

УДК 547-304.4

СЕМИНАР «НОВЫЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ»¹

© 2023 г. М. В. Кашина, М. А. Кинжалов*

^a ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Россия, 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9
*e-mail: m.kinzhalov@spbu.ru

Поступила в редакцию 19.10.2023 г.

После доработки 29.10.2023 г.

Принята к публикации 31.10.2023 г.

С 3 по 6 июля 2023 года в Санкт-Петербургском государственном университете состоялся семинар «Новые органические функциональные материалы» в рамках Всероссийской конференции с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии». Программа семинара включала доклады об органических материалах с люминесцентными, фотосенсибилизирующими, токопроводящими, магнитными свойствами и биологической активностью, а также затронула новые методы синтеза функциональных органических молекул и их кристаллохимического дизайна. Обзор содержит краткие аннотации докладов, а также ссылки на соответствующие работы докладчиков.

Ключевые слова: органические материалы, функциональные полимеры, люминесценция, OLED, органические источники тока, магнитные материалы, биовизуализация, доставка лекарств

DOI: 10.31857/S0514749223120030, **EDN:** OFDHGK

ВВЕДЕНИЕ

1. ТЕМАТИКА ДОКЛАДОВ

- 1.1. НОВЫЕ ТИПЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
- 1.2. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ
- 1.3. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ
- 1.4. СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
- 1.5. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ И МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ
- 1.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОВАЛЕНТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время химия материалов является одной из наиболее динамично развивающихся областей науки и технологии. Развитие данного

направления имеет огромное значение, поскольку тут решаются глобальные вызовы, с которыми сталкивается современное человечество. Область материаловедения стала воплощением истинно-

¹ Статья публикуется по материалам Всероссийской конференции с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии», г. Санкт-Петербург, 3–6 июля, 2023 г. К 300-летию со дня основания Санкт-Петербургского государственного университета.

го мультидисциплинарного подхода, объединив в себе ключевые элементы знаний и методологий, заимствованных из различных областей, таких как химия, физика и биология. Функциональные материалы на основе органических и элементоорганических соединений являются предметом передовых разработок в областях оптики и фотоники [1–3], источников и накопителей энергии [4–7], сорбции и разделения веществ [8–10], катализе [11–13] и многих других. В отличие от неорганических систем, органические и элементоорганические системы демонстрируют большее разнообразие молекулярной структуры. Разработка новых типов органических материалов и понимание взаимосвязи между их строением и свойствами продолжает оставаться приоритетным направлением мировых научных исследований.

Приоритетные направления развития Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) на 2021–2030 гг. включают развитие исследований, накопление компетенций, трансфер знаний и технологий в области цифровых технологий, искусственного интеллекта и новых материалов, поэтому СПбГУ при поддержке Санкт-Петербургского отделения Российского химического общества им. Д.И. Менделеева послужил площадкой для проведения Семинара «Новые органические функциональные материалы». Работа Семинара проходила 3–6 июля 2023 года в рамках Всероссийской конференции с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии». Отличительной чертой семинара являлась мультидисциплинарная научная повестка, охватившая широкий круг областей применения органических материалов. Программа семинара включала доклады об органических материалах с люминесцентными, фотосенсибилизаторными, токопроводящими, магнитными свойствами и биологической активностью, а также затронула новые методы синтеза функциональных органических молекул и их кристаллохимического дизайна. В мероприятии приняли участие более пятидесяти ведущих и молодых исследователей различных научных центров Российской Федерации и зарубежья (Италия). Семинар включал выступления трех пленарных докладчиков, двенадцать приглашенных лекций, устные доклады и стендовую сессию. Кроме того, на Семинаре

состоялся конкурс выступлений молодых ученых. Дипломами за лучшие выступления отмечены доклады Горбуновой Алины (ТПУ, Томск), Кашиной Марии Владимировны (СПбГУ, Санкт-Петербург), Перевозчиковой Полины Сергеевны (ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва), Финогонова Даниила Николаевича (ИГХТУ, Иваново); лучшим стендовым докладом признан доклад Преснухиной Софии Игоревны (Санкт-Петербург, СПбГУ/Университет ИТМО).

Ниже представлены краткие аннотации пленарных, приглашенных, устных и стендовых докладов симпозиума, упорядоченные в соответствии с их тематиками.

1. ТЕМАТИКА ДОКЛАДОВ

1.1. НОВЫЕ ТИПЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(Поли)гетероциклические системы, а также органические молекулы с гетероатомами составляют основу веществ, которые уже используются в электронике, оптике, катализе и фармацевтике. Разработка новых технологий синтеза содержащих гетероатом органических соединений и выявление их полезных на практике свойств являются фундаментом для развития в области функциональных органических материалов. Пленарные лекторы академик РАН д.х.н. **Синяшин Олег Герольдович** и член-корреспондент РАН д.х.н. **Яхваров Дмитрий Григорьевич** в своем докладе представили разработанные их научным коллективом методы генерирования высокорекреационноспособных полифосфорных органических интермедиатов из белого фосфора, представляющих собой высокоэффективную альтернативу классическим реагентам в элементоорганическом синтезе [14]. Также продемонстрированы недавние подходы к получению новых каталитических систем на основе малослойного черного фосфора (фосфорена), функционализированного органическими радикалами и карбеновыми интермедиатами [15, 16].

Приглашенный докладчик д.х.н. **Островский Владимир Аронович** (Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-

Петербург) доложил о применении тетразолов в синтезе фотоактивных, магнитных и оптических материалов [17–20]. Благодаря максимальной эн-талпии образования в ряду азолов, способностью к формированию множественных водородных связей, координации к металлоцентрам и невысокой чувствительностью к удару и трению, тетразолы представляют собой перспективный ряд соединений для разработки безопасных органических веществ в промышленных целях.

Лекция приглашенного докладчика д.х.н. **Постникова Павла Сергеевича** (Томский политехнический университет, Томск) посвящена химии плазмоницируемых превращений, где в качестве катализаторов выступают 2D или 0D наноматериалы, способные к генерации поверхностных плазмонов [21–27]. В докладе проанализированы плазмон-иницируемые трансформации органических функциональных групп на поверхности – восстановление, азидалкинное циклоприсоединение, гомолиз C–O связи в структуре алкоксиаминов, региоселективный гомолиз C–I связей в структуре иодониевых солей, конденсация нитрилов в триазины. Особое внимание было уделено возможным механизмам плазмон-иницируемых трансформаций, которые на сегодняшний день все еще остаются дискуссионными.

Приглашенный лектор д.х.н. **Ферштата Леонида Леонидовича** (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва) посвятил доклад последним достижениям своей научной группы по разработке новых методов синтеза полиазотных гетероциклических структур, к числу которых относятся 1,2,5-оксадиазол-2-оксиды (фуроксаны), 1,2,3-триазол-1-оксиды, тетразолы и тетразинди-*N*-оксиды, а также стабильные гетероциклические радикалы (радикалы Блаттера и вердазины) [28–30]. В докладе также представлены практически значимые свойства синтезированных

гетероциклических ансамблей и перспективы их применения в качестве функциональных и энергоемких материалов.

Спиросочлененные с пирролидиновым циклом оксиндолы – класс гетероциклических соединений, активно исследуемый последние два десятка лет с момента обнаружения ценных фармакологических свойств у ряда природных алкалоидов. **Измestьев Алексей Николаевич** (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва) сообщил о новой перегруппировке в ряду диспиро-[имидазотиазолотриазин-пирролидин-оксиндол] (рис. 1). При обработке метилатом натрия в метаноле происходит неизвестное ранее тандемное раскрытие/замыкание тиазольного цикла по пути элиминирования/сопряженного присоединения тиолят-аниона, приводящего к син-эндо-изомерам **4**.

Диарилиодониевые соли – высоко реакционноспособные органические реагенты, способные вступать в широкий ряд превращений. **Раджабов Амирбек Джурабекович** (Томский политехнический университет, Томск) сделал доклад о разработке двухстадийного однореакторного метода получения несимметричных диарилселенидов из диарилиодониевых солей (рис. 2) [31].

Беликов Михаил Юрьевич (Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары) доложил о цианозамещенных 2-оксопирролах, фотофизические характеристики которых обратимо изменяются под действием паров летучих соединений (рис. 3) [32, 33]. Например, при взаимодействии с парами циклических аминов происходит контрастное изменение окраски реакционного раствора с темно-фиолетовой на практически бесцветную. Соединения с такими сенсорными свойствами могут найти практическое применение при создании материалов для оценки качества пищевых продуктов.

