлекают к себе все большее внимание в качестве строительных блоков для рабочих механизмов этих систем. В связи с этим, в настоящее время исследования монослоев Ленгмюра и пленок Ленгмюра-Блоджетт на основе фотохромных соединений направлены на установление связи между структурной организацией таких систем и эффективностью фотохимических превращений в них. Важнейшим классом органических фотохромов являются спиропираны (СП) и спиронафтоксазины (СНО), обладающие высокой термической стабильностью, узкой полосой поглощения и проявляющие фотохромные свойства в растворах, полимерных матрицах, самоорганизованных монослоях. Однако свойства этих соединений в монослоях и пленках Ленгмюра-Блоджетт до сих пор практически не изучены. В настоящей работе проведен анализ результатов исследования фотохромных свойств пленок СП и СНО на границе раздела воздух/вода и на твердых подложках. Обсуждаются кинетические закономерности фотопревращений этих соединений в растворах, монослоях Ленгмюра и в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Рассмотрены фотофизические характеристики спиро-соединений в мономолекулярных системах. Отдельное внимание в докладе уделяется обнаруженному фотомеханическому эффекту в монослоях спиропиранов и спиронафтоксазинов. Полученные результаты свидетельствуют о широких перспективах применения монослоев из органических фотохромов в качестве молекулярных переключателей и рабочих элементов наноразмерных механизмов.

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

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В 2D СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМАХ НА ЖИДКИХ И ТВЁРДЫХ ПОДЛОЖКАХ

Селектор С.Л.

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

e-mail: sofs@list.ru

Управляемые молекулярные переключения лежат в основе работы новейших устройств молекулярной электроники. В докладе обсуждаются и анализируются современные представления об управляющих факторах, движущих силах и механизмах молекулярных переключений. Приведены примеры структурных переключений в монослоях Ленгмюра, приводящих к значимым изменениям всей гаммы физико-химических свойств системы. Описаны способы их регистрации на жидких и твёрдых подложках с помощью современных рентгеновских методов (рентгеновской рефлектометрии (XRR), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС), стоячих рентгеновских волн (XSW), спектроскопии края рентгеновского поглощения (XANES и EXAFS), а также с помощью методов флуоресцентной и Брюстеровской микроскопии и метода ЭПР. Для сэндвичевых тетрапиррольных комплексов лантанидов показана возможность управления таутомерным равновесием, устанавливающимся в бис-фталоцианинатах лантанидов на границе раздела воздух/вода, за счёт варьирования периферийных заместителей. Наиболее интересным является факт стабилизации формы мому, обусловлено собственной асимметрией комплекса и подтверждает ключевую роль асимметрии системы в реализации таутомерных переключений. С помощью метода РФЭС выявлено различие в степени окисленности «палуб» тау-Для смешанных монослоёв тетрапиррольных комплексов никеля и рутения с координирующими аксиальными лигандами на основании анализа изотерм сжатия, результатов рентгеновских измерений в сочетании с квантово-химическим моделированием описаны превращения в монослое при формировании координационного полимера, сопровождающемся спин-кроссовером атома никеля. С помощью этих методов изучена предорганизующая роль катиона Zn^{2+} в формировании флуоресцирующих структур производного BODIPY и выявлена природа разгорания флуоресценции. Продемонстрированы возможности применения АСМ, флуоресцентной и Брюстеровской микроскопии, а также рентгеновской дифракции для изучения структурных превращений в смешанных монослоях производных полидиацетиленов при внешних воздействиях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 23-73-00037.

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛ-ОКСИДНЫХ И МЕТАЛЛ-ОКСИД-ОРГАНИЧЕСКИХ ГЕТЕРОСТРУКТУР

Котенев В.А., Тюрин Д.Н.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина РАН,
Ленинский пр.31, Москва, 119991, Россия, e-mail: kotenev@phych.e.ac.ru*

Круг применений, в которых неоднородные микро и наноразмерные структуры и, в частности, тонкие пленки представляют собой важные компоненты физических структур, настолько широк, насколько различны типы пленок: от оптических волноводов и поглощающих сред, зеркал и сверхпроводниковых приборов, тонких защитных покрытий до изделий электронной промышленности по технологии больших интегральных схем (БИС).

Особо перспективным является использование тонкопленочных оксидных, металл-оксидных и металл-оксид-органических гетероструктур для придания поверхности металлов экстраординарных функциональных свойств, оптических, каталитических, протекторных и др. Одним из основных этапов получения таких структур часто является низкотемпературное активированное окисление либо самого модифицируемого металла (в условиях вакуумирования или контролируемой атмосферы), либо одного или нескольких нанослоев инородных металлов, предварительно нанесенных на подложку модифицируемого металла. Получаемые здесь тонкие пленки представляют собой уникальные наноструктурные объекты. Они могут создаваться как в виде поликристаллических или аморфных слоев, металл-оксидных гетероструктур, а также многофазных поверхностных наноструктур, больше напоминающих переходную область, чем индивидуальную химическую фазу.

Контроль процессов массопереноса в таких неоднородных областях может быть осуществлен только благодаря созданию методов непрерывной регистрации профилей химического состава и концентрации по объему соответствующего сверхтонкого неоднородного слоя. К сожалению, большинство таких методов исследования, как правило, связаны с разрушением (послойное травление) таких структур, что, очевидно, не позволяет контролировать параметры гетеросистемы непосредственно в ходе процесса ее синтеза.

Очевидно прогресс в области тонких пленок обусловлен не только разработкой сложнейших методов их роста и нанесения, но также развитием и внедрением в практику новых направлений физико-химических методов для исследования их внутренней структуры и состава. Одним из таких направлений является использование идей информационной оптики и одного из ее направлений – реконструктивной компьютерной оптической томографии поверхности – науки, находящейся на стыке теории распространения излучения, интегральной геометрии, компьютерной обработки информации, искусственного интеллекта и физической химии неоднородных поверхностных систем.

В докладе представлен новый класс методов цифровой оптической спектротомографии неоднородных наноструктурированных слоев и наноматериалов. Спектры отражения от таких систем могут быть обработаны с применением алгоритмов реконструктивной спектротомографии. Это позволяет контролировать толщину, топографию и профили химического состава с наноразрешением по глубине наноструктурированных слоев и наноматериалов. Рассмотрены общие методические подходы для использования томографического подхода реконструкции внутреннего строения поверхностных слоев и пленок для наиболее распространенных типов неоднородности, свойственных гетерогенным физико-химическим наносистемам. Спектральные измерения света, отраженного от неоднородного поверхностного нанослоя позволяют реализовать томографический принцип и восстановить внутреннее строение слоя путем решения интегральных уравнений Фредгольма 1 рода с использованием методов регуляризации. Существенно, что нанотомографическая методика может быть реализована на широком классе ультрафиолетовых, VIS и инфракрасных спектрофотометров зеркального и диффузного отражения.

УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

ВЗГЛЯД РЕНТГЕНОВСКИХ ПОВЕРХНОСТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ НА ПЛАНАРНЫЕ АНСАМБЛИ НА ОСНОВЕ БИС-ФТАЛОЦИАНИНАТОВ ЛАНТАНИДОВ

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 настоящее время, исследование молекулярных переключателей на границах раздела представляет собой динамично развивающуюся область, прогресс которой открывает широкие перспективы создания устройств молекулярной электроники. В подобных умных наносистемах наиболее важной задачей является не только определение механизма превращений молекул, но и детальное изучение структуры всего планарного ансамбля.

Ранее нами были обнаружены и исследованы новые фотоиндуцированные обратимые молекулярные переключения в планарных супрамолекулярных системах на основе краун-замещенных бис-фталоцианинатов самария и европия (рис. 1) [1]. Впервые была показана возможность управления редокс-изомерным равновесием, устанавливающимся в Ленгмюровских монослоях исследуемых соединений на границе раздела воздух/вода, с помощью УФ-облучения и красного света.

В данном докладе представлен обзор рентгеновских поверхностно-чувствительных методов измерения и их применения к исследованию монослоев Ленгмюра и плёнок Ленгмюра-Блоджетт. Показано, что применение рентгеновской дифракции и рефлектометрии к таким планарным системам на границах раздела позволяет получить информацию о структуре и фазовых превращениях молекулярного ансамбля при латеральном сжатии. В свою очередь, рентгеновская спектроскопия поглощения XAS и фотоэлектронная спектроскопия XPS дают возможность не только получить уникальную информацию об электронной структуре макроциклического окружения в комплексе, но и обнаружить индуцирующее редокс-изомеризацию действие рентгеновского излучения. Таким образом, в работе продемонстрирована необходимость использования при изучении переключаемых планарных ансамблей комплексного подхода, сочетающего в себе синхротронные методы исследования с использованием лабораторных установок.

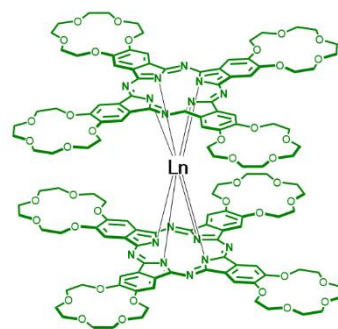


Рис. 1 Химическая структура бис-фталоцианинатов лантанидов

1. Arakcheev A. V., ..., Selektor S.L., Journal of Colloid and Interface Science. – 2025. – С. 138470.

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

МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КРАСИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ BODIPY В МОНОСЛОЯХ ЛЕНГМЮРА И УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНКАХ¹

Берлёва А.В.¹, Аракчеев А.В.¹, Репченко Ю.Л.¹, Селивантьев Ю.М.^{1,2},
Щербина М.А.¹, Волкова Ю.А.³, Селектор С.Л.¹

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

²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125190 Москва, Миусская площадь, 9 стр.1

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук, 119991, Москва, Ленинский проспект, 47

Бор-дипиррометеновые красители (BODIPY) находят применение в широком спектре научных областей благодаря своим превосходным фотофизическим свойствам и химической универсальности их ядра. В данной работе исследовано производное BODIPY флуорофор B2P и его комплекс с катионами Zn^{2+} . Для изучения процесса комплексообразования как в объеме раствора, так и в 2D системах проведены измерения электронных спектров поглощения и флуоресценции. Показано, что в присутствии катионов Zn^{2+} квантовый выход флуоресценции увеличивается как на межфазной границе воздух/субфаза, так и в ультратонких плёнках, полученных методом Ленгмюра-Блоджетт. Обнаружена и исследована предорганизующая роль катиона Zn^{2+} в формировании флуоресцентных структур. Для получения данных о конформациях комплекса и свободного лиганда были выполнены квантово-химические расчеты как комплекса B2P-Zn, так и свободного лиганда BODIPY. Доказано, что разгорание флуоресценции, наблюдаемое при взаимодействии B2P с ионами Zn^{2+} , связано не с блокировкой фотоиндуцированного переноса электрона (PET), а с увеличением структурной жесткости молекулы BODIPY при образовании комплекса. С помощью методов рентгеновских стоячих волн и рентгеновской спектроскопии края поглощения был выяснен механизм связывания между рецепторной группой и аналитом, а также изучена эволюция системы при сжатии. Установлено, что пленка проявляет свои наилучшие рецепторные свойства при высокой степени сжатия. Продемонстрировано, что плёнка, сформированная в присутствии катионов цинка, сохраняет высокий квантовый выход флуоресценции и после их удаления.

Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшей разработки и модификации новых производных BODIPY для использования в качестве флуоресцентных зондов в двумерных системах.

¹Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №23-73-00037

КООРДИНАЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРЫ НА ОСНОВЕ 4-Н-ПИРАНОВЫХ ЛИГАНДОВ: СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ

Козин С.В., Джимаков С.С.

ФГБОУ ВО Кубанский государственный университет, г. Краснодар, ул. Ставропольская 149

Оптимизация раневого процесса остается приоритетной задачей регенеративной медицины. Лечение раневого процесса осложняется риском патологического рубцевания и контаминацией раневой поверхности, что диктует актуальность поиска агентов, обладающих одновременно антибактериальной активностью и ремодулирующими свойствами. На эту роль подходят комплексные соединения серебра, цинка и меди с биоактивными и безопасными лигандами. Перспективными соединениями на эту роль подходят кислоты 4-Н –пиранового класса. В отношении данных веществ установлен широкий спектр биологической активности [1].

В работе были синтезированы комплексные соединения цинка, серебра и меди с хелидоновой кислотой. Полученные соединения являются координационными полимерами. Методом РСА и рядом косвенных методов установлен состав и изучена структура данных соединений. В хелидонате цинка координационная геометрия Zn^{2+} представляет собой слегка искаженный октаэдр с четырьмя атомами кислорода от двух молекул воды и двумя атомами кислорода от карбоксилат ионов $Chel^{2-}$. КЧ цинка равно 4. В кристаллической решетке отсутствуют свободные молекулы воды, но имеются четыре молекулы связанной воды в составе первой координационной сферы. В хелидонате серебра КЧ равно 5. Координационный полиэдр представляет собой искаженную тригональную бипирамиду, узлами которой являются 3 атома кислорода карбоксильных групп лиганда и два атома кислорода от молекул воды. Особенностью данной структуры является наличие аргентофильного взаимодействия между ионами серебра и наличие аква-карбоксилатных мостиков между катионами. Применение ХЦ способствовало более быстрому и качественному заживлению химической и хирургической раны. Лечение ХС инфицированной раны (*St.aureus*) оказало антибактериальное и регенеративное действие. ХС и ХМ оказали антибактериальное действие *in vitro* в отношении *St.aureus*, *Ps.aeruginosa*, *E.coli* и *Kl.pneumoniae*.

Литература

1. Alexander Kravtsov, Stanislav Kozin, et. al //Front. Biosci. (Landmark Ed) 2026, 31(7), 48552. <https://doi.org/10.31083/FBL48552>.

Работа выполнена при поддержке РНФ и КНФ (проект № 25-16-20018)

МОНОСЛОИ ЛЕНГМЮРА КАК МОДЕЛИ МЕМБРАН ВЕЗИКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ НЕИОНОГЕННЫХ ПАВ И ЛИПОФИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ*

Крылов Д.И., Арсланов В.В.

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

E-mail: da.krylov228@yandex.ru

Создание биомиметических везикулярных систем на основе неионогенных поверхностно-активных веществ является одним из активно развивающихся направлений современной супрамолекулярной химии [1]. Благодаря возможности инкапсуляции липофильных соединений, включая производные порфирина, такие системы рассматриваются как основа для создания сенсорных платформ, систем доставки терапевтических и диагностических препаратов. При этом функциональные свойства везикул в значительной степени определяются структурной организацией и механическими характеристиками мембранной оболочки [2]. В связи с этим особый интерес представляет установление взаимосвязи между свойствами модельных мембран и соответствующих везикулярных систем.