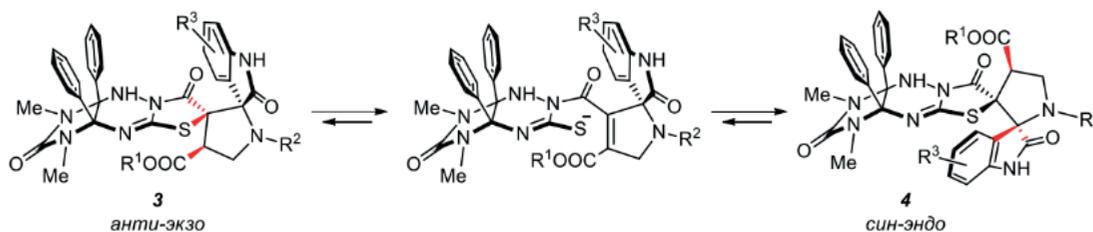
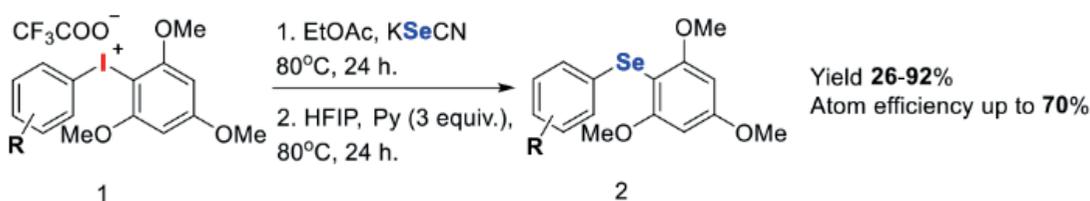


Рис. 1. Схема перегруппировки диспиро-[имидазотиазолотриазин-пирролидин-оксиндол]



R = H, 4-Me, 3,5-(Me)₂, 4-F, 4-Cl, 4-Br,
3-CF₃, 3,5-(CF₃)₂, 4-COOMe, 4-CN, 4-NO₂

Рис. 2. Синтез диарилселенидов из диарилидониевых солей

Смаилов Атабек Кадирбаевич (Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань) доложил о разработанном одностадийном синтезе каркасных фосфонатов в результате каскадной реакции 2-этоксивинилдихлорфосфонатов с фенолами в трифторуксусной кислоте (рис. 4) [34, 35]. Синтезированные фосфонаты могут быть использованы для создания перспективных лекарственных препаратов противовирусного, антибактериального, а также противоопухолевого действия благодаря своей каркасной форме, удобной для введения функциональных групп.

Горбунова Алина (Томский политехнический университет, Томск) представила результаты изучения механизма плазмонного катализа на примере реакции димеризации *p*-амино/нитрофенолов. Выявлено, что длина волны и мощность источника облучения, возбуждающего плазмон, влияют одновременно на выход димеров и побочных продуктов. Регистрация нескольких одновременных процессов, происходящих на поверхности золота, ставит под сомнение применимость простых кинетических зависимостей для исследования механических аспектов плазмонного катализа.

Кобякова Мария Евгеньевна (Курский государственный университет, Курск) сообщила результаты квантовохимического моделирова-

ния таутомеризации *S*-нитроимидазо[4,5-*e*]бензо[1,2-*c*;3,4-*c'*]дифуроксана – энергоемкого соединения и эффективного ингибитора агрегации тромбоцитов.

Федотов Виктор Владимирович, к.х.н. (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург) представил новый подход к синтезу пиримидоцианамидов (рис. 5). Метод позволяет получать целевые гетероциклы **3** с отличными выходами (80–90%).

1.2. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ

Быстрое развитие технологий и ужесточение экологических требований к внедряемым технологиям сделали высоко востребованными исследования в области дизайна и синтеза новых полимерных материалов для газоразделения, выделения и разделения органических соединений, создания оптоэлектронных и медицинских устройств.

Приглашенный докладчик член-корреспондент РАН д.х.н. **Люлин Сергей Владимирович** (Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург, Россия) представил подробную лекцию о методах обработки больших данных (более 6 миллионов экспериментальных свойств) для прогнозирования температуры стеклования полиимидных материалов методом машинного обучения графовых нейронных сетей [36].

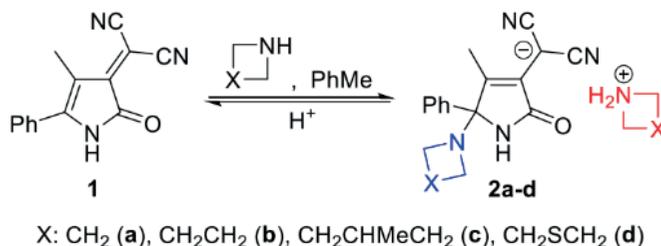


Рис. 3. Обратимое взаимодействие цианозамещенных 2-окспирролов с парами циклическими аминами

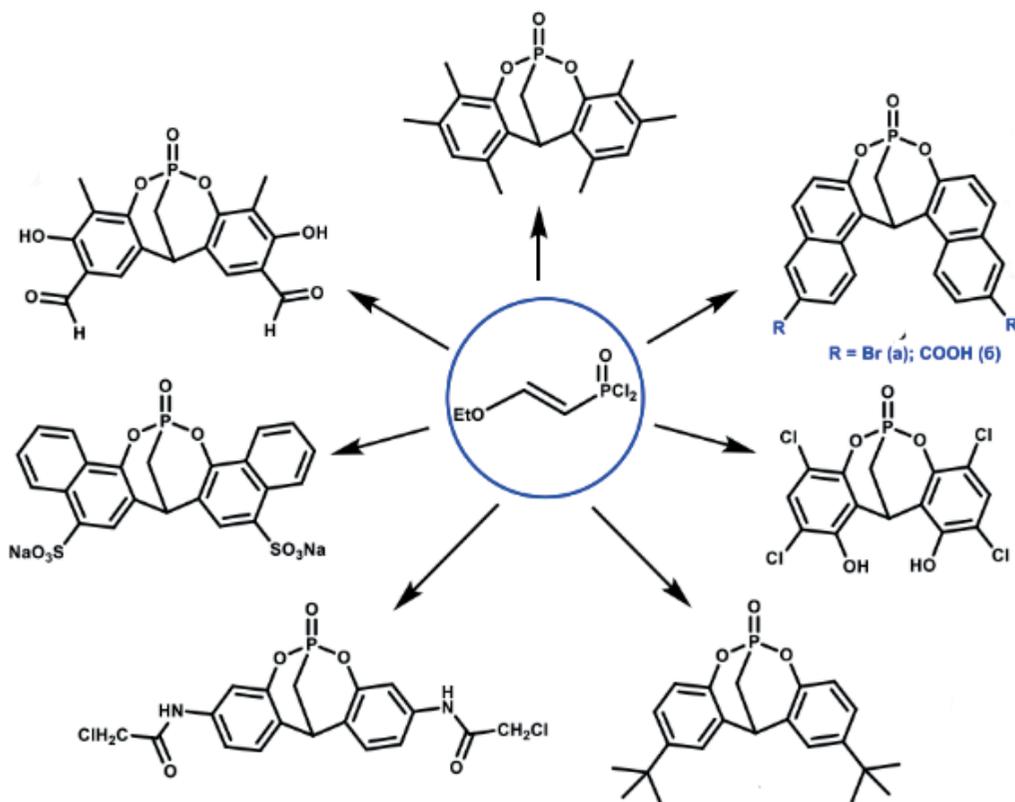


Рис. 4. Структуры полученных каркасных фосфонатов

В лекции приглашенного докладчика д.х.н. **Бермешева Максима Владимировича** (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва) рассмотрены последние достижения в направленном синтезе мембранных и микропористых материалов на основе производных норборнена [37, 38] (рис. 6). Полинорборнены характеризуются высокой хемо- и термостабильностью, прозрачностью и высокими температурами стеклования. Привлекательность норборненов в качестве мономеров, с одной стороны, обусловлена возможностью получения производных различного строения за счет реакций $[4\pi+2\pi]$ - и $[2\sigma+2\sigma+2\pi]$ -циклоприсоединения, с другой – тем,

что их полимеризацию можно проводить по нескольким механизмам – это открывает возможность получения полимеров с различными основными цепями и степенью разветвленности.

Приглашенный докладчик д.х.н. **Исламова Регина Маратовна** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) представила результаты своего научного коллектива в разработке электроактивных сополисилоксанов и электропроводящих (нано)композитов на их основе [39–41]. Обсуждены подходы получения одновременно люминесцирующих, термочувствительных и самозалечивающихся силиконовых ма-

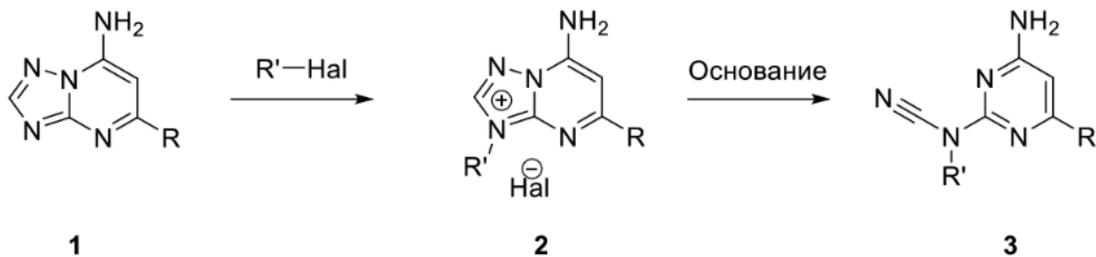


Рис. 5. Схема синтеза пиридиноцианамидов из азолопиридинов

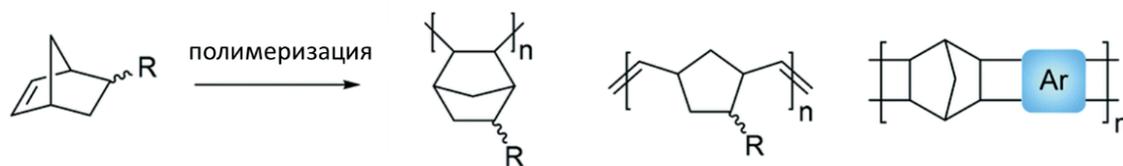


Рис. 6. Примеры рассматриваемых полинорборненов

териалов с использованием люминесцирующих наполнителей (филлеров) и при введении люминофоров в качестве боковых групп.