В настоящей работе методом монослоёв Ленгмюра исследовано влияние холестерина на структуру и физико-химические свойства смешанных систем на основе неионогенных поверхностно-активных веществ классов Span и Tween,. В рамках предложенного подхода, рассматривающего монослои в качестве моделей оболочек ниосом, проведён анализ термодинамических свойств монослоёв и их дилатационного механического отклика. Особенности структурной организации определены методом *in situ* рентгеновской дифракции в скользящих углах падения. Установлено, что холестерин играет определяющую роль в перестройке структуры монослоёв и формировании их механического отклика. Полученные результаты создают физико-химическую основу для направленного конструирования стабильных ниосом, мембранные оболочки которых способны обеспечить иммобилизацию липофильных, в том числе и порфириновых препаратов.

1 - Arslanov V.V., Ermakova E.V., Krylov D.I., Popova O.O. J. Colloid Interface Sci. 2023, 640, 281–295.

2 - Krylov D.I., Arslanov V.V. J. Mol. Liq. 2026, 457, 129718.

**Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (соглашение №075-15-2020-782)*

**РЁБЕРНАЯ ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ БИС-А-
БЕНЗИЛДИОКСИМАТНЫХ ДИХЛОРОКЛАТРОХЕЛАТОВ ЖЕЛЕЗА(II)
ПОД ДЕЙСТВИЕМ S-НУКЛЕОФИЛОВ, СОДЕРЖАЩИХ
ТЕРМИНАЛЬНЫЕ БИОРЕЛЕВАНТНЫЕ (АМИННЫЕ ИЛИ
КАРБОКСИЛЬНЫЕ) ГРУППЫ: СИНТЕЗ, СТРУКТУРА И *IN VITRO*
БИОТЕСТИРОВАНИЕ**

Лимарев Илья^{1,2}, Волошин Ян^{1,2}

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

²*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Ленинский
проспект, 31, 119071, Москва, Россия*

Limarev.1995@mail.ru

Новые клеточные комплексы железа(II) (клатрохелаты¹), молекулы которых содержат терминальные аминные и карбоксильные группы, были получены по схеме 1, используя двухстадийное нуклеофильное замещение их дихлоромакробициклического предшественника с инкапсулированным ионом железа(II) и охарактеризованы данными элементного анализа, масс-спектрометрии MALDI-TOF, ЭСП, ¹H и ¹³C{¹H} ЯМР-спектроскопии и данными монокристалльного РСА. Спектроскопия кругового дихроизма (КД) свидетельствует о том, что исходные клеточные комплексы в их растворах являются ахиральными с равновероятной концентрацией Δ- и Λ-оптических изомеров. В то же время взаимодействие монорёберно-функционализированных клатрохелатов железа(II) с глобулярными белками приводит к возникновению металлцентрированной хиральности и, как следствие, полос КД в ближнем УФ и видимом диапазонах. Природа и положение их терминальных биорелевантных групп (т.е. структурная изомерия клатрохелатных аналогов) оказывают значительное влияние на супрамолекулярные взаимодействия «хозяин–гость» с белками BSA, HSA, BLG и LYZ в качестве хозяев и, следовательно, на хиральность². Интенсивность таких белок-индуцированных КД-сигналов вызвана образованием устойчивых супрамолекулярных ассоциатов белок–клатрохелат, а положения их максимумов значительно зависят от природы макромолекулы белка–«хозяина». Цитотоксичность ряда выявленных клатрохелатных соединений-лидеров по отношению к нескольким линиям опухолевых клеток (HeLa, MCF-7, Caco-2, A549, Hep-2 и PC-3) находится в низком микромолярном диапазоне, тогда как таковая по отношению к нормальным клеткам MRC-5 существенно ниже, что свидетельствует о значительном терапевтическом потенциале комплексов этого типа³.

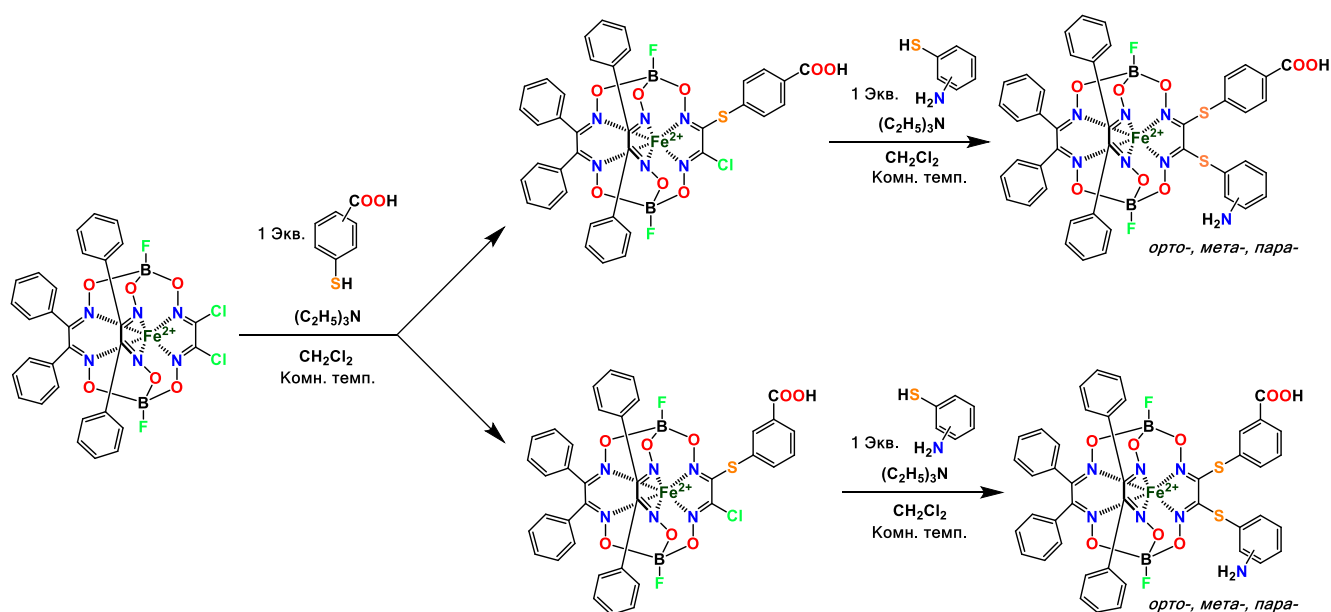


Схема 1

Литература

- (1) Y. Voloshin, I. Belaya, R. Krämer, Cage Metal Complexes: Clathrochelates Revisited. Heidelberg: *Springer Nature*, 2017
- (2) Limarev I.P., Vologzhanina A.V., Voloshin Y.Z. et al. *Metallomics* (Oxford), 17(10), 2025, mfaf033
- (3) Limarev I.P., Shestopalov M.A., Voloshin Y.Z. et al. *Metallomics* (Oxford), 18(1), 2026, mfag012

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект 24-13-00230)

КОМПЛЕКСЫ ФОСФОРА(V) С ТЕТРАПИРРОЛЬНЫМИ ЛИГАНДАМИ: ОТ СИНТЕЗА ДО БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ¹

Сафонова Е.А.¹, Половкова М.А.¹, Ефимова И.А.¹, Горшков Е.В.^{1,2,3},
Акасов Р.А.⁴, Сочилина А.В.^{1,5}, Горбунова Ю.Г.^{1,2,3}

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

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

³ФФФХИ МГУ, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.51

⁴МПУ, 119435, Москва, ул. Малая Пироговская, д.1, стр.1

⁵ГНЦ ИБХ РАН, 117437, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.16/10, к.1

Разработка эффективных фотосенсибилизаторов для биофотоники является важной задачей современной науки, находящейся на стыке химии, биологии и медицины. Тетрапиррольные макроциклы известны как фотосенсибилизаторы; к ним относятся препараты, уже применяемые в клинической практике (например, «Фотосенс»). Введение атома Р(V) приводит к значительному bathochromному сдвигу максимума поглощения, а также к повышению растворимости в воде вследствие появления положительного заряда и аксиальных лигандов.

В данной работе разработаны подходы к синтезу ряда порфиринов и фталоцианинов фосфора(V), содержащих различные заместители как в тетрапиррольном кольце, так и в аксиальных положениях (Рис. 1).

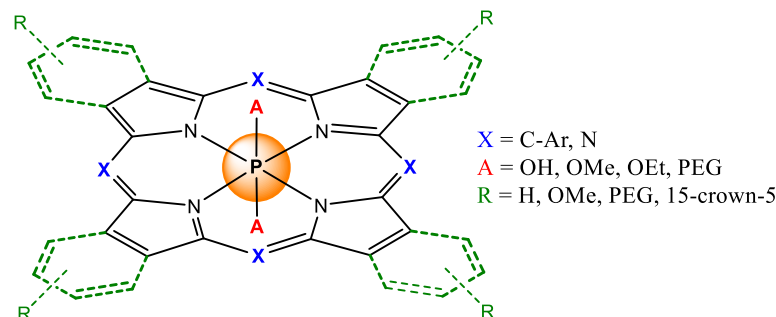


Рис. 1. Структура тетрапиррольных комплексов фосфора(V).

Было показано, что порфирины Р(V), содержащие донорные заместители в мезо-положениях обладают очень высокими показателями цитотоксичности против опухолевых клеток в нано- и пикомолярном диапазоне, в том числе при облучении их красным светом (660 нм). С другой стороны, большинство фталоцианинов Р(V) являются не токсичными для клеток, при этом способны эффективно генерировать активные формы кислорода, что делает возможным их использование в качестве фотоинициаторов для реакций фотосшивки биосовместимых полимеров для тканевой инженерии.

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

ФОТОПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ СПИРОСОЕДИНЕНИЙ ИНДОЛИНОВОГО РЯДА

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 и наноразмерных элементов цифровой памяти является актуальной задачей современной науки. В основе перспективных оптических систем передачи данных и записи информации лежит использование органических фотохромных молекул. Спирособъединения являются одним из перспективных классов органических фотохромов, которые под действием электромагнитного излучения обратимо переходят из закрытой спиро-формы в открытую мероцианиновую, меняя при этом спектр поглощения, показатель преломления, диэлектрическую проницаемость, электронную проводимость, магнитные и электрохимические свойства, дипольный момент и т.п. Модификация спирособъединений длинными алифатическими заместителями придает таким молекулам выраженные дифильные свойства, благодаря чему они могут быть эффективно интегрированы в упорядоченные структуры различного типа, что существенно расширяет спектр их практического применения. В настоящей работе представлены результаты исследований фотохромных и фотофизических свойств, а также кинетических характеристик дифильных спиропиранов и спиронафтоксазинов индолинового ряда, модифицированных различными заместителями как по индолиновому фрагменту, так и по хроменовой 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 изученных в работе соединений обладают сольватохромизмом. 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. Установлено, что изученные спироиндолинобензопираны и спиронафтоксазины сохраняют свои фотохромные свойства при переходе в двумерное упорядоченное состояние, что открывает широкие перспективы для их практического использования в оптических системах регистрации информации, самопроявляющейся фотографии, хемосенсорах, элементах адаптивной оптики, светоизлучающих диодах и т.п.

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

ОЦЕНКА СЕЛЕКТИВНОСТИ РЯДА ОРГАНИЧЕСКИХ ЛИГАНДОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К s-, d- И f-ЭЛЕМЕНТАМ

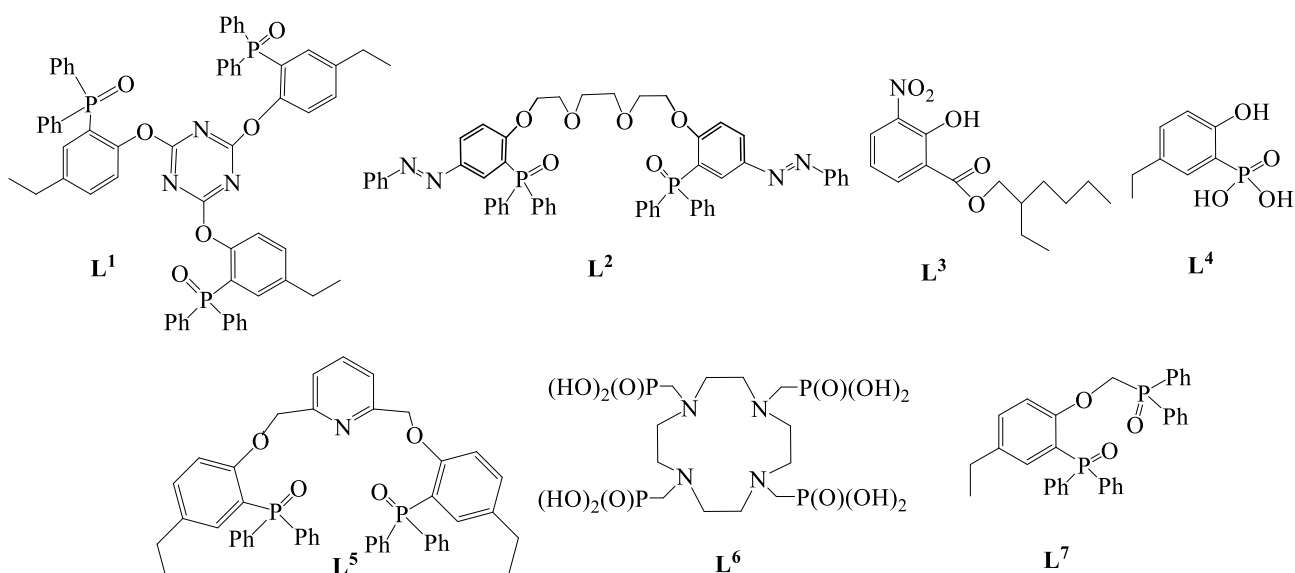
Цебрикова Г.С.,^а Баулин В.Е.,^{а,б} Соловьев В.П.,^а Иванова И.С.,^в Пятова Е.Н.,^в
Илюхин А.Б.,^в Рогачева Ю.И.,^б Лапшина М.А.,^б Цивадзе А.Ю.^а

^аИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31/4
e-mail: tsebrikova@yandex.ru

^бФИЦ ПХФ и МХ РАН, 142432, Московская область, Черноголовка, Северный
проезд, д.1

^вИОНХ РАН, 119991, Москва, Ленинский проспект, д.31

Эффективное решение проблем селективности является ключевым фактором в разработке новых технологий для переработки полезных ископаемых, аналитической химии, биологии, медицины и т. д. В данной работе показана важность оценки констант устойчивости образующихся комплексов в дизайне высокоселективных лигандов для различных применений. Приведены примеры синтеза органических лигандов, содержащих различные координирующие фрагменты (дифенилфосфорил, фосфонатные группы, фрагменты салициловой кислоты и ее фосфорильного аналога) с селективностью к катионам лития (L^1 , L^2 , L^3), меди (L^4), кадмия (L^5), галлия (L^6) и в ряду РЗЭ (L^7). Синтезированные лиганды могут использоваться в качестве активных компонентов пластифицированных полимерных мембран ион-селективных электродов, являются эффективными экстрагентами и потенциальными противовоспалительными и радиофармацевтическими препаратами.



Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, соглашение
№ 075-15-2025-583

ПОЛИДЕНТАТНЫЕ АМИДНЫЕ ЭКСТРАГЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ¹

Шаров В.Э., Тихомирова Ю.Т., Мосалева С.П., Чеботников Я.М.,
Сиволап А.А., Костикова Г.В.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, Россия, Москва, Ленинский просп. 31 корп. 4, 119071

В настоящее время наблюдается активный рост спроса на изделия, содержащие f-элементы, в связи с чем остро стоит проблема расширения сырьевой базы данных металлов. Ценным источником лантанидов, помимо руд, является вторичное сырье, в частности, отходы добывающей промышленности и электроники. Основную массу актинидов, применяемых в хозяйстве, в настоящее время получают при переработке отработавшего ядерного топлива. Данное сырье также является важным источником радиоактивных изотопов лантанидов, применяемых в медицине и промышленности. В связи с этим ведется активный поиск новых высокоселективных экстрагентов для извлечения и разделения f-элементов.

С целью создания экстракционных систем для извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ) из широкого спектра первичных и вторичных источников была проведена работа по модификации лигандов на основе амидных производных дигликолевой кислоты. Определены закономерности распределения f-элементов в системах на основе данных экстрагентов, установлены основные взаимосвязи «структура – экстракционная способность». Предложены системы для извлечения скандия из отходов титанового и алюминиевого производства, для выделения фракции средних и тяжелых РЗЭ из продуктов переработки первичного сырья, для очистки Ln(III), An(III) и An(IV) от ряда сопутствующих s-, p- и d-металлов, а также для разделения пар An(IV)/An(VI).

Исследована экстракция f-элементов диамидами N-гетероциклических карбоновых кислот, исследовано влияние строения амидного фрагмента рассматриваемых молекул на экстракционную способность. Найдены системы для разделения трехвалентных лантанидов и актинидов, а также для очистки An(III) от An(IV) и An(VI).

Рассмотрено применение амидов фенилдикарбоновых кислот для экстракции катионов РЗЭ, трех-, четырех- и шестивалентных актинидов. Найдены системы для эффективной очистки урана и плутония от большинства продуктов деления, в том числе от Zr(IV).

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

КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ДЛИННОЦЕПОЧЕЧНЫХ СПИРОСОЕДИНЕНИЙ НА ГРАНИЦЕ РАЗДЕЛА ФАЗ

Дегтярева В.А.¹, Митянов В.С.¹, Кутасевич А.В.¹, Колоколов Ф.А.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

Спиропираны являются перспективными фотохромными молекулярными переключателями вследствие своей способности к обратимой изомеризации под действием света, температуры, ионов металлов и т.п. Благодаря возможности изменения окраски при взаимодействии с катионами металлов, они рассматриваются в качестве платформы для создания оптических хемосенсоров. Однако, несмотря на большое число работ по комплексообразованию спиропиранов в растворах, их сенсорные свойства в упорядоченных ультратонких пленках, особенно по отношению к ионам лантаноидов, остаются практически не изученными.

В настоящей работе исследовано комплексообразование длинноцепочечного 1'-гексадецил-3',3',5'-триметил-6-нитроспиро[хромен-2,2'-индолина] с ионами лантаноидов (Ho^{3+} , Eu^{3+} , La^{3+}). Показано, что в монослоях Ленгмюра присутствие ионов лантаноидов в субфазе индуцирует раскрытие спироцикла с образованием окрашенных комплексов, что сопровождается батохромным сдвигом полосы поглощения на ~ 30 нм (до 560–590 нм). Обнаружена корреляция между фазовым состоянием монослоя и эффективностью комплексообразования, причем наиболее интенсивный отклик наблюдается в жидко-конденсированной фазе (20 мН/м), где достигается оптимальный баланс между упорядоченностью и доступностью координационных центров. В пленках Ленгмюра–Блоджетт, перенесенных с деионизованной воды на кварцевые подложки, комплексообразование с La^{3+} протекает самопроизвольно, тогда как для Eu^{3+} и Ho^{3+} во всех случаях требуется фотоактивация УФ-светом. При переносе же монослоев с субфаз, содержащих ионы целевых металлов, наблюдается обратная закономерность: монослои сформированные при низких давлениях (5–10 мН/м) на субфазах с европием и гольмием и перенесенные на твердые подложки, образуют комплексы с катионами этих металлов самопроизвольно, тогда как для La^{3+} требуется фотоинициация. Продемонстрирована полная обратимость процессов комплексообразования под действием видимого света, что позволяет многократно использовать сенсорные системы. Полученные результаты открывают широкие перспективы для разработки фотоуправляемых оптических сенсоров на основе длинноцепочечных спиропиранов для детектирования ионов лантаноидов.

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

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЕ pH СЕНСОРЫ НА ОСНОВЕ ПОРФИРИНАТОВ ФОСФОРА(V)

Ефимова И.А.¹, Сафонова Е.А.¹, Половкова М.А.¹, Горбунова Ю.Г.^{1,2}

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

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

Способность порфиринов проявлять интенсивную флуоресценцию в красной области спектра может быть использована при разработке флуоресцентных сенсоров для биологических систем при обеспечении растворимости в воде порфиринового макроцикла. Это может быть достигнуто при введении атома фосфора(V) в полость макроцикла, что приводит к образованию катионных водорастворимых комплексов.

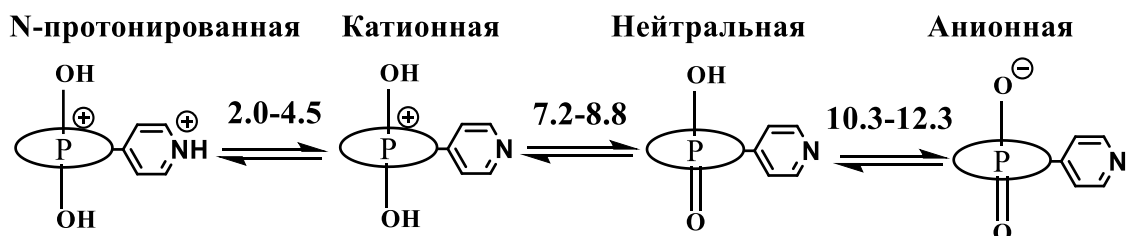


Рис. 1. Кисотно-основные формы монопиридил-порфирината фосфора(V) и диапазоны pH переходов между ними.

N-протонированная Катионная

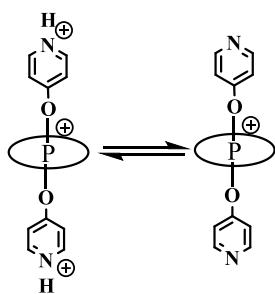


Рис. 2. Кисотно-основные формы порфирината фосфора(V) с пиридилными аксиальными группами.

В данной работе¹ было показано, что для комплексов с аксиальными –ОН группами возможно существование катионной, нейтральной и анионной форм (Рис.1). При наличии в молекуле атома азота, способного к протонированию (пиридилные фрагменты, –О-С₆H₄-NH₂ группы) возможно образование N-протонированных форм. При этом изменение pH сопровождается сдвигами полос эмиссии и поглощения при переходе между ионными формами. Интересно, что, если пиридилный фрагмент расположен в *мезо*-положении, протонирование сопровождается гипсохромным сдвигом полос эмиссии и поглощения, в отличие от комплекса с аксиальными пиридилными группами (Рис. 2), для которого

наблюдалось только снижение интенсивности полос эмиссии и поглощения при увеличении pH. Таким образом, порфирилаты Р(V) продемонстрировали зависимость оптических и флуоресцентных свойств от кислотности среды в широком диапазоне pH (от 2 до 12), что делает их перспективными биосовместимыми флуоресцентными pH-сенсорами.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда, грант № 25-23-00739

ДИЗАЙН 1D-КООРДИНАЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ ТЕТРАПИРРОЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ d-МЕТАЛЛОВ НА МЕЖФАЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Ефремов М.В., Аракчеев А.В., Графов О.Ю., Дмитриенко А.А., Кройтор А.П.

Мартынов А.Г., Селектор С.Л.

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: efremovmaxvya@gmail.com

Перспективной областью разработки материалов молекулярной электроники является дизайн планарных молекулярных переключателей – организованных 2D-ансамблей, способных к управляемому и обратимому переходу между двумя и более устойчивыми формами под действием различных внешних стимулов. Одним из наиболее интересных видов переключений является координационно-индуцированный спин-кроссовер (CISCO) в комплексах никеля.

Ранее в работах нашей лаборатории была показана возможность реализации CISCO атома никеля(II) в смешанных монослоях Ленгмюра на основе порфиринов Ni(II) и фталоцианинов Ru(II) [1,2], а также изучен иерархический ряд тетрапиррольных лигандов с различными электронно-акцепторными и электронно-донорными свойствами заместителей [2]. Данная работа посвящена установлению вклада геометрической комплементарности макроциклов в эффективность сборки координационного полимера (CP) и сопутствующую ей реализацию спин-кроссовера никеля(II) в упорядоченных ансамблях на границе раздела воздух/вода. Объектами исследования являются смешанные монослои Ленгмюра на основе пар тетрапиррольных комплексов Ni(II) и Ru(II) различного химического строения.

В работе выявлено существенное различие в эффективности сборки CP и реализации CISCO в порфиринах и фталоцианинах Ni(II). Для системы $NiF_{20}TPP + TPPRu(Pyz)_2$ с помощью XANES-спектроскопии доказано достижение шести-координированного состояния металлоцентра в смешанном монослое, что подтверждает образование 1D-координационного полимера. Присутствие высокоспинового катиона никеля в перенесённых плёнках Ленгмюра-Шеффера было зарегистрировано с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, что однозначно доказывает реализацию CISCO Ni(II) в монослое. Методом поверхностной дилатационной реологии установлено, что формирование CP приводит к росту динамического модуля упругости, а также изменяет характер релаксационных процессов в монослое.

1. Shokurov A. V. et al. Spin crossover in nickel (II) tetraphenylporphyrinate via forced axial coordination at the air/water interface // *Molecules*. – 2021. – Т. 26. – №. 14. – С. 4155.

2. Arakcheev A. V. et al. Coordination-induced spin-crossover in Ni (II) porphyrinates driven by 2D assembly in supramolecular systems at interfaces // *Appl. Surf. Sci.* – 2026. – С. 165676.

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

КАРБАЗОЛ-АННЕЛИРОВАННЫЕ СУБПОРФИРАЗИНЫ БОРА – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ И ФЛУОРОФОРЫ

Иванова М.М.¹, Белоусов М.С.¹, Маркова А.А.², Дубинина Т.В.¹, Бурцев И.Д.²

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

²Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля

Российской академии наук

e-mail: mivanovam00@mail.ru

Расширение π -системы субпорфиразинов бора позволяет сместить их максимумы поглощения и флуоресценции в область высокой прозрачности биологических тканей (600-900 нм), что особенно перспективно для целей фотодинамической терапии онкологических заболеваний. В рамках данного исследования в молекулу субпорфиразина бора вводились карбазольные фрагменты, которые кроме расширения π -системы позволяют вводить дополнительные группы по атому азота. Это позволяет снизить агрегацию и улучшить растворимость в органических растворителях.

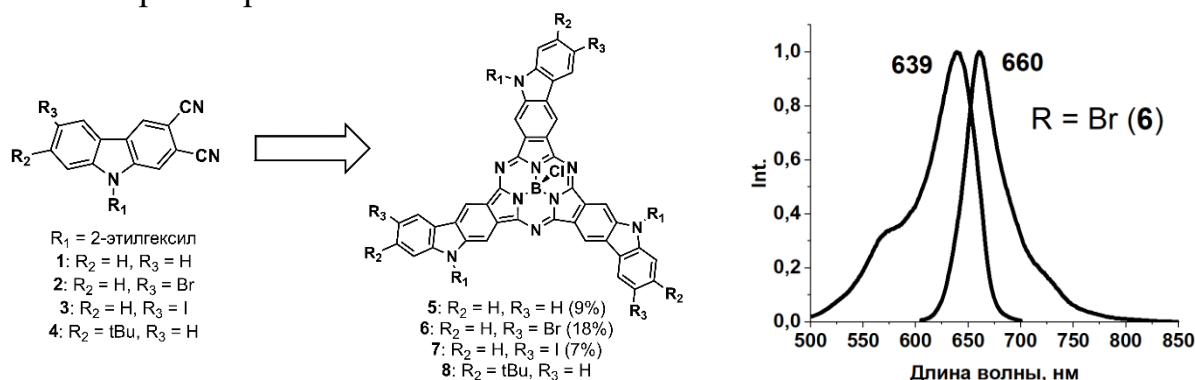


Рисунок 1: Структура субпорфиразина бора и спектры возбуждения ($\lambda_{em}=660$ нм) и эмиссии ($\lambda_{ex}=578$ нм) флуоресценции соединения **6** в ДМФА

Целевые комплексы получали по реакции темплатного синтеза из 2,3-дицианокарбазолов **1-4**, которые были синтезированы из коммерчески доступного 4-бром-5-нитрофлатонитрила. Обнаружено, что при получении комплекса **5** образуются побочные олиго- и полимерные продукты окислительного С-С сочетания.

Комплексы **5-8** обладают интенсивным поглощением в области 645-665 нм в ДМФА, способны генерировать $^1O_2$ ($\Phi_\Delta=0.30-0.36$) и ярко флуоресцировать ($\Phi_f=0.17-0.24$). Для соединений **5-8** методом импульсного фотолиза зарегистрированы дифференциальные триплет-триплетные спектры поглощения и кинетики тушения флуоресценции ($\tau_f = 2.3, 2.2, 1.6$ нс в ряду заместителей H, Br, I) флуоресценции в ДМФА. Для карбазол-аннелированных субпорфиразинов бора обнаружена высокая фототоксичность *in vitro* для клеточной линии опухолевых клеток НСТ116 (для соединения **5** $IC_{50}(\text{свет})=2.9\pm0.3\mu\text{M}$).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-73-10076-П).

ПОДХОДЫ К СИНТЕЗУ И СВОЙСТВА БЕНЗОКСАЗИНОВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ (ТИА)КАЛИКС[4]АРЕНОВ

Исхакова З.Э.¹, Макаров Е.Г.¹, Бурилов В.А.¹, Соловьева С.Е.^{1,2}, Антипин И.С.^{1,2}

¹Химический институт им. А.М.Бутлерова, КФУ, Казань, Россия
420111, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 29/1.

²Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН,
Казань, Россия
420029, Россия, г. Казань ул. Академика Арбузова, д. 8
Zarina-ish@mail.ru

Каликсарены являются отличной платформой для создания новых функциональных супрамолекулярных систем. Введение аминогрупп на нижний обод (тия)каликс[4]аренов позволяет получать бензоксазиновые производные как через прямой метод конденсации Манниха, так и через получение иминов с последующим восстановлением и конденсацией. Конечные продукты являются отличными мономерами для сополимеризации с бензоксазиновыми смолами, обладающими рядом свойств: высокая термостабильность, химическая стабильность, устойчивость к влаге, за счет чего они могут быть использованы в различных областях промышленности. За счет наличия каликсареновой чаши открывается новая область применения полибензоксазинов: будущие материалы могут выступать в качестве эффективных сорбентов тяжелых металлов и органических катионов из сточных вод, а также в качестве каталитической подложки, концентрируя на поверхности наноразмерные частицы металлов. Подвижность макроцикла наделяет смолы лучшей пластичностью, а полимер - высокой прочностью, при этом открывается возможность контролировать температуру полимеризации.

В данной работе представлены синтезы ди и тетрабензоксазиновых производных (тия)каликс[4]аренов на основе ди и тетраалкиламинпроизводных.

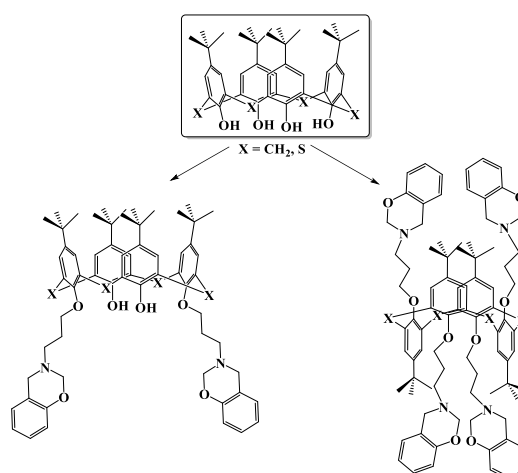


Рис. 1. (Тиа)каликс[4]арен и его ди и тетрабензоксазинпроизводные

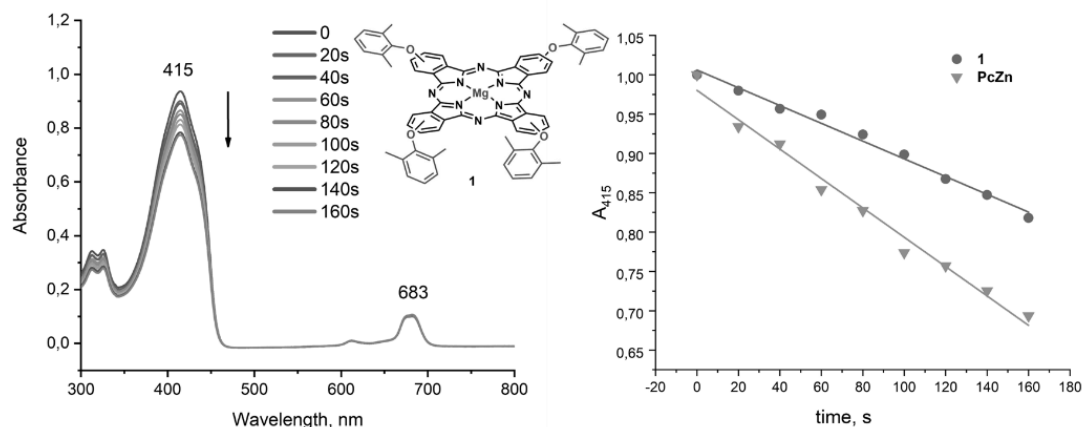
Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ №26-73-00181

СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ ФОТОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕТРА(2,6-ДИМЕТИЛФЕНОКСИ)ЗАМЕЩЕННОГО ФТАЛОЦИАНИНАТА МАГНИЯ

Кисляк К.А., Горбунова Е.А., Кононенко Н.Е., Дубинина Т.В.

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

Тетрапиррольный молекулярный остов широко применяется в фотодинамической терапии (Фотолон, Фотодитазин, Рс4, Фотоцианин) — современном малоинвазивном методе лечения онкологических заболеваний. Фталоцианины, в отличие от своих порфириновых и хлориновых аналогов, обладают высокой фотохимической стабильностью, а также интенсивным поглощением на границе видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (600–700 нм), что соответствует области высокой прозрачности биологических тканей. Одной из главных проблем фталоцианинов является их низкая растворимость и склонность к агрегации. В настоящем исследовании для решения данной проблемы по периферии макрокольца введены объемные 2,6-диметилфенокси группы. Это создает стерические затруднения и препятствует π - π стэкингу. Введение магния в качестве центрального иона производилось с целью увеличения квантового выхода флуоресценции.



Темплатным методом из соответствующего фталонитрила и ацетата магния получен новый фталоцианинат магния [1]. Целевое соединение охарактеризовано набором физико-химических методов: ЯМР, ИК спектроскопии и масс-спектрометрии. Продemonстрирована способность целевого комплекса к генерации двух типов активных форм кислорода: $^1\text{O}_2$ (Φ_Δ (DMF) = 0.42) и $\text{O}_2^{\cdot-}$. Измерен и рассчитан квантовый выход флуоресценции (Φ_f (DMF) = 0.23). Показано, что значение Φ_Δ магниевого комплекса выше, чем для препарата Фотосенс.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-73-10076-П.

[1] Gorbunova E., Kisliak, K., et al. (2026). *Macroheterocycles*, 2026, 19(2), 211-218.

РАЗРАБОТКА ЭКСТРАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ 2-НИТРОФЕНОЛА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ЛИТИЯ ИЗ РАСТВОРОВ¹

Куренкова Е.А., Бездомников А.А., Демина Л.И., Шаров В.Э., Долгушин Ф.М.,
Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю.

*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 199071,
Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4*

Создание эффективных и экономичных технологий извлечения лития из гидроминерального сырья является актуальной задачей. Ранее было показано, что орто-замещённые фенолы демонстрируют выраженную селективность к ионам лития, но механизмы комплексообразования и влияние структуры на экстракцию остаются недостаточно изученными. В данной работе впервые проведено систематическое исследование взаимосвязи строения и экстракционной способности ряда лигандов: 2-нитрофенола (НФ), 4-третбутил-2-нитрофенола (ТБНФ) и 4-нонил-2-нитрофенола (ННФ).

Состав полученных соединений предварительно установлен методом ИК-Фурье спектроскопии. Для выявления структурных закономерностей методом монокристаллического рентгеноструктурного анализа расшифрованы кристаллические структуры новых координационных соединений состава $[\text{Li}(\text{ТФФО})_4]_2[\text{Li}_4(\text{НФ})_6]$, $\text{Na}(\text{НФ})$, $\text{Na}(\text{НФ}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{K}(\text{НФ}) \cdot \text{H}_2\text{O}$. Обнаружена высокая конформационная гибкость шестичленных хелатных металлоциклов. В то же время корреляции между геометрическими параметрами и литий-селективностью не выявлено, что указывает на то, что предпочтительная экстракция лития связана с термодинамическими и сольватационными факторами.

Изучена экстракция LiOH , NaOH и KOH из индивидуальных водных растворов. Получены изотермы экстракции со всеми лигандами, на основе которых рассчитаны коэффициенты распределения и разделения. Установлено, что экстрагируемость металлов возрастает в ряду $\text{НФ} < \text{ТБНФ} < \text{ННФ}$, что связано с увеличением липофильности экстрагента. Проведена количественная оценка перехода экстрагентов в водную фазу.

Таким образом, варьирование алкильного заместителя в пара-положении 2-нитрофенола позволяет направленно регулировать экстракционные свойства систем. Наиболее липофильный ННФ обеспечивает максимальную степень извлечения лития при минимальных потерях экстрагента, что делает его перспективным кандидатом для создания технологий переработки отечественного литиевого гидроминерального сырья.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение о предоставлении гранта №075-15-2024-534).

СИНТЕЗ И КОМПЛЕКСООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ АРИЛЗАМЕЩЕННЫХ ДИГЛИКОЛЬАМИДОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К КАТИОНАМ f-ЭЛЕМЕНТОВ

Мосалева С.П., Шаров В.Э., Тихомирова Ю.Т., Костикова Г.В.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН,
119071, Москва, Ленинский проспект 31к4
e-mail: mosaleva.s@bk.ru

С целью изучения влияния заместителей при амидных фрагментах дигликольамидов на их экстракционную способность в данной работе был синтезирован ряд лигандов на основе диамидов дигликолевой кислоты с арильными и бензильными заместителями, представленный на рисунке 1.

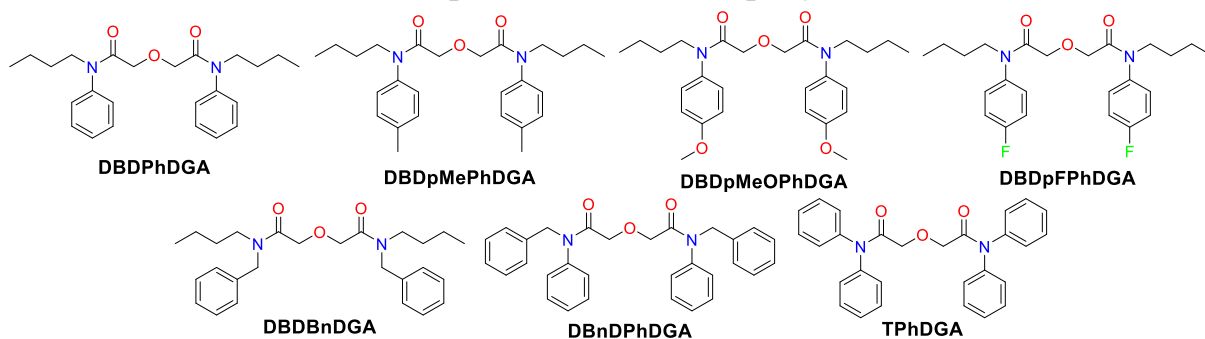


Рисунок 1. Структуры синтезированных дигликольамидов

На первом этапе был разработан подход к получению исходных вторичных аминов, подобраны оптимальные условия для селективного моноалкилирования коммерчески доступных анилинов и бензиламина соответствующими алкилгалогенидами. Для получения дигликольамидов синтезированные вторичные амины вводили в реакцию с хлорангидридом дигликолевой кислоты.

Для всех дигликольамидов была исследована экстракция Eu(III) 0.1 М растворами синтезированных лигандов в 1,2-дихлорэтаноле, определены составы экстрагируемых соединений. DBDpOMePhDGA показал наибольшую экстракционную способность по отношению к Eu(III) в диапазоне концентраций азотной кислоты от 0.5 до 5 М, поэтому для данного лиганда была проведена оптимизация условий синтеза и разработана методика, позволяющая получить продукт с выходом до 70 %, а также отработана методика очистки для наработки количеств экстрагента, необходимых для проведения более детальных экстракционных экспериментов. Был синтезирован структурный ряд аналогов DBDpOMePhDGA, в которых варьировали алкильные заместители при амидном фрагменте, с целью дальнейшего изучения влияния стерических эффектов на экстракционную способность арилзамещенных дигликольамидов.

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

ДИБОРНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ АЛКИЛЗАМЕЩЕННОГО ПОРФИРИНА И ЕГО АЗААНАЛОГОВ¹

Никитин И.А., Стужин П.А.

Кафедра органической химии, Ивановский Государственный Химико-Технологический Университет (ИГХТУ), Иваново, Россия, 153000

E-mail: ivan.nickitin-15@yandex.ru

Химия порфиринов традиционно сосредоточена на комплексах с переходными элементами и металлами главных подгрупп [1], в то время как получение их неметаллических аналогов до сих пор остается редкой и синтетически трудной задачей [2]. В частности, маленький ковалентный радиус атома бора не способен формированию классических моноядерных плоскостных структур, ввиду чего для тетрапиррольных макроциклов наиболее характерно образование биядерных (диборных) производных. К настоящему времени подобные соединения описаны преимущественно для ряда мезо-арилзамещенных порфиринов [3]. При этом их азааналоги, такие как диазпорфирины и порфиразины, а также влияние природы периферийных алкильных заместителей на процессы образования соединений с бором практически не изучены. Более того, физико-химические свойства таких производных остаются малоисследованными, в литературе фактически отсутствуют систематические данные об их электронных спектрах поглощения (ЭСП), флуоресцентных характеристиках и способности к генерации синглетного кислорода, что делает их изучение фундаментально и практически значимым.

Целью настоящей работы¹ стало исследование спектрально-люминесцентных свойств диборных производных алкилзамещенного порфирина и его азааналогов (Рис.1).

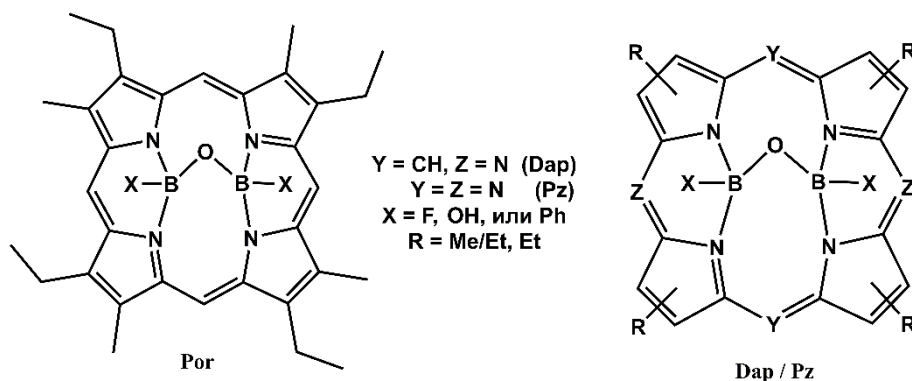


Рисунок 1. Структура диборных производного алкилзамещенного порфирина (Por) и его азааналогов (Dap/Pz).

1. Brothers P. J. / J. of Porphyrins and Phthalocyanines. – 2002. – Т. 6. – №. 04. – С. 259-267.
2. Brothers P.J. / J. Chem. Commun. – 2008. – №. 18. – Р. 2090 – 2102.
3. Belcher W.J., Brothers P.J. / Dalton Transactions. – 2008. – Т. 37. – №. 12. – С. 1602-1614.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект № 25-73-20126

КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ АКТИНИДОВ С 15-КРАУН-5 И 18-КРАУН-6 И ИХ ЗАМЕЩЁННЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

Сиволап А.А.¹, Самигуллина Я.Ф.², Федосеев А.М.¹, Григорьев М.С.¹

¹ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский пр. 31, корп.4

²Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва, Россия

E-mail: sivolapaline@yandex.ru

Координационные соединения актинидов с краун-эфирами представляют интерес как модельные объекты для изучения комплексообразования f-элементов. В данной работе обобщены результаты синтеза и структурного исследования комплексов урана, нептуния и плутония с 15-краун-5, 18-краун-6 и их бензозамещёнными производными (Б15К5, Б18К6).