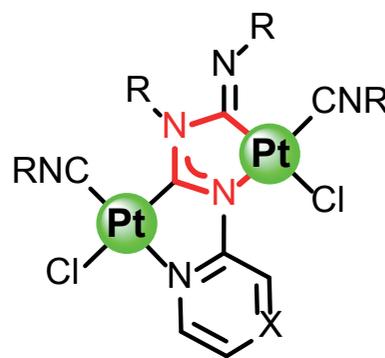
Доклад к.х.н. **Арзумяна Ашота Вачиковича** (Институт элементорганических соединений РАН им. А.Н. Несмеянова, Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва) посвящен обсуждению современных экономических, экологических и химико-технологических проблем реакции гидросилилирования – основному методу получения кремнийорганических мономеров. В докладе сформулированы результаты работы группы в развитии органо-катализируемого гидросилилирования, разработке новых гомогенных катализаторов на основе доступных 3d и платиновых металлов, переходе к рециклизуемым гетерогенным и гетерофазным каталитическим реакциям [42–44].

Кашина Мария Владимировна (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) представила высокоэффективные фотокатализаторы реакции гидросилилирования на основе биядерных металло-*N*-гетероциклических диаминокарбеновых комплексов Pt^{II} (рис. 7). Каталитический процесс происходит при облучении синими светом ($\lambda_{\text{max}} = 445$ нм) и загрузке катализатора 0.1 мол % [45].

Бермешева Евгения Владимировна, к.х.н. (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва) представила высокоэффективные каталитические системы аддитивной полимеризации норборненов на основе катионных аллильных (NHC)Pd-комплексов, отличающихся стабильностью катализаторов к кислороду воздуха и к воде, высокой активностью и толерантностью к функциональным группам [46, 47]. Дополнительно отмечено, что разработанные катализаторы способны проводить контролируемую полимеризацию и получать блок-сополимеры.

Лоцман Кристина Александровна (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) доложила о полимерах на основе виниловых эфиров терпеновых спиртов и дивинилового эфира 2,5-бис(гидроксиетил)фурана (рис. 8) [48]. Важной особенностью полученных полимеров на основе виниловых эфиров терпеновых спиртов является их полное разложение при нагревании на исходные спирты и соответствующие им карбонильные соединения. Восстановление продуктов разложения позволяет получить исходный терпеновый спирт, который может быть возвращен в цикл получения полимера.

Стрельникова Юлия Владимировна (Казанский федеральный университет, Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань) в стендовом докладе представила получение изоструктурных 1D зигзагообразных координационных полимеров на основе трёхъядерных сульфонилкаликс[4]ареновых кластеров кобальта (II) или цинка (II), обладающих пористой кристаллической структурой и способных претерпевать обратимый твердофазный переход при адсорбции/десорбции молекул растворителей (ДМФА или ДМСО) [49].

Рис. 7. Строение металло-*N*-гетероциклических диаминокарбеновых комплексов Pt^{II}

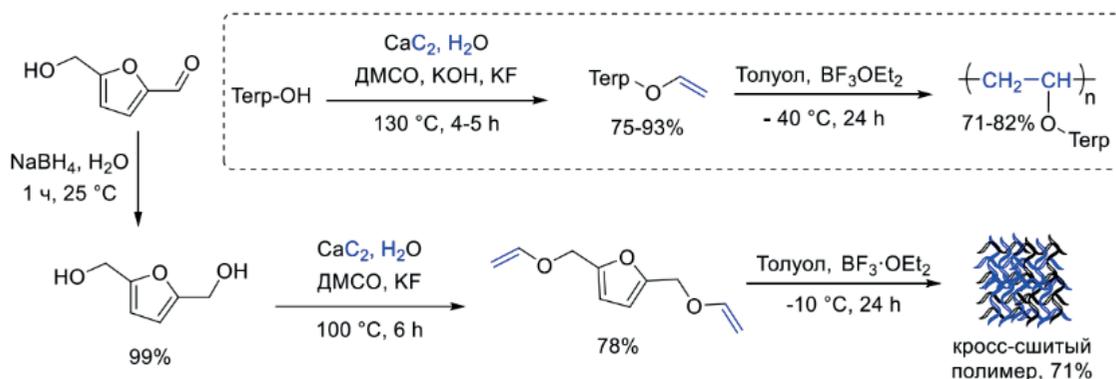


Рис. 8. Схема синтеза полимеров на основе виниловых эфиров терпеновых спиртов и дивинилового эфира 2,5-бис(гидрокси-симетил)фурана

1.3. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

Для органической химии в медицинских целях остается актуальной работа по созданию новых препаратов, обеспечивающих селективное действие на пораженную ткань с минимальным токсическим действием на здоровые клетки. В последние годы в биомедицине наблюдается устойчивый интерес к методам создания супрамолекулярных платформ на основе органических молекул, объединяющих в себе как терапевтические свойства, так и функциональные фрагменты для биоимиджинга, направленной доставки лекарств, улучшения их растворимости и защиты от биодegradации.

Приглашенный докладчик д.х.н. **Федорова Ольга Анатольевна** (Институт элементоорганических соединений РАН им. А.Н. Несмеянова, Москва) выделила задачу поиска хелатирующих лигандов, обеспечивающих высокую прочность связывания радионуклида, и подбор условий их конъюгирования с функциональными молекулами как основную фундаментальную проблему в области ядерной медицины. Ольга Анатольевна представила новые азотсодержащие макроциклические и ациклические комплексоны с жесткими бензольными и приридиновыми фрагментами, а также различными заместителями при атомах азота [50, 51]. Последние определяют селективность к определенным видам радионуклидов, а также обеспечивают возможность ковалентной конъюгации с функциональным фрагментом. При связывании радионуклидов разработанные комплексоны показали устойчивость к радиации, а эксперименты

in vitro и *in vivo* продемонстрировали их перспективность для биомедицинских целей.

В докладе д.х.н. **Бельской Натальи Павловны** (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург) представлен синтез новых N,O-спироборатов, содержащих тиофеновый и ароматический циклы и исследование их фотофизических свойств (рис. 9) [52]. Наталья Павловна отметила лучшую и более специфичную визуализацию клеточных органелл с помощью новых спироборатов по сравнению с коммерческим красителем на основе глибенкламида, в том числе в мезенхимальных и мышечных клетках.

В докладе к.х.н. **Муравьева Антона Андреевича** (Университет ИТМО, Санкт-Петербург; Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань) представлен функционализированный пиразольными заместителями каликсарен (рис. 10). По сравнению с исходным пиразолом функционализированный каликсарен обладает повышенной селективностью к линии опухолевых клеток относительно нераковых, что наряду с отсутствием токсичности и мутагенности, позволяет рассматривать синтезированные пиразольные производные каликсарена как перспективные противоопухолевые препараты [53]. Кроме того, полученное пиразольное производное каликсарена проявляет пьезоэлектрический отклик.

Доклад **Архиповой Алины Сергеевны** (Новосибирский государственный университет, Институт химической кинетики и горения им.

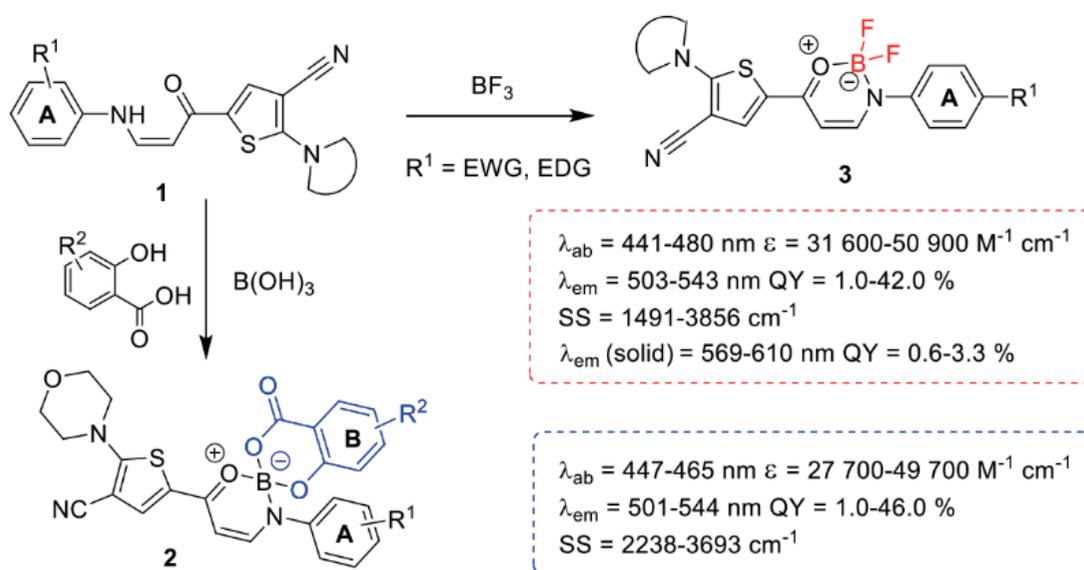


Рис. 9. Синтез и люминесцентные характеристики новых N,O-спироборатов

В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск) посвящен разработке фотохимически активных соединений на основе тиосемикарбазонов для применения в фотодинамической противоопухолевой терапии [54].