В азотнокислых системах при кристаллизации краун-эфиров малого и среднего размера с оксокатионами актинидов в зависимости от валентного состояния металла наблюдается варьирование числа координированных и внешне-сферных молекул воды, что приводит к образованию соединений с чередующимися нейтральными фрагментами $AnO_2(NO_3)_2 \cdot nH_2O$ – 18-crown-6. Для четырёх-валентных актинидов (Pu^{4+}) выделены соединения, содержащие гексанитратные анионные комплексы $[Pu(NO_3)_6]^{2-}$ и катионы гидроксония, ассоциированные с краун-эфиром. Показано, что при использовании $Cs_2U(NO_3)_6$ и $Cs_2Np(NO_3)_6$ в качестве источников $An(IV)$ образование гексанитратных анионов не происходит, что указывает на существенное влияние противоиона и среды на состав конечных продуктов.

В системах с использованием органических сольватирующих растворителей возможно образование смешанновалентных соединений. Так, из спиртовых растворов $Cs_2Np(NO_3)_6$ и $NpO_2(NO_3)_2$ были выделены комплексные соединения состава $[Cs(18-crown-6)]_4[NpO_2(NO_3)_2NpO_2(NO_3)_3]_2$ и $[NpO_2(18-crown-6)]_2[\{NpO_2(NO_3)_2\}_2(NpO_2(NO_3)_2)]$, соответственно.

Благодаря высокой комплексообразующей способности краун-эфиров по отношению к катионам щелочных металлов (ЩМ) удаётся кристаллизовать смешанные нитратные комплексы ЩМ с актинидами; так, получены изоструктурные соединения $[NaNO_3(15-crown-5)]_2[AnO_2(NO_3)_2]$ и $[Li(B15-crown-5)(H_2O)][AnO_2(NO_3)_3(H_2O)](B15-crown-5)$, что позволяет проследить влияние ионного радиуса как ЩМ, так и актинида на геометрию координационных полиэдров.

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

СЕЛЕКТИВНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ КАТИОНОВ f-ЭЛЕМЕНТОВ ФОСФОРИЛСОДЕРЖАЩИМИ ЛИГАНДАМИ

Слободская С.С.¹, Цебрикова Г.С.¹, Соловьев В.П.¹, Илюхин А.Б.², Иванова И.С.², Пятова Е.Н.², Баулин В.Е.³, Цивадзе А.Ю.¹

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

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

³ФИЦ ПХФ и МХ РАН, 142432, Московская область, Черноголовка, Северный проезд, д.1

e-mail: slobodskayasi@yandex.ru

Поданды – ациклические аналоги краун-эфиров, способные селективно связывать различные элементы, включая f-. В связи с широким применением редких металлов разработка органических соединений для определения и выделения катионов f-элементов является актуальной задачей. В работе исследовано связывание

К
а
т
и
о
н
о
в

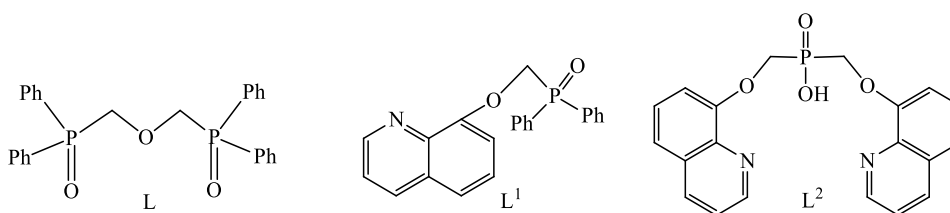


Рис. 1. Структурные формулы лигандов L-L²

Р

З

Определены составы комплексов f-элементов и константы их устойчивости. Методом спектрофотометрического титрования с применением программы CHEMEQUI. Катионы Ce^{3+} , Tb^{3+} и Lu^{3+} с L образуют комплексы ML и ML₂; константы устойчивости возрастают в ряду $\text{Ce}^{3+} < \text{Tb}^{3+} < \text{Lu}^{3+}$. Уранил и Lu^{3+} с L¹ и L² образуют комплексы ML; константы устойчивости убывают в ряду $\text{UO}_2^{2+} \cdot \text{L}^1 > \text{UO}_2^{2+} \cdot \text{L}^2 > \text{Lu}^{3+} \cdot \text{L}^1$. На основе L и L¹ разработаны лютеций- и уранил-селективные электроды соответственно с пределами обнаружения $9.2 \cdot 10^{-6}$ и $8.1 \cdot 10^{-6}$ М. Исследована экстракционная способность L по отношению к РЗЭ(III) в присутствии МТОАН и C₄mimTf₂N; добавление C₄mimTf₂N приводит к значительному увеличению коэффициента разделения $\text{SF}_{\text{Lu/Ce}}(\text{L})$ с 2.19 до 110.38. Лиганд L¹ в процессе экстракции показал высокую селективность к UO_2^{2+} : коэффициент распределения UO_2^{2+} составляет 3.8, а SF для пар $\text{UO}_2^{2+}/\text{Ce}^{3+}$ и $\text{UO}_2^{2+}/\text{Lu}^{3+}$ равен 381 и 47.6 соответственно. Получены комплексы РЗЭ(III) с фосфорилированными фрагментами бис(дифенилфосфорил)-этиленгликоля (L) и бис(дифенилфосфорил)-пропан-2-ола (L¹) и бис(дифенилфосфорил)-пропан-2-ола (L²). Лиганд L² является медленной магнитной релаксацией. Получены комплексы $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{L}^1]$ и $[\text{UO}_2(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{HL}^2] \cdot \text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, состав и строение которых установлены методами элементного анализа, ИК-спектроскопии, DFT-расчетов, для комплекса с L² – и с помощью РСА.

АРИЛЗАМЕЩЕННЫЕ ДИГЛИКОЛЬАМИДЫ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ЭКСТРАКЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ СВЯЗЫВАНИЯ f-ЭЛЕМЕНТОВ¹

Тихомирова Ю.Т., Шаров В.Э., Мосалева С.П., Костикова Г.В.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4

E-mail: julia.tikhomirova@list.ru

С целью исследования влияния строения амидных фрагментов дигликольамидов на их экстракционные характеристики было проведено систематическое исследование экстракции актинидов, лантанидов, а также некоторых s-, p- и d-металлов растворами различных арилзамещенных дигликольамидов из азотнокислых сред.

Исследовано влияние степени разветвленности алкильного заместителя при амидном фрагменте на селективность экстракции An(III) на примере N,N'-диизопропил-N,N'-дифенилдигликольамида и N,N'-дибутил-N,N'-дифенилдигликольамида. Найденны условия, в которых достигаются достаточно высокие значения коэффициентов разделения пары Am/Cm ($\beta = 3,1$).

На примере N,N'-дибутил-N,N'-ди(4-метилфенил)дигликольамида, N,N'-дибутил-N,N'-ди(4-метоксифенил)дигликольамида и N,N'-дибутил-N,N'-ди(4-фторфенил)дигликольамида изучено влияние заместителя в *пара*-положении бензольного кольца амидной группы. Показано, что с увеличением донорных свойств заместителя экстракционная способность лиганда увеличивается. Исследование влияния природы разбавителя на эффективность экстракции актинидов позволило подобрать оптимальные условия для разделения четырех- и шестивалентных актинидов на примере пары Th(IV)/U(VI) ($\beta > 1000$).

Различными методами, включая экстракционные, спектрофотометрическое титрование и рентгеноструктурный анализ выявлено, что введение бензильного заместителя в структуру дигликольамида снижает количество молекул лиганда, приходящихся на один атом металла, в экстрагируемых соединениях. Впервые в кристаллическом виде выделено соединение Ln(III) с дигликольамидом, в котором соотношение металл : лиганд составляет 1:2.

Показано, что введение четырех фенильных заместителей в структуру дигликольамида приводит к изменению порядка экстрагируемости металлов ($D_{M(II)} > D_{M(III)}$), снижает экстракцию Zr, а также приводит к увеличению разделения Ln ($\beta_{Lu/La} > 1000$).

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2024-534)

РОЛЬ ЭПОКСИ-АМИННОЙ МАТРИЦЫ В РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ФОТОАКТИВНЫХ МОДИФИКАТОРОВ*

Цыклинская А.М.¹, Голубков И.В.^{1,2}, Тимохова Н.В.¹, Бирин К.П.¹, Сенчихин И.Н.¹

¹ИФХЭ РАН, Москва, Россия

²МИРЭА, Москва, Россия

e-mail: Ka1iby@yandex.ru

Функциональные свойства полимерных материалов с фотоактивными соединениями определяются не только химической природой модификатора, но и матрицей, роль которой особенно возрастает в пространственно-сшитых системах. В частности, в эпокси-аминных полимерах формирование ковалентной сетки может ограничивать молекулярную подвижность введенных молекул, влиять на их распределение в объеме материала и, тем самым, определять условия и характер протекания фотоиндуцированных процессов. В связи с этим, определенный интерес представляет исследование влияния полимерной матрицы на фотоактивность модификаторов в материале.

В работе рассмотрены эпокси-аминные материалы на основе дианового эпоксидного олигомера марки ЭД-20 ($M_n=378$, $f_{ЭП}=1.99$) и отвердителя олигооксипропилендиаминa марки Jeffamine D-230 ($M_n=230$, $f_{NH}=3.99$), модифицированные фотоактивными соединениями различной природы — тетраарилпорфиринами и спиропираном. Работа является продолжением исследований [1, 2], в которых нами впервые была показана возможность эффективной иммобилизации указанных соединений в густосшитой эпокси-аминной матрице и проведена оценка некоторых физико-химических характеристик полученных материалов.

В настоящей работе показано, что модификация эпокси-аминной матрицы тетраарилпорфиринами позволяет получать материалы, обладающие биоцидными свойствами. Впервые установлены корреляции между распределением порфирина в объеме полимера, газотранспортными характеристиками матрицы и биологической активностью материала. В случае спиропирана показано, что пространственно-сшитая полимерная сетка ограничивает молекулярную подвижность фотохромного соединения, что приводит к увеличению времени существования окрашенной мероцианиновой формы по сравнению с раствором. Таким образом, эпокси-аминная матрица является не только «носителем» фотоактивных модификаторов, но и средой, определяющей особенности реализации их функциональных свойств в модифицированном полимерном материале.

1. Tsyklinskaya A. M. et al. //Reactive and Functional Polymers. 2024. V. 205. 106099.
2. Golubkov I. V. et al. //Mendeleev Communications. 2026. V. 36 (5). P. 508-511.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕНЗО-15-КРАУН-5 ЭФИРА ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ СКАНДИЯ ИЗ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ¹

Чеботников Я.М., Шаров В.Э., Костикова Г.В.,
Григорьев М.С., Жилов В.И.

Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп. 4
E-mail: yakov.tcchebotnikov@yandex.ru

Введение небольших добавок скандия в алюминиево-магниево-сплавы значительно повышает их механические свойства, что открывает возможности для более широкого применения таких материалов в авиационной и ракетно-космической технике. Поскольку скандий практически не образует собственных месторождений, в качестве перспективных источников рассматриваются техногенные концентраты, где он накапливается совместно с редкоземельными элементами (РЗЭ). Однако выделение скандия из подобных концентратов осложняется сходством его химических свойств с РЗЭ.

В данной работе была изучена экстракция скандия и редкоземельных элементов. В качестве экстрагента выступал бензо-15-краун-5-эфир (Б15К5) в хлороформе при введении трихлорацетата натрия (ТХАНа) в водную фазу. Ранее было установлено, что при экстракции скандия из растворов, содержащих трихлорацетат лития (ТХАЛi), достигаются высокие значения коэффициентов распределения (D) скандия и разделения (β) Sc/РЗЭ. Для оценки возможности применения ТХАНа в процессах селективного извлечения скандия краун-эфиром были исследованы зависимости D(Sc) от концентрации трихлорацетатов Na и Li в равновесной водной фазе, а также от концентрации Б15К5 в равновесной органической фазе. Кроме того, определена зависимость D(Sc) от pH равновесной водной фазы и установлены условия селективного извлечения скандия из нитратных растворов РЗЭ в присутствии ТХАНа. Также изучено влияние разбавителя на экстракцию скандия и РЗЭ Б15К5 из растворов, содержащих ТХАНа и ТХАЛi. Наиболее высокие значения β Sc/РЗЭ

получены при использовании 1,1,2,2-тетрахлорэтана (ТХЭ) и мета-нитробензотрифторида (Ф3). В кристаллическом виде был выделен комплекс скандия с Б15К5 и ТХАЛi, структура которого установлена методом рентгеноструктурного анализа.

Исследованные экстракционные системы продемонстрировали высокую селективность по отношению к скандию при извлечении его из модельного нитратного раствора, содержащего Sc и РЗЭ в соотношениях, близких к их содержанию в редкоземельном концентрате руд Томторского месторождения.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации (номер соглашения 075-15-2025-583).

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИИ ЭНЕРГИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ ФОТОПРЕВРАЩЕНИЯХ КУМАРИНОВЫХ СПИРОПИРАНОВ

Баркова В.И.¹, Селивантьев Ю.М.^{1,2}, Колоколов Ф.А.¹, Райтман О.А.^{1,2}

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

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

В настоящее время к спиросоединениям наблюдается повышенный интерес, обусловленный их широким применением в качестве рабочих элементов фотопереключателей, оптических логических устройств и систем хранения данных. В связи с этим актуальными задачами в настоящее время являются прогнозирование поведения гетероциклических молекул с учетом их структуры, сравнение рассчитанных характеристик с экспериментально полученными данными и построение хемоинформационных моделей, позволяющих предсказывать их свойства.

В литературе имеются сведения об использовании различных вычислительных методов для моделирования оптических свойств сложных органических красителей различных классов, например нестационарной теории функционала плотности (TD-DFT). Однако предсказание спектрального положения основной полосы поглощения органических красителей с помощью данного метода не всегда релевантно, поэтому на практике используются различные полуэмпирические шкалирующие регрессии, адаптированные для точного моделирования оптических свойств. Однако, такого рода регрессии для длинноцепочечных спиропиранов в литературе представлены незначительно. В связи с этим, актуальной задачей является адаптирование и апробация подобных регрессий для систем с увеличенными π -сопряженными системами, например включающими сопряженные кумариновые фрагменты.

В настоящей работе представлены результаты квантово-химического моделирования структурных, энергетических и оптических характеристик 1-гексадецил-3,3,4'-триметил-2'-Н-спиро[индолин-2,8'-пирано[2,3-f]хромен]-2'-она в различных растворителях. Рассмотрено влияние увеличения общего π -сопряжения мероцианиновой части на предиктивную силу исследуемой модели. Показано, что существующие общие эмпирические коррекционные формулы для органических красителей на уровне теории DFT дают удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных полос поглощения спиропиранов в мероцианиновой форме.

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

СИСТЕМЫ ПОКРЫТИЙ С ФУНКЦИЕЙ АНТИГРАФФИТИ

Глазкова М.А., Чапала П.П., Федякова Н.В.

ФГБОУ ВО Российский химико-технологический университет им. Д.И.