Перевозчикова Полина Сергеевна (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва) представила синтез конъюгатов из 4-стирилпиридинового красителя и 2,2-дифенил-2Н-хромена (рис. 11) и исследовала возможность их агрегации к двухцепочечной ДНК и к кукурбит[7]урилу, выполняющим роль лекарственного контейнера [55]. Результатыруемые трехкомпонентные супрамолекулярные системы на основе ДНК, кукурбит[7]урила и данных органических соединений могут быть использованы для направленной доставки лекарственных препаратов [56].

Елистаровой Анастасией Алексеевной (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) представлен новый класс наноразмерных кислородных сенсоров на основе фосфоресцентных комплексов Ir^{III} и Pt^{II} , инкапсулированных в полимерные мицеллы из диблок-сополимеров. Устойчивые в воде мицеллярные дисперсии нетоксичны по отношению к здоровым клеткам и демонстрируют моноэкспоненциальную зависимость спада времени жизни фосфорес-

ценции, их фотофизические параметры практически не чувствительны к параметрам среды – все это делает новые конъюгаты перспективными в качестве люминесцентного зонда для измерения концентрации кислорода в биологических объектах [57].

Щукина Анна Алексеевна (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва) доложила о новом типе ациклических комплексонов, способных образовывать прочные комплексы с катионами металлов медицинского назначения в растворе (рис. 12).

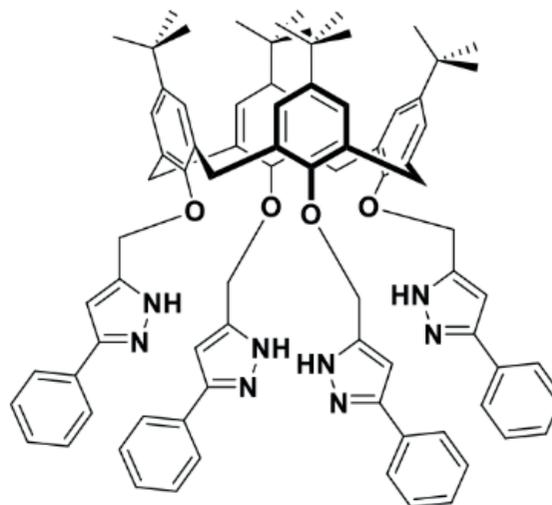


Рис. 10. Строение каликсарена, функционализированного фенилпиразолом

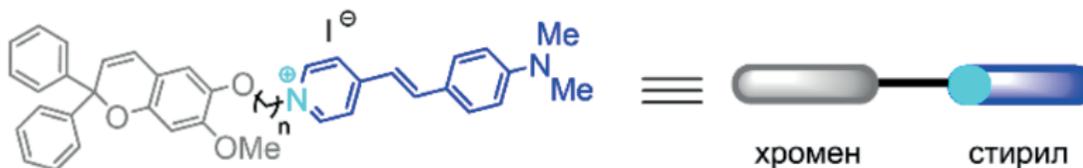


Рис. 11. Структура конъюгата из 4-стирилпиридинового красителя и 2,2-дифенил-2H-хромена

Комплексоны содержат в составе жесткий пиридинный фрагмент для уменьшения конформационной подвижности лиганда и разрушения комплекса и образуют устойчивые комплексы с катионами Y^{3+} , Bi^{3+} , Ga^{3+} в присутствии сывороточных белков, что делает их перспективным для использования в качестве компонентов радиофармпрепаратов [50].

Гибадуллина Эльмира Мингалеевна, к.х.н., (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казань) в стендовом докладе продемонстрировала синтез многофункциональных ониевых солей – катионных ПАВ, которые содержат в своей структуре фосфорильные фрагменты с пространственно-затрудненными фенольными заместителями, обладающими антиоксидантным эффектом (рис. 13). Полученные соединения, по результатам исследований, обладают цитотоксичными и антимикробными свойствами [58].

Дубашинская Наталья Вадимовна, к.фарм.н., (Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург) в докладе представила конъюгаты антибиотика колистина с гиалуроновой кислотой, модифицированные цианокобаламином [59]. Разработанные конъюгаты стабильны в условиях, имитирующих среду желудочно-кишечного трак-

та, обладают хорошей антимикробной активностью, повышенной кишечной проницаемостью и пониженной нефротоксичностью.

1.4. СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

На сегодняшний день органические светодиоды (OLED) – один из самых энергоэффективных источников света. Однако существующие технологические решения все еще имеют существенные недостатки, такие как малый срок службы, несбалансированный спектр эмиссии, изменение спектральных параметров с течением времени и т.д. – это обуславливает необходимость поиска новых типов люминофоров. Среди других важных прикладных приложений органических светоизлучающих материалов можно выделить разработку люминесцентных сенсоров и динамических люминесцентных переключателей.

Приглашенный докладчик **Уточникова Валентина Владимировна**, д.х.н. (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва) в своей лекции обобщила особенности комплексов лантаноидов для применения в качестве светоизлучающего слоя в OLED. В докладе представлены отличия от других классов излучателей, а также предложено математическое описание максимально достижимой яркости элек-

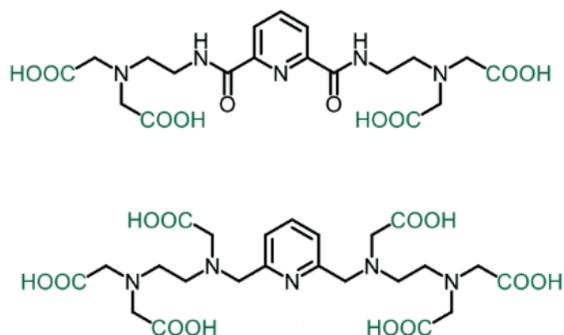


Рис. 12. Комплексоны на основе пиридина



Рис. 13. Ониевые соли с фосфорильными фрагментами

тролюминесценции координационных соединений лантаноидов [60, 61].

Каткова Светлана Александровна, к.х.н (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) доложила о получении люминесцирующих комплексов Pt^{II} с ациклическими диаминокарбеновыми лигандами [62]. Отличительная особенность используемого синтетического подхода заключается в том, что сборка органического фрагмента происходит непосредственно в координационной сфере металла, поэтому могут быть получены ранее синтетически недоступные типы светоизлучающих соединений [63, 64]. Комплексы апробированы в качестве светоизлучающих допантов в OLED устройствах и продемонстрировали зеленое излучение с максимальной эффективностью тока $2.9 \text{ кд} \cdot \text{А}^{-1}$ и яркостью $2700 \text{ кд} \cdot \text{м}^{-2}$. Интересным моментом оказалось, что изменение конструкции светодиода может привести к визуально белому цвету свечения за счет эксимерного излучения.

Диарилнафталины перспективны в создании синих и зеленых органических светодиодов. В докладе **Дятлова Андрея Леонидовича** (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону) представлен синтез 4-арил- и 4,5-диарил-1,8-бис(диметиламино)нафталинов. Благодаря объемным заместителям в пери-положениях нафталинового фрагмента, данные 1,8-диарилнафталины демонстрируют быструю взаимную конверсию между син- и анти-атропоизомерами в растворе. Протонирование 4,5-диарил-1,8-бис(диметиламино)нафталинов снижает барьеры син/анти изомеризации из-за уменьшения межзотного расстояния в солях, что приводит к возгоранию флуорес-

ценции и увеличению квантового выхода люминесценции в 41 раз.

Супрамолекулярные структуры на основе тиобарбитуровой кислоты ранее уже зарекомендовали себя в качестве флуоресцентных сенсоров на ионы ртути(II) и меди(II) [65]. **Москаленко Иван Владимирович** (Университет ИТМО, Санкт-Петербург) представил результаты изучения строения, флуоресценции и радикальной активности новых аддуктов тиобарбитуровой кислоты и меламин. Полученные кристаллические супрамолекулярные ансамбли могут быть использованы как ловушки (перехватчики) для углерод и кислород-центрированных радикалов [66].

В докладе **Сорокина Савелия Павловича** (Чувашский государственный университет, Чебоксары) описан сольватохромизм и сольватофлуорохромизм пиридонов **1–3** (рис. 14) [67]. Пр продемонстрировано потенциальное применение пиридона **1** в качестве твердофазного кислотн-основного молекулярного переключателя при детектировании паров пирролидина и трифторуксусной кислоты. Выявлено, что пиридон **1** при добавлении пирролидина образует соль с оранжевой флуоресценцией. В то же время в кислой среде формируется сильнофлуоресцирующая голубым цветом гидроксипиридиновая форма.