Менделеева 125047, г. Москва, Миусская площадь, д.9

e-mail: mariyaqlaz@mail.ru

Защита объектов городской и транспортной инфраструктуры от несанкционированно нанесенного граффити является острой социально-экономической задачей. Для удаления результатов актов вандализма существуют химические методы очистки с использованием специальных смывающих средств (агрессивных по отношению к подложке) и физические методы, которые часто приводят к преждевременному разрушению обрабатываемого субстрата. Альтернативным наиболее рациональным и экономически оправданным решением является применение антиграффити покрытий (АГП) – покрытий, обладающих антиадгезионными свойствами по отношению к материалам, используемым для нанесения граффити. Традиционно для получения АГП используются фторированные полимеры (полиуретаны, эпоксидные смолы и т.д.) и акриловые сополимеры, демонстрирующие отличные антиграффити свойства. Однако, ключевыми недостатками данных пленкообразующих веществ являются их высокая стоимость и неудовлетворительная адгезия к защищаемой поверхности. Данная работа посвящена изучению возможности применения эпоксисилоксанового лака в качестве более доступной альтернативы фторсодержащим полимерам.

Пигментированные материалы на основе эпоксисилоксанового лака продемонстрировали удовлетворительную антиграффити способность при использовании мягких смывающих средств. С целью достижения максимального уровня защиты и продления эксплуатационного срока службы грунт-эмалей были разработаны лаковые композиции на основе исходного связующего с введением коммерческих силиконовых добавок Tech-2037E и Tech-2059. Использование аддитивов в оптимальных концентрациях привело к понижению свободной поверхностной энергии до $\approx 21,34$ мДж/м², что обеспечило легкое удаление модельных граффити загрязнений без применения специальных смывающих средств и методов абразивной механической очистки. Кроме того, в качестве альтернативного варианта защиты было предложено применение временного АГП на основе эпоксисилоксанового лака с введением микронизированного полиэтилена, которое по исчерпанию своей защитной способности полностью удаляется с поверхности механическим путем. Для разработанных пигментированных и непигментированных лакокрасочных материалов были предложены две технологические схемы (временная и комбинированная) их практического использования.

ПИРАЗИН-АННЕЛИРОВАННЫЕ ПОРФИРАЗИНЫ ФОСФОРА(V): СИНТЕЗ И ГИДРОЛИТИЧЕСКОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ДО ЛИНЕЙНЫХ ДИАЗТРИПИРРИНОВ¹

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

¹ Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Шереметевский проспект, 7; E-mail: ekaterina19gnedina@gmail.com

Известно, что взаимодействие макроциклических лигандов с избытком фосфорилгалогенидов (POHal_3) дает комплексы соответствующих порфиразинов и фталоцианинов фосфора(V). Реакция с тригалогенидами фосфора (PHal_3) приводит к образованию сокращенных на один мезо- атом азота корролазинов фосфора(V)¹. Введение таких акцепторных заместителей, как аннелированные пиразинные кольца, вызывает дефицит электронной плотности на макроцикле, что приводит к изменению физико-химических свойств². В отличие от фталоцианинов, порфиразинов и аннелированных корролазинов фосфора(V), пиразин-аннелированные порфиразины фосфора(V) ранее не изучались. Интересно, что аналогичные комплексы при этом образуют различные металлы³ и кремний⁴.

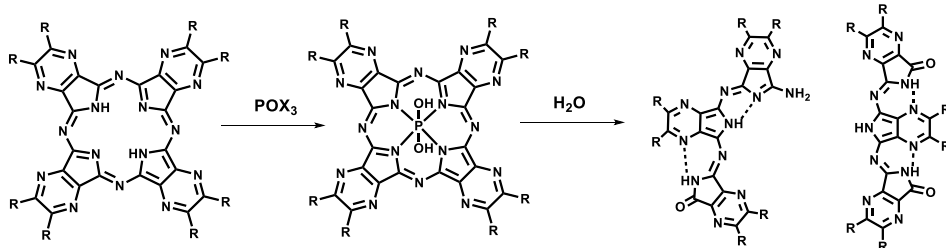


Рисунок 1. Схема синтеза и деструкции тетрапирaziнопорфиразинов фосфора(V).

В работеⁱⁱ впервые исследована возможность получения октафенил- и октаэтоксикарбонил- замещенных тетрапирaziнопорфиразинов фосфора(V). Выявлено, что целевые макроциклические соединения фосфора(V) образуются при реакции соответствующих макроциклических лигандов с избытком фосфорилгалогенидов (POHal_3) в пиридине. Однако образующиеся порфиразины фосфора(V) являются неустойчивыми и подвергаются реакции гидролитического расщепления макроцикла. Конечными продуктами такой трансформации являются нециклические пиразин- аннелированные 5,10-дiazатрипиррины, охарактеризованные в виде 14-амино-1-оксо- и 1,14-диоксо-форм методами электронной спектроскопии поглощения, ¹H ЯМР спектроскопии, а также LDI-TOF масс спектрометрии.

1. Furuyama, T.; et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2017**, 19(24), 15596–15612.
2. Novakova, V.; et al. *Coord. Chem. Rev.*, **2018**, 361, 1–73.
3. A.E. Chufarin; et al. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, **2024** 452, 115564.
4. Kolarova M.; et al. *Journal of Porphyrins and Phtalocyanines*, **2023**, 01n04, 444-451.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-73-20126

ВСТРАИВАНИЕ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ ФОТОСЕНИБИЛИЗАТОРОВ В ЛИПИДНЫЕ МЕМБРАНЫ И ОЦЕНКА ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ФДТ

Данилова Д.К.¹ Бунин Д. А.¹, Мартынов А.Г.¹, Селектор С.Л.¹

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

e-mail: sofs@list.ru

Эффективность фотосенсибилизаторов (ФС) в фотодинамической терапии (ФДТ) во многом определяется способностью взаимодействовать с биологическими мембранами. В связи с этим изучение взаимодействия ФС с модельными липидными мембранами представляет значительный интерес.

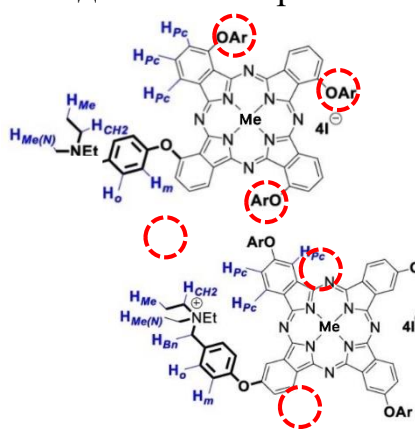


Рис. 1. Структурные формулы 4aMePc (а), 4βMePc (б), где Me=Mg, Zn, Cu

В данной работе исследованы катионные фталоцианины 4aMgPc, 4βMgPc, 4aZnPc, 4aCuPc и 4βCuPc, различающиеся природой центрального металла и положением заместителей во фталоцианиновом макроцикле. Для оценки взаимодействия ФС с модельными биомембранами использовали ленгмюровские монослои липида пальмитоил-2-олеоил-sn-глицеро-3-фосфо-холина (POPC). Исследуемые соединения вводили в водную субфазу под монослой липида, после чего с помощью электронной спектроскопии поглощения исследовали процесс встраивания ФС в липидный слой. Для оценки эффективности ФС регистрировали изменение поверхностного давления в монослое со встроившимся в него ФС при облучении системы. Показано, что 4aMgPc наиболее эффективно взаимодействует с модельной липидной мембраной и вызывает наиболее выраженное снижение поверхностного давления при облучении. Вероятно, это связано с его строением: α-расположение заместителей обеспечивает более выраженное стерическое экранирование макроцикла и препятствует π-π-стекингу, с которым связана агрегация 4βMgPc, препятствующая его встраиванию. Дополнительное преимущество Mg²⁺ связано с возможностью координации двух аксиальных молекул воды, что усиливает пространственное экранирование макроцикла и снижает вероятность агрегации по сравнению с комплексами Zn²⁺. Таким образом, меньшее агрегирование способствует сохранению мономерных молекул, их более лёгкому встраиванию в липидный слой и, вероятно, более высокой локальной концентрации ФС в мембране и его однородному распределению в монослое. При облучении это обеспечивает более эффективное фотохимическое воздействие на липидное окружение, что регистрируется по более значительному снижению поверхностного давления в модельной системе при облучении.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАТИОННЫХ И АНИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ С Б15К5 И ОРТОЗАМЕЩЕННЫМ НИТРОФЕНОЛОМ

Демина Л.И., Бездомников А.А., Куренкова Е.А., Сиволап А.А., Григорьев М.С., Цивадзе А.Ю.

ИФХЭ им. А.Н. Фрумкина РАН, 119071, Москва, Ленинский пр. 31, корп.4

Для выделения и разделения щелочных металлов из водных растворов используют метод жидкостной экстракции, который основан на комплексообразовании экстрагента в составе органической фазы с ионом металла, который изначально находится в водной фазе.

Для данного исследования рассматривали одновременное присутствие в системе двух потенциальных лигандов: Б15К5 и ортозамещенного нитрофенола (НФ). Возможности ИК-спектроскопии позволяют подобрать критерии участия органических лигандов в образовании комплексов, предположить состав и оценить прочность связей.

Разработана методика синтеза комплексов лития, натрия и калия с НФ и Б15К5. Были выделены комплексы состава: $[\text{Li}_2(\text{Б15К5})_2(\mu_2\text{-H}_2\text{O})(\text{H}_2\text{O})][\text{Li}_2(\text{НФ})_4]$, $[\text{Na}(\text{Б15К5})(\text{НФ})]_4$ и $[\text{K}(\text{Б15К5})_2][\text{НФ}] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot (\text{CH}_3)_2\text{C}(\text{ОН})\text{CH}_2\text{CO}(\text{CH}_3)$. Структуры этих комплексов определены с использованием РСА.

Депротонированная форма НФ выполняет различные функции в составе выделенных комплексных соединений: входит в состав комплексного аниона с литием, формирует координационную сферу нейтрального комплекса натрия и имеет внешнесферный характер в комплексе калия. Депротонирование приводит к исчезновению в спектрах всех комплексов полос $\nu(\text{PhO-H})$ и $\gamma(\text{PhOH})$. Участие в образовании комплексов с литием и натрием фенолятной и нитро групп приводит к смещению полос $\nu(\text{PhO})$ и $\nu(\text{NOO})$ в спектрах комплексов относительно этих же полос в спектре свободного НФ. В спектре комплекса калия подобных изменений не фиксируется.

Координационная сфера всех металлов формируется донорными атомами кислорода краун-эфира. Это приводит к изменениям в спектрах в положении полос $\nu(\text{PhOC})$ и $\nu(\text{COC})$, а также в конформационно чувствительном диапазоне $1000 - 600 \text{ см}^{-1}$. По характеру и положению полос валентных колебаний $\nu(\text{НОН})$ в спектре комплекса лития показана возможность вхождения в координационную сферу лития молекул воды, как терминально координированных, так и мостиковых. Результаты, полученные на основе анализа ИК спектров, согласуются с данными РСА, проведенного для синтезированных комплексов.

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

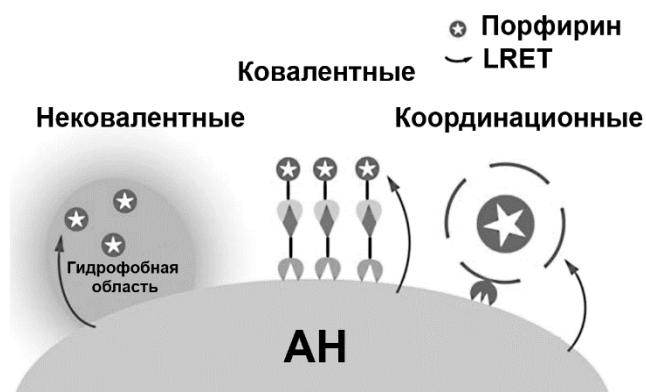
ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ АПКОНВЕРТИРУЮЩИХ НАНОЧАСТИЦ И ПОРФИРИНОВ¹

Волостных М.В.¹, Ермакова Е.В.¹, Горбунова Ю.Г.^{1,2}.

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

²*Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова
Российской академии наук, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 31*

Создание функциональных гибридных материалов, объединяющих неорганические апконвертирующие наночастицы (АН) и порфирины, относится к одному из наиболее активно развивающихся направлений современной химической науки. Ключевой особенностью таких систем является их способность преобразовывать низкоэнергетическое БИК-излучение, обладающее высокой проникающей способностью в биологические ткани, в энергию возбуждения порфириновых фотосенсибилизаторов. Эффективность работы данных гибридов определяется возможностью безызлучательного переноса энергии от донора (АН) к тетрапиррольному акцептору, в частности по механизму люминесцентного резонансного переноса энергии (LRET). В зависимости от типа связывания между компонентами синтетические подходы к получению органо-неорганических АН-порфириновых материалов можно разделить на три группы: нековалентные, ковалентные и координационные (Рис.).



Такие гибридные системы находят широкое применение в биовизуализации, фотодинамической и комбинированной терапии, а также для адресной доставки лекарств. Кроме того, они служат основой для разработки высокочувствительных сенсоров для детекции онкомаркеров, ионов тяжелых металлов и метаболитов на фемтомолярном уровне.

В связи с этим в данной работе представлен обзор современных достижений и перспектив создания функциональных гибридных материалов на основе АН и порфиринов, а также их биомедицинских применений.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, грант № 24-73-10227

СЕЛЕКТИВНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ Nd(III) ИЗ РАСТВОРОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПОСТОЯННЫХ NdFeB МАГНИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ТОДГА

**Ершов И.П., Цебрикова Г.С., Слободская С.С., Коваленко О.В.,
Усолкин А.Н., Баулин В.Е., Цивадзе А.Ю.**

*ИФХЭ РАН, 119071, Москва, Ленинский проспект, д. 31/4
e-mail: ivan0ershov@yandex.ru*

Стремительное развитие технологий и техники в современном мире влечёт за собой повышение спроса на редкоземельные элементы (РЗЭ(III)), в том числе Nd(III). Возросшие потребности и истощение рудных запасов ставят задачу рассмотрения альтернативных источников получения Nd(III), одним из которых являются отработавшие NdFeB магниты. Традиционно, для извлечения РЗЭ(III) применяются методы осаждения из растворов и жидкостная экстракция. Альтернативой может служить метод экстракционной хроматографии, в котором используются различные сорбционные материалы.

Известно, что для извлечения РЗЭ(III) используются нейтральные биден-татные экстрагенты класса диамидов дигликолевой кислоты, в частности N,N,N',N'-тетраоктилдигликольамид (ТОДГА, рис. 1), обладающий высокой радиационной и химической устойчивостью, а также хорошей экстракционной способностью по отношению к РЗЭ(III). Представляло интерес применение этого соединения в качестве активного компонента (стационарной фазы) сорбента для выделения Nd(III) из растворов переработки постоянных NdFeB магнитов. В качестве носителя использовался гидрофобизированный силикагель, на который ТОДГА был нанесен импрегнированием. Установлено, что Nd(III) количественно сорбируется на разработанном нами сорбенте. Изучено влияние скорости сорбции и подобраны условия десорбции. Показана высокая способность сорбента к концентрированию Nd(III) из нитратных растворов. Найдены условия разделения Nd(III) и Fe(III) на колонке. Обнаружено, что восстановление Fe(III) до Fe(II) с помощью аскорбиновой кислоты позволяет полностью разделить смесь Nd(III)/Fe(III). Проведены первые эксперименты на реальных растворах переработки постоянных NdFeB магнитов.