Исследования **Садчиковой Елены Владимировны** (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург) посвящены созданию нового класса люминофоров на основе азолотриазиннов. Соединения **6** синтезированы взаимодействием солей азол-5-диазония и 5-диазоазолов с β -гетариленаминами (рис. 15) и испускают

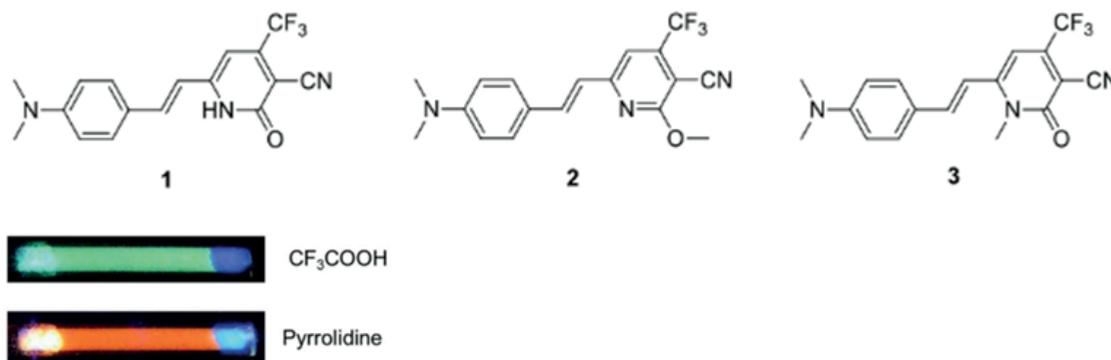


Рис. 14. Исследуемые пиридоны и изменение флуоресценции пиридона **1** в различных средах

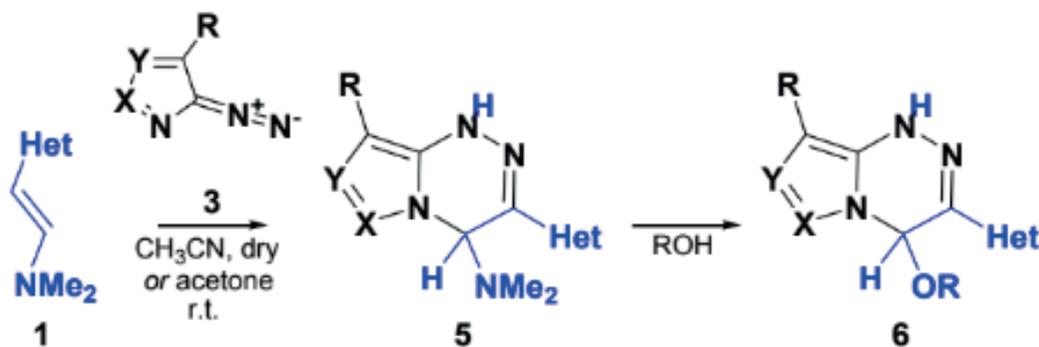


Рис. 15. Схема синтеза азолотриaziнов 6

свет в области $\lambda_{em} = 433\text{--}524$ нм с квантовыми выходами люминесценции 1.6–33.3% [68, 69].

Лазовский Дмитрий Александрович (Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново) продемонстрировал серию тетрапиразинокорролазинов фосфора (V) с аксиальными алкокси- и арилокси-группами (рис. 16), расширяющих ряд известных фосфорных corroлазинов [70]. Соединения демонстрируют интенсивную флуоресценцию, зависящую как от периферии макроцикла, так и от аксиальных лигандов.

Введение наночастиц золота в эмиссионный слой OLED устройств способствует уменьшению времени жизни молекул в возбужденном состоянии из-за эффекта плазмонного резонанса и, как следствие, возрастанию интенсивности излучения (эффект Парселла). **Гладких Арсений Юрьевич** (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва) представил результаты по созданию OLED устройств на основе новых комплексов тербия и европия с ароматическими карбоксилатными, бетадикетонатными и фенантролиновыми лигандами. Максимальная яркость сборок достигла пределов 140–473 кд/м²; введение наночастиц золота в эмиссионный слой позволило увеличить максимальную яркость светодиодов до 220–559 кд/м², что является на сегодняшний день

наилучшим результатом для OLED устройств на основе комплексов тербия и европия [71].

Козлов Макарий Игоревич (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва) на основе комплексов тербия и европия с ароматическими карбоксилатными и β -дикетонатными лигандами представил подход к увеличению яркости OLED на основе соединений лантанидов за счет снижения симметрии координационного окружения. Снижение симметрии координационного окружения в случае соединений европия за счет введения в состав двух различных анионных лигандов привело к увеличению яркости OLED на 50% [72].

Симдянов Иван Владимирович (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия) представил серию 1*H*-бензо[*e*]индолов, содержащих три функциональных группы: сульфонилимино-группу в положении C1, гидроксильную группу в положении C² и первичную amino-группу в положении C⁵ (рис. 17) [73]. Полученные бензо[*e*]индолы обладают люминесценцией с максимумом испускания при 520 нм и квантовым выходом люминесценции 35%.

Благодаря люминесцентным свойствам нафтофуорохинолины уже активно используются в ор-

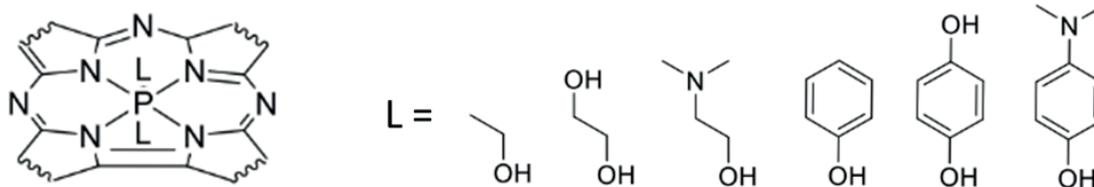
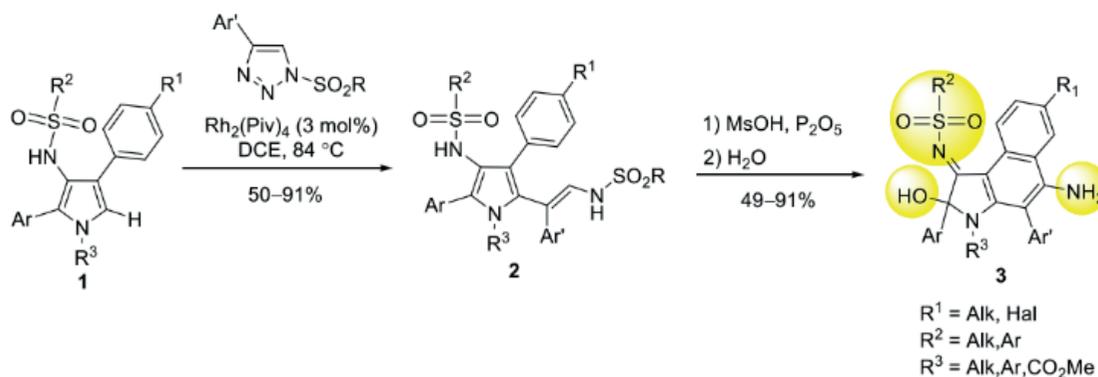


Рис. 16. Исследуемые тетрапиразинокорролазины фосфора (V) с аксиальными лигандами

Рис. 17. Синтез исследуемых 1*H*-бензо[*e*]индолов

ганических светоизлучающих диодах, солнечных элементах, лазерных красителях, фотосенсибилизаторах, биомолекулярных метках и молекулярных зондах. Дополнительным преимуществом нафтофуорохинолиновых люминофоров является их содержание в природных веществах. **Балахонов Роман Юрьевич** (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского, РАН, Москва) представил новый фотоиндуцируемый метод синтеза флуоресцирующих нафтофуорохинолинов из ацилоксимов (рис. 18) [74].

Преснухина Софья Игоревна (Санкт-Петербургский государственный университет, Университет ИТМО, Санкт-Петербург) в стендовом докладе сравнила люминесцентные свойства кетонов **1–6**, синтезированных по модифицированным литературным методикам (рис. 19) [75, 76]. Выявлено, что кетоны **3** и **4** обладают наиболее ярко выраженными люминесцентными свойствами, при этом соединение **4** демонстрировало два максимума эмиссии на 347 и 426 нм, а **3** – один максимум на 425 нм. Наличие двух максимумов объясняется межмолекулярной енолизацией кетона **4** в возбужденном состоянии, что подтверждает

данные квантово-химического моделирования [77].

1.5. ОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ С ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ И МАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Органические и металлоорганические соединения все больше завоевывают популярность в разработке новых «мягких» источников тока [78–80], которые бы сочетали высокую мощность с большой плотностью энергии с заданными функциональными возможностями. Приглашенный докладчик д.х.н. **Левин Олег Владиславович** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) в докладе сформулировал принципы создания проводящих функциональных материалов на основе полимеров, содержащих органические редокс-активные заместители в качестве высокоемких групп, а также показал варианты использования таких соединений в качестве компонентов накопителей энергии [81, 82]. Важным преимуществом таких материалов перед неорганическими является высокая ионная проводимость, гибкость, эластичность и низкая стоимость исходных компонентов.

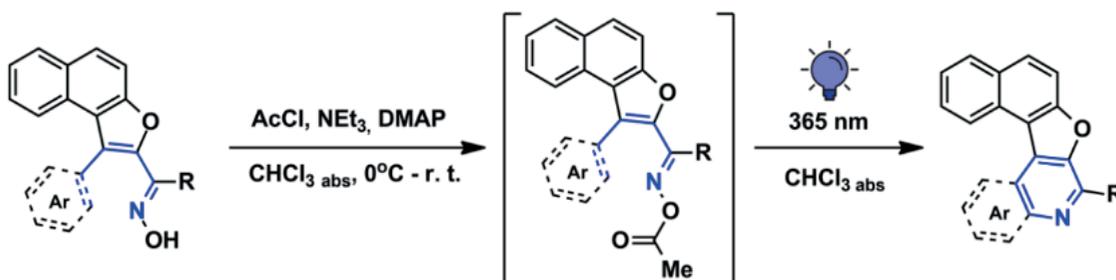


Рис. 18. Фотоиндуцируемый синтез нафтофуорохинолинов из ацилоксимов

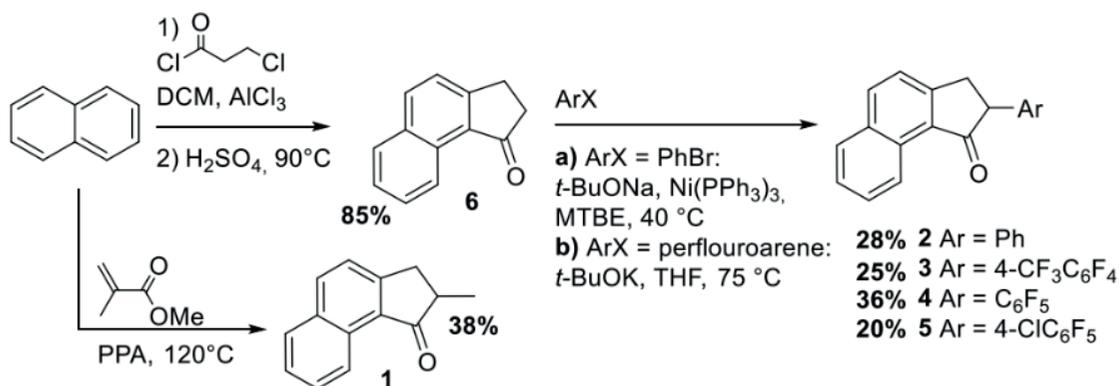


Рис. 19. Фотоиндуцируемый синтез нафтофуорохинолинов из ацилоксимов

Приглашенный докладчик д.х.н. **Сабиров Денис Шамилович** (Институт нефтехимии и катализа Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Уфа) представил результаты работы своей научной группы, ориентированной на материаловедческие приложения фуллеренов и подробно описал их перспективность для создания органических солнечных батарей [83]; ингибиторов процессов радикально-цепного окисления органических субстратов; молекулярных переключателей; наноразмерных клеток Фарадея [84]; органокатализаторов и дезактиваторов электронно-возбужденных состояний. В докладе также подняты проблемы вычислительной химии, связанные с изучением полиаддуктов фуллеренов [85, 86], обсуждены особенности их строения, поляризуемости и реакционная способности [87].

Додонов Владимир Алексеевич, к.х.н. (Институт металлорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, Нижний Новгород) сделал доклад о применении кооперативного бисамидного лиганда dpp-bian {1,2-бис[(2,6-диизопропилфенил)имино]аценафтен} в химии низковалентных элементов главных групп [88–90]. Кооперативные лиганды способны участвовать в химических реакциях наравне с координационным центром, поэтому комплексами с низковалентными центрами возможно регулирование способности активировать малые молекулы и связей элемент-углерод и управление оптическими и магнитными свойствами веществами.

Финогенов Даниил Николаевич (Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново) и **Чуфарин Алексей**

Евгеньевич (Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново) доложили о синтезе и исследовании фотофизических, окислительно-восстановительных и кислотно-основных свойств комплексов периферически хлорированного фталоцианина и тетрапиразинопорфиразина с элементами 13 группы [91–93]. Соединения представляют интерес в качестве материалов с *n*-типом проводимости.

Степарук Александр Сергеевич (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург) представил новые фотосенсибилизаторы для солнечных элементов. Основу красителей составляют тиено[3,2-*b*]индолы в качестве электронодонорной части и цианоакриловая кислота в качестве акцепторной; обе части соединены друг с другом олиготиофеновым π -проводящим мостиком (рис. 20) [94].

Стрельникова Юлия Владимировна (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казанский федеральный университет, Казань) представила новые макроциклические лиганды «саленового» типа (рис. 21) на основе диминных производных (тиа)каликс[4]аренов для получения комплексов с катионами Ni(II), Co(II/III) и Pd(II) и последующего потенциального применения в качестве молекулярных магнетиков и спин-кроссоверов [95].

Шутилов Илья Денисович (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, ФИЦ Казанский научный центр РАН, Казанский федеральный университет, Казань) в стендовых докладах описал синтез новых биядерных ком-

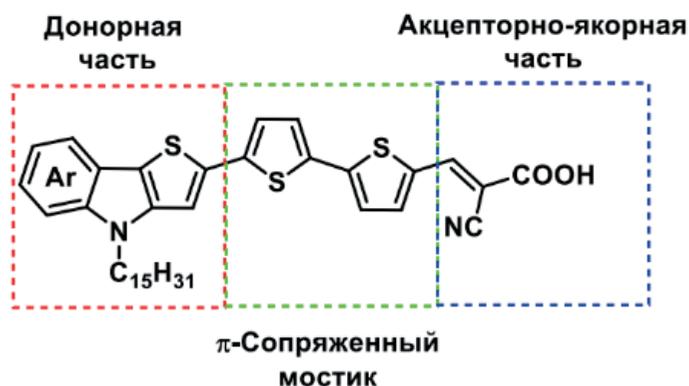


Рис. 20. Структура фотосенсибилизатора с тиено[3,2-*b*]индоловым фрагментом и фрагментом из цианоакриловой кислоты

плексов Mn(III) с полидентатными лигандами на основе тиакалис[4]аренов (рис. 22), а также комплексов Zn(II) с каликс[4]ареном, функционализированным (4-карбоксо)фенильными группами, которые могут использоваться как молекулярные магнетики [96]

1.6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕКОВАЛЕНТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Современная химия, как и вся наука, становится все более и более междисциплинарной. Исследования на стыке нескольких областей обладают синергетическим эффектом, поэтому, как правило, все прикладные работы имеют мультидисциплинарный характер. Изучение нековалентных взаимодействий относится к одному из наиболее активно развивающихся мультидисциплинарных направлений. Комплекс современных ме-

тодов исследования, включая экспериментальные методы и квантово-химические расчёты, позволил выявить и детально изучить различные типы нековалентных взаимодействий, роль многих из которых еще недавно не учитывалась в определении свойств соединений и материалов. К числу нековалентных взаимодействий относятся, в частности, водородные, галогенные, халькогенные и пниктогенные связи, ван-дер-ваальсовы взаимодействия, π-π-взаимодействия и т.п. Нековалентные взаимодействия имеют существенно меньшую энергию по сравнению с обычными ковалентными связями, однако, их роль в понимании современной химии велика. Низкая энергетика в сочетании с высокой направленностью и разнообразной природой нековалентных взаимодействий неклассического типа определяет значимость этих взаимодействий в фундаментальной и прикладной химии.

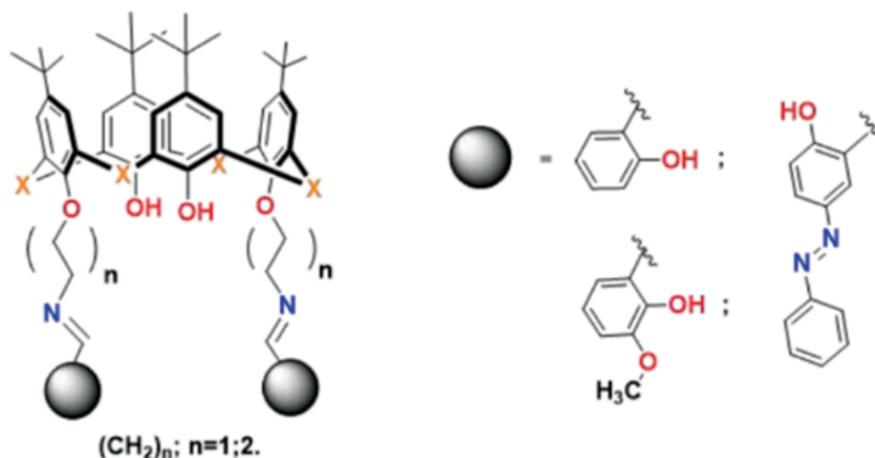


Рис. 21. Структура лиганда «саленового» типа

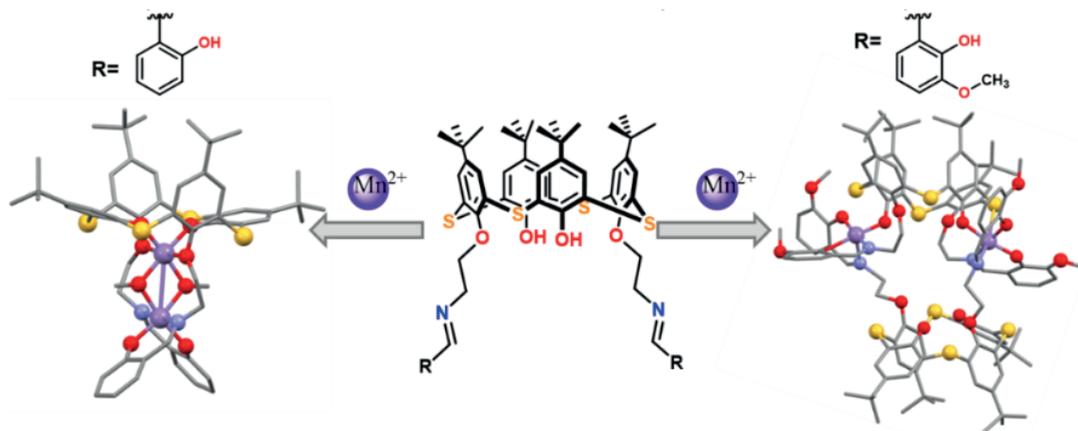


Рис. 22. Структура комплексов Mn с тиакаликс[4]аренами

Лекция пленарного докладчика профессора **Джузеппе Реснати** (Миланский технический университет, Милан, Италия) посвящена конструированию органических и элементоорганических соединений тетраэдрической формы, способных к участию в «σ-дырочных» нековалентных взаимодействиях, характерных для элементов 6–18 групп Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева (галогенная связь, халькогенная связь, пниктогенная связь и т.п.) [97–100].