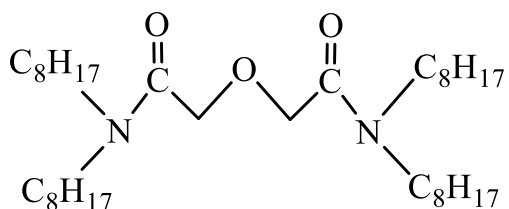


Рис. 1 Структурная формула ТОДГА

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 25-43-02072

ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИН КАК МОДЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАТИОМЕТРИЧЕСКОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ТЕРМОМЕТРИИ

Батищева Ю.А.^{*1,2}, Магарян К.А.^{1,2}, Горбунова Ю.Г.^{2,3}, Наумов А.В.¹

¹*Московский педагогический государственный университет,
Москва, Малая Пироговская, 1-1;*

²*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Москва, Ленинские горы, 1;*

³*Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук, Москва, Ленинский проспект, 31-4.*

E-mail: filippovaya@my.msu.ru

Люминесцентная термометрия является одним из наиболее перспективных бесконтактных подходов к измерению температуры в микро- и наномасштабе [1]. В работе подробно исследована возможность использования тетрафенилпорфирина (ТФП) в качестве сенсорного материала для ратиометрической фотолюминесцентной термометрии в широком окне температур (25-75 °С) при возбуждении лазером с длиной волны 405 нм. Показано, что спектр люминесценции раствора ТФП в бензоле (10^{-7} М) имеет две интенсивные полосы с максимумами около 652 и 717 нм. Особое внимание уделено вопросу о важности калибровки спектрометров по спектральной чувствительности аппаратуры по кривой теплового излучения абсолютно черного тела. Установлено, что игнорирование спектральной чувствительности детектора приводит к систематическому искажению отношения интенсивностей эмиссионных полос (LIR): для одного и того же спектра значение LIR составляло 1,94 без калибровки и 1,76 после калибровки. Кроме того, рассмотрены зависимости LIR от ряда экспериментальных параметров, включая мощность возбуждающего излучения. Показано, что LIR выходит на плато при мощности возбуждения около 2 мВт, а стабилизация сигнала по времени экспозиции наблюдается начиная с 2 с. В цикле нагрев–охлаждение выявлен гистерезис температурной зависимости LIR, интерпретируемый как эффект термопамяти. Полученные результаты демонстрируют, что тетрафенилпорфирин является удобной модельной платформой для анализа как физических основ ратиометрии, так и факторов, ограничивающих точность люминесцентной термометрии.

Литература:

- [1] M. Suta, Ž. Antić, V. Đorđević, S. Kuzman, M.D. Dramićanin, A. Meijerink. *Nanomaterials*, **10**, N 3 (2020) 543.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства просвещения Российской Федерации (тема №126030618412-6 («Фотонные технологии в науке и образовании: материалы, методы и инструменты сверхвысокочувствительной оптической сенсорики и микроскопии»)).

ЛИПОФИЛЬНЫЕ КАРБОКСИ-ХЛОРИНЫ И ИХ МЕТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ: АГРЕГАЦИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ПАССИВНЫМИ НОСИТЕЛЯМИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ¹

Березин Д.Б., Фартушная А.Д., Шухто О.В.

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

Хлорин e_6 в форме 13(1),15(2),17(3)-трикарбоксизамещенного макрогетероцикла или его солей с органическими или неорганическими катионами является признанным активным веществом ряда отечественных препаратов противоопухолевого действия, фотосенсибилизаторов (ФС) для фотодинамической терапии (ФДТ) [1, 2]. Этерификация метиловым спиртом одной или нескольких COOH -групп в молекуле хлорина e_6 или его производных приводит к существенному снижению гидрофильности ФС и выраженной агрегации в водных растворах [3]. Несмотря на, казалось бы, негативные тенденции в изменении биодоступности таких эфиров, важным их достоинством является более эффективное, по сравнению с хлорином e_6 , связывание с липопротеиновой фракцией транспортных белков крови и, как следствие, более селективное накопление в клетках опухоли, предопределяющее действенность процедуры ФДТ [1, 4-6].

В связи с важностью рассматриваемой проблемы нами на основе метилфеофорбида *a* синтезирован ряд форбиновых и нефорбиновых карбоксихлоринов и их метиловых эфиров, методами абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии исследовано их состояние в воде и водных растворах неионогенных ПАВ мицеллярного (Твин 80) и полимерного (Р 123) типа, изучен характер агрегации, эффективность связывания с носителями и особенности локализации ФС в мицеллах. Показано, что замена карбокси-группы на метоксикарбонильную может существенно изменять тип агрегата, образующегося в водной среде, а также прочность связывания ФС/носитель. Продемонстрирована важная роль пассивных носителей в дезагрегации ФС, что необходимо для обеспечения биодоступности препарата при его интернализации.

- [1] O.I. Koifman, T.A. Ageeva, N.S. Kuzmina, et. al, *Macroheterocycles*. **2022**. 15(4), 207-304.
[2] А.В. Кустов, Д.Б. Березин, А.И. Стрельников, Н.П. Лапочкина, *Противоопухолевая и антимикробная фотодинамическая терапия: механизмы, мишени, клинко-лабораторные исследования. Практическое руководство*. Москва: Ларго, **2020**. 108 с.
[3] Д.Б. Березин, Т.В. Бондарева, О.В. Шухто, и др., *ChemChemTech* **2025**. 68(6), 70-82.
[4] G. Jori, *Ciba Found Symp.* **2007**. 146, 78-94.
[5] 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.
[6] Т.Е. Зорина, Т.И. Ермилова, И.В. Коблов, И.Е. Кравченко, Т.В. Шман, Т.В. Кустова, Д.Б. Березин, И.С. Худяева, В.П. Зорин, *Биофизика*. **2025**. 70(5), 877-890.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № FZZW-2026-0003

ИНДОЦИАНИН-ХЛОРИНОВЫЙ КОНЬЮГАТ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ФОТОТЕРАПИИ: СИНТЕЗ И СВОЙСТВА¹

Березин Д.Б.¹, Паламар А.В.¹, Александрийский В.В.¹, Шухто О.В.¹,
Смирнова Н.Л.^{1,2}, Терентьев А.А.^{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*

Разработка препаратов для фототерапии онкологических заболеваний, позволяющих комбинировать принцип фотодинамической терапии (ФДТ) с химио- (ХТ), радио- (РТ), фототермо- (ФТТ) или иммунотерапией (ИТ), представляет значительный научный интерес [1], что связано с наличием ряда ограничений метода ФДТ при использовании его в качестве монотерапии [2]. Так, сочетание в одном препарате карбоцианинового и хлоринового π -хромофоров позволяет достигнуть комбинации двух терапевтических подходов – ФДТ и ФТТ, позволяющих эффективнее инактивировать объемные, кислород-дефицитные и глубоко залегающие опухоли.

В связи с этим нами с применением реакций нуклеофильного замещения синтезирован ковалентно связанный конъюгат с подходящим спейсером [3], содержащий фрагменты пиррофеофорбида *a* и ИК-красителя Индоцианинового зеленого нового (IGN). Полученный конъюгат демонстрирует типичное для сочетания π -хромофоров поглощение в ЭСП в области 412, 668 и 815 нм (MeOH), а при возбуждении молекулы в области полосы Core – типичную для обоих компонентов конъюгата флуоресценцию (673 и 841 нм), что свидетельствует о сильном интерхромофорном взаимодействии.

Синтезированное соединение нерастворимо в воде, оно агрегирует в системе EtOH-H₂O при содержании воды от 50 до 70_{масс.} % и практически не подвергается дезагрегации в присутствии неионогенных ПАВ в воде до содержания в системе 15%_{масс.} EtOH. В ходе эксклюзионной хроматографии наблюдается преимущественное связывание конъюгата с липопротеиновой фракцией транспортных белков крови (около 98%), что предопределяет его высокую селективность связывания с некоторыми типами опухолей. Вместе с тем, согласно коэффициенту распределения ($\lg P^{298} = 7.35$; 1-OctOH/PSB), конъюгат остается, тем не менее, относительно гидрофильным соединением.

[1] M. Grin, N. Suvorov, P. Ostroverkhov, V. Pogorilyy, N. Kirin, A. Popov, A. Sazonova, E. Filonenko, *Biophys. Rev.* **2022**. 14, 941-963.

[2] А.В. Кустов, Д.Б. Березин, А.И. Стрельников, Н.П. Лапочкина, *Противоопухолевая и антимикробная фотодинамическая терапия: механизмы, мишени, клиничко-лабораторные исследования. Практическое руководство*. Москва: Ларго, **2020**. 108 с.

[3] Д.Б. Березин, А.В. Паламар, О.В. Шухто и др. *ChemChemTech* **2026**. 69(9), 6-23.

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

ФТАЛОЦИАНИНЫ С АНИОННЫМИ ГРУППАМИ: СОСТОЯНИЕ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ НЕИОНОГЕННЫХ МИЦЕЛЛЯРНЫХ ПАВ¹

Березин Д.Б., Фартушная А.Д., Кулев В.А., Шухто В.А.,
Грибова В.М.

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

Процессы гидрофобной ассоциации/агрегации макроциклических фотосенсибилизаторов (ФС) в зависимости от поставленных задач могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на эффективность их фотодинамического (ФДТ) или фототермического (ФТТ) терапевтического действия [1]. В частности, агрегированные формы ФС, с одной стороны, слабо генерируют синглетный кислород, а с другой – могут как способствовать реализации механизма ФДТ I типа, так и активной конверсии энергии возбуждения в тепловую (ФТТ). Так, агрегация, сопровождающаяся тушением флуоресценции ФС, блокирует каналы реализации фотодинамического действия ФС, связанные с переносом энергии, однако повышает вероятность процессов фототермии с участием рассматриваемых красителей.

Фталоцианины (Фц) представляют собой один из перспективных классов ИК-ФС для фототерапии онкологических и ряда инфекционных заболеваний [1, 2], а их характерные ЭСП позволяют надежно определять степень агрегации красителей в растворе.

В настоящей работе мы сопоставляем состояние серии Фц с различным типом (COOH, SO₃H) и числом (n = 4, 8) анионных групп, а также оцениваем влияние центрального атома металла и степень ионизации заместителей на состояние ФС и его склонность к гидрофобной агрегации в воде и водных растворах неионогенных пассивных носителей (Твин 80, Р 123). Оценка проводилась с применением абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии, а также метода динамического светорассеяния (ДРС). Показано, что именно способность к ионизации полярных групп играет первостепенную роль в обеспечении гидрофильности молекул анионных Фц. Немаловажным фактором является также природа и координационное окружение центрального атома металла в составе молекулы МФц.

[1] D.A. Bunin, A.G. Martynov, D.A. Gvozdev, Y.G. Gorbunova *Biophys. Rev.* **2023**. 15, 983. [2] D.B. Berezin, V.V. Makarov, S.A. Znoyko, V.E. Mayzlish, A.V. Kustov, *Mend. Commun.* **2020**. 30(5), 621-623.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № FZZW-2026-0003

СИНТЕЗ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ НОВЫХ МЕТАБОЛИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ¹

Брагина Н.А.¹, Усанёв А.Ю.¹, Маркова А.А.², Нгуен М.Т.²,
Карпеченко Н.Ю.³, Жданова К.А.¹

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

²*Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва,
ул. Косыгина, 4*

³*ФГБУ "НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина" Минздрава России, Москва,
Каширское ш., 23*

Фотодинамическая терапия (ФДТ) является эффективным методом лечения многих поверхностных и локализованных опухолей, который приводит к гибели опухолевых клеток за счет генерации цитотоксических активных форм кислорода (АФК). Кислород играет важную роль в эффективности ФДТ, однако в процессе онкогенеза постепенно развивается гипоксия микроокружения опухоли, что приводит к постепенному изменению ее энергетического метаболизма: окислительное фосфорилирование постепенно замещается гликолизом. Таким образом, дополнительное ингибирование гликолиза является одним из направлений по улучшению эффективности фотосенсибилизаторов (ФС) для ФДТ.

В нашей научной группе исследуется подход по получению ФС, способных ингибировать стадии гликолиза. Так, нами разработаны подходы к получению конъюгатов тетрапиррольных ФС с известными препаратами, являющимися ингибиторами гликолиза. Среди них можно отметить 2-дезоксид-D-глюкозу (2DG), лонидамин (LND) и окситиамин (ОХТ). Были получены конъюгаты мезо-арилпорфиринов с данными препаратами и изучена их биологическая активность. Так, для конъюгатов с 2DG была продемонстрирована светоиндуцированная токсичность в наномолярном и субмикромолярном диапазоне ($IC_{50} = 0.042\text{--}0.58\text{ }\mu\text{M}$) с индексом селективности опухолевых клеток по отношению к здоровым в 6.6 раз. Методом конфокальной микроскопии установлена локализация полученных ФС в митохондриях и несколько меньше в лизосомах. Также, получены данные, что синтезированные соединения в условиях *in vitro* ингибируют фермент гексокиназу II, что подтверждает нацеливание ФС на определенный этап метаболизма опухолевых клеток.

В работе также были получены наночастицы золота, модифицированные порфириновыми ФС и молекулами 2DG, изучена их активность *in vitro*. Использование наноразмерных средств доставки улучшило растворимость получаемых соединений и существенно уменьшило их темновую цитотоксичность *in vitro*.

¹ Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект №22-73-10176-П)

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ДИФИЛЬНЫХ СПИРОПИРАНОВ С КАТИОНАМИ МЕТАЛЛОВ

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

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

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

Редкоземельные элементы (РЗЭ) широко используются в высокотехнологичных областях, таких как оптоэлектроника, лазерная техника, каталитические процессы и создание функциональных материалов. В связи с этим актуальной задачей аналитической химии является разработка методов определения РЗЭ, обладающих высокой чувствительностью и селективностью, особенно при анализе сложных многокомпонентных систем. Одним из перспективных подходов является использование фотохромных соединений, способных изменять структуру и спектральные характеристики при взаимодействии с катионами металлов. Различия в характере такого взаимодействия могут служить основой для спектральной дифференциации катионов. В настоящей работе с помощью электронной спектроскопии поглощения проведено сравнительное исследование комплексообразования дифильных спиропиранов с катионами переходных и редкоземельных металлов. Установлено, что природа заместителей, в частности наличие электроноакцепторной группы в хроменовой части, существенно влияет на характер комплексообразования и спектральный отклик. Для катионов различной природы наблюдаются отличающиеся изменения электронных спектров поглощения, что позволяет использовать структурную модификацию спиропирана для формирования избирательного отклика на определённые классы катионов.