Приглашенный докладчик профессор РАН, д.х.н. **Бокач Надежда Арсеньевна** (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) прочитала лекцию о супрамолекулярных кристаллических структурах на основе комплексов d^8 металлов с дитиокарбаматными и дитиокарбонатными лигандами, способных к проявлению как электронодонорных, так и акцепторных свойств в нековалентном связывании [101–103]. На примере систем из дитиокарбаматов переходных металлов и донора галогенной связи 1,3,5-трифторбензола показана возможность получения изоструктурной серии сокристаллизатов с четырехкратной заменой Cu/Ni/Pd/Pt, в структурах которых идентифицированы металлосодержащие контакты с галогенной связью C–I \cdots M (Ni, Pd, Pt) и семикоординационные M \cdots I–C (Cu). Направленность взаимодействий I(σ-дырка) $\cdots d_z^2 M^II$ или $M^II \cdots I$ (электронный пояс) зависит от природы металлоцентра: при переходе от электрофильного Cu^{II} к значительно более нуклеофильным центрам Ni^{II} , Pd^{II} и Pt^{II} наблюдается пере-

ключение типа нековалентного связывания иода – через электронный пояс к σ-дырочному и, соответственно, переход от семикоординации к галогеновому связыванию. Присутствие неподеленных пар на атомах серы лигандов $Et_2NCS_2^-$ приводит к образованию дополнительных контактов с электронодефицитными фтораренами и ядро $\{d_z^2-MS_4\}$ проявляет себя как интегрированный акцептор в отношении π-дырочных доноров с образованием обращенных сэндвичевых структур.

Стабильность супрамолекулярных ансамблей, построенных за счет формирования межмолекулярной галогенной связи, определяется ее прочностью, поэтому не все галогенсодержащие соединения пригодны для создания самоорганизующихся многокомпонентных систем. **Байков Сергей Валентинович**, к.х.н. (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) представил доклад о способе управления прочностью X \cdots N галогенных связей за счет изменения поляризации атомов галогенов, вызванной варьированием ковалентно-связанных с ним заместителей, координации галогенсодержащих соединений к металлоцентрам или с помощью дополнительных нековалентных взаимодействий иного типа [104].

Разработка стратегий направленной самосборки под действием межмолекулярных галогенных связей важная задача в контексте получения материалов с заранее заданными свойствами. **Рожков Антон Викторович**, к.х.н. (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) доложил об аддуктах комплексов платины(II) с

перфторароматическими производными ртути, образующихся за счет $\text{Hg}\cdots\text{Pt}$ и $\text{Hg}\cdots\text{C}$ нековалентных взаимодействий (рис. 23). Формирование таких гетерометаллически аддуктов сопровождается увеличением квантового выхода люминесценции до 6 раз.

Смирнов Андрей Сергеевич, к.х.н. (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) исследовал зависимость супрамолекулярной организации аддуктов 1,4-диизоцианобензолов и иодфторбензолов, построенных за счет галогенной связи $\text{I}\cdots\text{C}$, от строения используемого иодфторбензола, выступающего в качестве донора нековалентного взаимодействия. В большинстве случаев супрамолекулярные структуры представлены 1D цепями, построенными за счет галогенной связи $\text{I}\cdots\text{C}$. Однако в случае тетрафункционального донора тетраиодэтилена, происходит формирование более сложных пространственных структур также образованных за счет галогенных связей $\text{I}\cdots\text{C}$ [105].

Халькогенадиазолы применяются для получения анион-радикальных солей, комплексов с переносом заряда и в органической электронике в роли полисопряженных полупроводниковых материалов. **Семенов Николай Андреевич**, к.х.н., (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения РАН, Новосибирск) продемонстрировал образование супрамолекулярных аддуктов производных 1,2,5-халькогенадиазолов с основаниями Льюиса под действием халькогенной связи $\text{Se}\cdots\text{X}$ [106]. Устойчивость аддуктов и энергия переноса заряда зависят от природы гетероцикла и основания Льюиса, что может быть использовано в дизайне анионных оптических сенсоров.

Исследование нековалентных взаимодействий с помощью расчетных методов является важной задачей для моделирования супрамолекулярных ансамблей с прикладными свойствами. **Иванов Даниил Михайлович**, к.х.н. (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия) сделал доклад о применимости квантово-химических расчётов σ -дырочных взаимодействий (тетрельные, пниктогенные, халькогенные и галогенные связи) на основе кластерных моделей (Gaussian), моделей кристаллов

с периодическими граничными условиями (CP2K) в сравнении с данными высокоточного РСА [107]. Хорошая сходимость экспериментальных и теоретических значений наблюдается при низких величинах электронной плотности, однако в остальных случаях, вероятно, происходит систематическая недооценка расчётных величин по сравнению с экспериментальными [108–110]. Также обсуждена возможность использования различных компьютерных инструментов, таких как сечение одноэлектронного потенциала (ОЕП), функция локализации электронов (ELF) и разницы электронной плотности (EDD), для определения роли участников нековалентных взаимодействий [108–112].

Семенов Артем Валерьевич (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) доложил о новых «молекулярных контейнерах», размеры внутренних полостей которых позволяют удерживать молекулы гексана, 1,4-дихлорэтана и 1,4-дибормэтана. В основе новых материалов – *цис*-изомер 6-[3-(3,4-дихлорфенил)-1,2,4-оксадиазол-5-ил]циклогекс-3-ен-1-карбоновой кислоты – молекулы при кристаллизации формируют галогенные связи $\text{Cl}\cdots\text{O}$, водородные связи с участием карбоксильных групп и $\pi\cdots\pi$ взаимодействия между ароматическими кольцами, что в конечном счете образует пористую структуру.

Жмыхова Маргарита Владимировна (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург) представила подход к получению новых перфторароматических производных серы, селена и теллура (рис. 24). Соединения могут выступать донорами халькогенных взаимодействий, что подтверждено получением их аддуктов с производными бипиридина, фенантролина и уротропина [113].

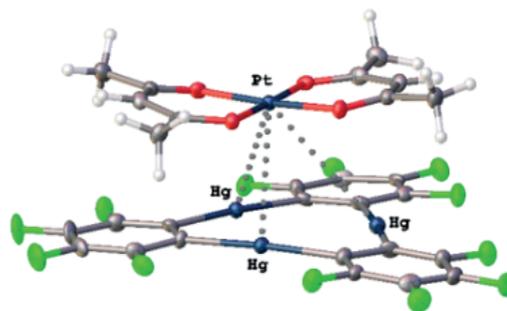


Рис. 23. Структура аддукта $\text{Pt}(\text{acac})_2 \cdot (\text{HgC}_6\text{F}_4)_3$ в кристалле