Получены и выделены в твёрдом состоянии комплексы спиропирана с катионами металлов, что позволило провести их дополнительную характеристику методами ИК- и ЯМР-спектроскопии. Сопоставление спектров комплексов с катионами переходных металлов и лантаноидов выявило принципиально различный характер их взаимодействия с мероцианиновой системой. Результаты исследования показывают принципиальную возможность спектральной дифференциации редкоземельных и переходных металлов с использованием дифильных фотохромных лигандов. Способность исследованных соединений формировать упорядоченные планарные структуры создаёт основу для разработки плёночных сенсорных систем на основе монослоёв.

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

СМЕШАННЫЕ МОНОСЛОИ ЛЕНГМЮРА ДИФИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЕВРОПИЯ(III) И ТЕРБИЯ(III) С 4-(ОКТАДЕЦИЛОКСИ)ПИРИДИН-2,6-ДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТОЙ

Макшанова А.О.¹, Колоколов Ф.А.¹, Щекотихин А.Е.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: makshanova.a.o@muctr.ru

Люминесцентные материалы на основе комплексных соединений лантаноидов находят все большее применение, в том числе как метки для защиты документов от подделок. При облучении таких меток ультрафиолетом они начинают светиться разными цветами в зависимости от содержания различных элементов. Кроме того, варьируя их состав, можно получать материал с тремя уникальными параметрами: цвет свечения, его длительность и изменение цвета в период затухания. В качестве таких люминесцентных соединений могут выступать комплексы тербия(III) и европия (III) с 4-(октадецилокси)пиридин-2,6-дикарбоновой кислотой ($H_2DipicOC_{18}H_{37}$), а также тонкопленочные материалы на их основе, полученные с использованием техники Ленгмюра–Блоджетт.

В настоящей работе из нитратов лантаноидов и 4-(октадецилокси)пиридин-2,6-дикарбоновой кислоты получены комплексы состава $H[Ln(DipicOC_{18}H_{37})_2] \cdot 2H_2O$ (где Ln = Eu, Tb). С помощью ИК-спектроскопии показано, что лиганд связывается тридентатно, а координационную сферу иона металла дополняют две молекулы воды. При возбуждении УФ-светом с $\lambda=270$ нм соединения проявляют характерную для иона Eu^{3+} красную люминесценцию, и зеленую – для иона Tb^{3+} . Оба комплекса образуют на поверхности водной субфазы устойчивые монослои Ленгмюра. Яркость люминесценции пленок, перенесенных на кварцевые подложки с помощью техники Ленгмюра–Блоджетт, увеличивается с ростом давления переноса и числа слоев. Совместное растекание растворов комплексов на поверхности водной субфазы дает единый смешанный монослой, для которого наблюдается эмиссия, складывающаяся из красной (Eu^{3+} , 614 нм) и зеленой (Tb^{3+} , 545 нм) полос. С ростом доли комплекса европия красная составляющая в спектре систематически увеличивается, а суммарное свечение смещается от зеленой области к красной. Таким образом, различное соотношение металлов в смешанном монослое может применяться для получения слоев для защиты документов.

ПРОБЛЕМАТИКА СТАБИЛИЗАЦИИ КОЛЕРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ СИСТЕМ

Неделькин А.В., 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,
slepov.s.v@muctr.ru*

Колеровка безрастворных эпоксидных систем с высокой наполненностью всегда представляла собой комплекс задач, особенно когда требуется проводить колеровку пигментами, а не пигментными пастами. В этом случае подборка требуемых добавок (диспергаторов, смачивающих агентов, деаэраторов, стабилизаторов и др.) с учетом применяемого комплекса сухих наполнителей, равно как и подбор режимов производства, является долгим трудоемким процессом. В виду ухода с российского рынка основных поставщиков добавок (в основном немецких) возник вопрос поиска добавок других производителей, для чего нужно понимать природу применяемых добавок, что, как правило, является коммерческой тайной. Наибольший интерес представляла замена добавок для улучшения диспергирования и смачивания.

Поиск основывался на данных, показавших что действие многих добавок такого рода обуславливается сильно разветвленными полимерными структурами, модифицированных аминными или карбоксильными группами, причем для эпоксидных систем наиболее подходящими являются полиэфир-полиэфирные и акрилатные основы. При диспергировании композиции с пигментами и наполнителями боковые цепи модифицированных полиэфиров сжимаются и адгезия аминогрупп к пигменту и наполнителю увеличивается. Вследствие этого происходит адгезия афинной группы к поверхности пигмента или наполнителя, в то время как боковые цепи молекулы полимера продолжают защищать афинные группы от взаимодействия с эпоксидной смолой. Помимо повышения смачиваемости, это приводит к снижению вязкости системы, одновременно исключая реакции с эпоксидными смолами, что приводит к стабильности при долговременном хранении.

На основании такого рода модели, было выбран и протестирован ряд диспергаторов различных производителей (марки CFC, Dispex, Tech, COADD, Verowett и др.). В системах с неорганическими пигментами и наполнителями на основе кварцевой муки и талька наилучшие результаты показал полиэфир, модифицированный карбоксильными группами производства Taiga Additives (Китай). Расслоение пигментов отсутствовало при любых практикуемых режимах диспергирования.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТОНКОГО СЛОЯ PdPc¹

Саяров И.Р.¹, Сафонова Е.А.¹, Александров А.Е.¹, Тамеев А.Р.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*

Фталоцианины металлов являются перспективным классом органических полупроводниковых материалов благодаря высокой химической и термической стабильности, поглощению в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, а также возможности управления их электронными и фотофизическими свойствами путем выбора центрального атома металла. Во фталоцианине палладия (PdPc) металл обеспечивает эффективную интеркомбинационную конверсию спина, увеличивая время жизни триплетных состояний, что делает PdPc перспективным сенситизатором для систем триплет-триплетной аннигиляционной апконверсии. Кроме того, интенсивное поглощение в красной и ближней ИК-областях спектра позволяет использовать PdPc в качестве фотоактивного материала для фотоприемников с расширенным спектральным диапазоном чувствительности.

В настоящей работе исследованы оптические и фотоэлектрические свойства тонких пленок фталоцианина палладия. Измерение спектра поглощения раствора PdPc и определение энергии граничных молекулярных орбиталей позволило выбрать подходящие материалы и функциональные слои, на основе которого были изготовлены образцы фотодиода со структурой ITO/PANI/PdPc/C₆₀/BCP/Al (здесь ITO и Al – электроды, PANI - полимер с дырочной проводимостью, C₆₀ – фуллерен с электронной проводимостью, BCP - буферный слой). Фотопроводимость полученных устройств была изучена при освещении белым светом (стандарт AM1.5G) и при монохроматическом облучении на длинах волн 450 и 740 нм, соответствующих максимумам поглощения PdPc. По экспериментальным данным рассчитаны основные фотоэлектрические характеристики фотодиода: спектральная чувствительность, эквивалентная мощность шума и обнаружительная способность.

Полученные результаты показали перспективность использования тонких пленок PdPc в разработке органических фотоприемников, чувствительных в видимой и ближней ИК-областях спектра.

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

СИНЕРГИЯ ДВУХФАКТОРНОГО СЕНСОРНОГО ОТКЛИКА УЛЬТРАТОНКИХ ПЛЕНОК ПОЛИДИАЦЕТИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ХЕМИКУРКУМИНОИДОМ, НА КАТИОНЫ СВИНЦА

Скворцова Н.Г.¹, Берлёва А.В.¹, Ахмадеев Б.С.², Мустафина А.Р.²
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, 420088, Казань, ул. Арбузова, 8,
e-mail: nata14skv@yandex.ru

В данной работе исследована сенсорная способность монослоёв и ультратонких плёнок на основе 10,12-пентакозадиеновой кислоты (PCDA) и влияние на неё модифицирующей добавки хемикуркуминоида HCur. Методами электронной и флуоресцентной спектроскопии, а также флуоресцентной микроскопии установлено, что при воздействии раствора перхлората свинца, как на монослой на границе раздела воздух - вода, так и на формируемые из него пленки, и в монокомпонентной, и в модифицированной системах происходит хроматический переход из синей нефлуоресцентной формы PCDA в красную флуоресцентную форму. Для однослойных плёнок Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ), сформированных из монокомпонентного и модифицированного монослоёв рассчитан колориметрический отклик (CR) такого перехода в диапазоне концентраций катионов свинца 10^{-6} - 10^{-4} М.

Продemonстрировано, что присутствие в системе хемикуркуминоида HCur приводит к возрастанию колориметрического и существенному росту флуоресцентного отклика на катионы свинца. В результате порог чувствительности системы к катионам свинца снижается на порядок, что свидетельствует о проявлении синергетического эффекта модификации. Показано, что хемикуркуминоид HCur принимает активное участие в координационном связывании ионов свинца через депротонированную енольную форму, а регистрируемые при этом изменения оптических характеристик могут быть использованы в качестве второго, подкрепляющего, сигнала отклика. Для монокомпонентной и модифицированных плёнок ЛБ с помощью флуоресцентной микроскопии проведено сравнение и показаны существенные различия морфологии красной формы PCDA, формирующейся под действием УФ-облучения и в результате взаимодействия с катионами свинца. Выявлено влияние хемикуркуминоида на обнаруженные эффекты.

Описанные результаты могут служить поводом для дальнейшего изучения этой системы с целью разработки высокочувствительного, селективного двухсигнального датчика на ионы свинца в водной среде.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Акасов Р.А., 26
 Александрійский В.В., 55
 Александров А.Е., 61
 Антипин И.С., 30, 35
 Аракчеев А.В., 20, 21, 33
 Арсланов В.В., 6, 23
 Ахмадеев Б.С., 62
 Баркова В.И., 46
 Батищева Ю.А., 53
 Баулин В.Е., 7, 28, 37, 41, 52
 Бездомников А.А., 37, 50
 Белоусов М.С., 34
 Березин Д.Б., 54, 55, 56
 Берлёва А.В., 21, 62
 Беспалов И.А., 15
 Бессмертных-Лемен А.Г., 10
 Бирин К.П., 43
 Богданов И.М., 30
 Брагина Н.А., 57
 Бунин Д. А., 49
 Бурилов В.А., 30, 35
 Бурцев И.Д., 34
 Бушуев В.А., 12
 Волкова Ю.А., 21
 Волостных М.В., 51
 Волошин Я., 24
 Волошин Я.З., 9
 Глазкова М.А., 47
 Глухова А.А., 30
 Гнедина Е.С., 48
 Голубков И.В., 43
 Горбунова Е.А., 36
 Горбунова Ю.Г., 26, 32, 51, 53
 Горшков Е.В., 26
 Графов О.Ю., 33
 Грибова В.М., 56
 Григорьев М.С., 40, 44, 50
 Данилова Д.К., 49
 Дегтярева В.А., 31
 Дементьева О.В., 8
 Демина Л.И., 37, 50
 Джимаков С.С., 22
 Дмитриенко А.А., 33
 Долгушин Ф.М., 37
 Дубинина Т.В., 34, 36
 Дудкин С.В., 9
 Ермакова Е.В., 10, 51
 Ершов И.П., 52
 Ефимов Н.Н., 11
 Ефимова И.А., 26, 32
 Ефремов М.В., 33
 Жданова К.А., 57
 Жилов В.И., 14, 44
 Злобин И.С., 15
 Иванова И.С., 7, 28, 41
 Иванова М.М., 34
 Илюхин А.Б., 7, 28, 41
 Исхакова З.Э., 35
 Карпеченко Н.Ю., 57
 Кискин М.А., 12
 Кисляк К.А., 36
 Коваленко О.В., 52
 Козин С.В., 22
 Колоколов Ф.А., 13, 31, 46, 59
 Кононенко Н.Е., 36
 Костикова Г.В., 14, 29, 38, 42, 44
 Котенев В.А., 18
 Кройтор А.П., 33
 Крылов Д.И., 23
 Кузнецов И.О., 58
 Кулев В.А., 56
 Куренкова Е.А., 37, 50
 Кустов А.В., 55
 Кутасевич А.В., 27, 31, 58
 Лазовский Д.А., 48
 Лапшина М.А., 7, 28
 Лимарев И., 24
 Магарян К.А., 53
 Макаров Е.Г., 35
 Макшанова А.О., 59
 Маркова А.А., 34, 57
 Мартынов А.Г., 20, 33, 49
 Митянов В.С., 27, 31, 58
 Мосалева С.П., 29, 38, 42
 Мустафина А.Р., 62
 Назарова А.О., 58

Наумов А.В., 53
Нгуен М.Т., 57
Неделькин А.В., 60
Никитин И.А., 39
Николаева Н.С., 7
Павлов А.А., 15
Паламар А.В., 55
Половкова М.А., 26, 32
Пятова Е.Н., 7, 28, 41
Райтман О.А., 13, 16, 27, 31, 46, 58, 59
Репченко Ю.Л., 21
Рогачева Ю.И., 7, 28
Рудой В.М., 8
Самигуллина Я.Ф., 40
Самулионис А.С., 12
Сафонова Е.А., 26, 32, 61
Саяров И.Р., 61
Селектор С.Л., 17, 20, 21, 33, 49, 62
Селивантьев Ю.М., 21, 46
Сенчихин И.Н., 43
Сиволап А.А., 29, 40, 50
Скворцова Н.Г., 62
Слепов С.В., 60
Слободская С.С., 41, 52
Смирнова Н.Л., 55
Соловьев В.П., 7, 28, 41
Соловьева С.Е., 30, 35

Сочилина А.В., 26
Спицын Н.Ю., 27
Стужин П.А., 39, 48
Султанова Э.Д., 30
Сухарь П.А., 14
Тамеев А.Р., 61
Терентьев А.А., 55
Тимохова Н.В., 43
Тихомирова Ю.Т., 29, 38, 42
Тюрин Д.Н., 18
Усанёв А.Ю., 57
Усолкин А.Н., 52
Фартушная А.Д., 54, 56
Федосеев А.М., 40
Федякова Н.В., 47
Цебрикова Г.С., 7, 28, 41, 52
Цивадзе А.Ю., 7, 14, 28, 37, 41, 50, 52
Цыклинская А.М., 43
Чапала П.П., 47
Чеботников Я.М., 29, 44
Шандыбо М.А., 15
Шаров В.Э., 14, 29, 37, 38, 42, 44
Шухто В.А., 56
Шухто О.В., 54, 55
Щекотихин А.Е., 59
Щербина М.А., 21
Ямбулатов Д.С., 12

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные лекции.....	5
Устные доклады.....	19
Стендовые доклады.....	45
Алфавитный указатель.....	63

**Физическая химия краун-соединений, порфиринов и фталоцианинов:
XI Международная конференция. 21-25 сентября, 2026. Сборник тезисов до-
кладов. – М.: ИФХЭ РАН, 2026. – 67с.**

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

Подписано в печать 09.09.2026г.

Формат 60х84

Усл. печ. л. 13,5. Уч.-изд. л. 11,0. Тираж 60 экз.

Заказ № 29

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.