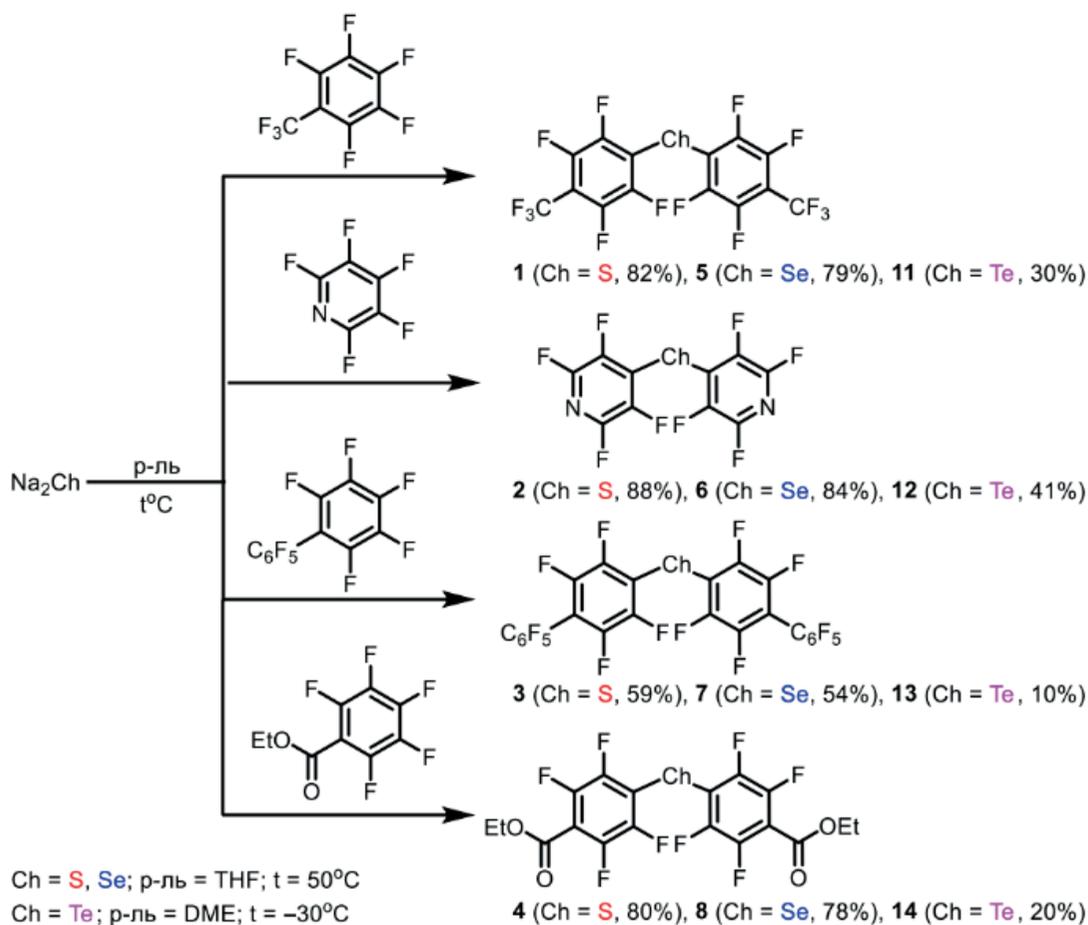


Рис. 24. Схема синтеза перфторароматических производных серы, селена и теллура

Подводя итоги семинара «Новые органические функциональные материалы», в очередной раз следует констатировать высокий научный уровень представленного материала. Выбранные оргкомитетом темы пленарных и приглашенных лекций, а также тематики устных и стендовых докладов, хорошо отражают основные тенденции развития органического материаловедения. Участники Семинара, как и все участники конференции «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии» были открыты для взаимного обмена информацией и сотрудничества. Очевидно, что подобные научные мероприятия способствуют развитию науки и особенно актуальны сегодня, во время беспрецедентных исторических вызовов и открывшегося окна возможностей для нашей страны.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Все изображения, использованные в данном обзоре, заимствованы с адаптацией из сборника

тезисов докладов конференции «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии» [114].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кашина Мария Владимировна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3063-3074>

Кинжалов Михаил Андреевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5055-1212>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shi Y.-L., Wang X.-D. *Adv. Funct. Mater.* **2021**, *31*, 2008149. doi 10.1002/adfm.202008149
2. Yang M., Mo C., Fang L., Li J., Yuan Z., Chen Z., Jiang Q., Chen X., Yu D. *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 2000516. doi 10.1002/adfm.202000516

3. Chen C., Chi Z., Chong K.C., Batsanov A.S., Yang Z., Mao Z., Yang Z., Liu B. *Nat. Mater.* **2021**, *20*, 175–180. doi 10.1038/s41563-020-0797-2
4. Lu X.F., Fang Y., Luan D., Lou X.W.D. *Nano Lett.* **2021**, *21*, 1555–1565. doi 10.1021/acs.nanolett.0c04898
5. Lonappan L., Liu Y., Rouissi T., Brar S.K., Surampalli R.Y. *J. Clean. Prod.* **2020**, *244*, 118841. doi 10.1016/j.jclepro.2019.118841
6. Zhang Q., Jin T., Ye X., Geng D., Chen W., Hu W. *Adv. Funct. Mater.* **2021**, *31*, 2106151. doi 10.1002/adfm.202106151
7. Yin X., Sarkar S., Shi S., Huang Q.-A., Zhao H., Yan L., Zhao Y., Zhang J. *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1908445. doi 10.1002/adfm.201908445
8. Little M.A., Cooper A.I. *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1909842. doi 10.1002/adfm.201909842
9. Thomas A. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 8328–8344. doi 10.1002/anie.201000167
10. Shu J.-C., Cao W.-Q., Cao M.-S. *Adv. Funct. Mater.* **2021**, *31*, 2100470. doi 10.1002/adfm.202100470
11. Huang Q., Chen J., Liu M., Huang H., Zhang X., Wei Y. *Chem. Eng. J.* **2020**, *387*, 124019. doi 10.1016/j.cej.2020.124019
12. Han B., Wang H., Wang C., Wu H., Zhou W., Chen B., Jiang J. *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, *141*, 8737–8740. doi 10.1021/jacs.9b03766
13. Sun Q., Tang Y., Aguila B., Wang S., Xiao F.-S., Thallapally P.K., Al-Enizi A.M., Nafady A., Ma S. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, *58*, 8670–8675. doi 10.1002/anie.201900029
14. Kuchkaev A.M., Kuchkaev A.M., Khayarov K.R., Zueva E.M., Dobrynin A.B., Islamov D.R., Yakhvarov D.G. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202210973. doi 10.1002/anie.202210973
15. Kuchkaev A.M., Kuchkaev A.M., Sukhov A.V., Saparina S.V., Gnezdilov O.I., Klimovitskii A.E., Ziganshina S.A., Nizameev I.R., Vakhitov I.R., Dobrynin A.B., Stoikov D.I., Evtugyn G.A., Sinyashin O.G., Kang X., Yakhvarov D.G. *Nanomater.* **2023**, *13*, 826. doi 10.3390/nano13050826
16. Kuchkaev A.M., Kuchkaev A.M., Sukhov A.V., Saparina S.V., Gnezdilov O.I., Klimovitskii A.E., Ziganshina S.A., Nizameev I.R., Asanov I.P., Brylev K.A., Sinyashin O.G., Yakhvarov D.G. *Int. J. Mol. Sci.* **2023**, *24*, 3095. doi 10.3390/ijms24043095
17. Островский В.А., Трифонов Р.Е., Попова Е.А. *Изв. АН. Сер. хим.* **2012**, *4*, 765–777. [Ostrovskii V.A., Trifonov R.E., Popova E.A. *Russ. Chem. Bull.* **2012**, *61*, 768–780.] doi 10.1007/s11172-012-0108-4
18. Попова Е.А., Трифонов Р.Е., Островский В.А. *Усп. хим.* **2019**, *88*, 644. [Popova E.A., Trifonov R.E., Ostrovskii V.A. *Russ. Chem. Rev.* **2019**, *88*, 644.] doi 10.1070/RCR4864
19. Трифонов Р.Е., Островский В.А. *ЖОрХ.* **2006**, *42*, 1585–1605. [Trifonov R.E., Ostrovskii V.A. *Russ. J. Org. Chem.* **2006**, *42*, 1585–1605.] doi 10.1134/S1070428006110017
20. Khranchikhin A.V., Skryl'nikova M.A., Esaulkova I.L., Sinigubova E.O., Zarubaev V.V., Gureev M.A., Puzyk A.M., Ostrovskii V.A. *Molecules* **2022**, *27*, 7940. doi 10.3390/molecules27227940
21. Хлебцов Н.Г., Дыкман Л.А., Хлебцов Б.Н. *Усп. хим.* **2022**, *91*, RCR5058. [Khlebtsov N.G., Dykman L.A., Khlebtsov B.N. *Russ. Chem. Rev.* **2022**, *91*, RCR5058.] doi 10.57634/RCR5058
22. Guselnikova O., Audran G., Joly J.-P., Trelin A., Tretyakov E.V., Svorcik V., Lyutakov O., Marque S.R.A., Postnikov P. *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 4154–4161. doi 10.1039/D0SC06470J
23. Guselnikova O., Marque S.R.A., Tretyakov E.V., Mares D., Jerabek V., Audran G., Joly J.-P., Trusova M., Svorcik V., Lyutakov O., Postnikov P. *J. Mater. Chem. A.* **2019**, *7*, 12414–12419. doi 10.1039/C9TA01630A
24. Guselnikova O., Postnikov P., Chehimi M.M., Kalachyovaa Y., Svorcik V., Lyutakov O. *Langmuir.* **2019**, *35*, 2023–2032. doi 10.1021/acs.langmuir.8b03041
25. Guselnikova O., Trelin A., Miliutina E., Elashnikov R., Sajdl P., Postnikov P., Kolska Z., Svorcik V., Lyutakov O. *ACS Appl. Mater. Interfaces.* **2020**, *12*, 28110–28119. doi 10.1021/acsami.0c04029
26. Bainova P., Joly J.-P., Urbanova M., Votkina D., Erzina M., Vokata B., Trelin A., Fitl P., Audran G., Vanthuyne N., Vinklerek J., Svorcik V., Postnikov P., Marque S.R.A., Lyutakov O. *ACS Catal.* **2023**, *13*, 12859–12867. doi 10.1021/acscatal.3c02958
27. Votkina D., Petunin P., Miliutina E., Trelin A., Lyutakov O., Svorcik V., Audran G., Havot J., Valiev R., Valiulina L.I., Joly J.-P., Yamauchi Y., Mekkath J.H., Henzie J., Guselnikova O., Marque S.R.A., Postnikov P. *ACS Catal.* **2023**, *13*, 2822–2833. doi 10.1021/acscatal.2c04685
28. Fershtat L.L., Makhova N.N. *ChemPlusChem.* **2020**, *85*, 13–42. doi 10.1002/cplu.201900542
29. Zlotin S.G., Churakov A.M., Egorov M.P., Fershtat L.L., Klenov M.S., Kuchurov I.V., Makhova N.N., Smirnov G.A., Tomilov Y.V., Tartakovskiy V.A. *Mendeleev Commun.* **2021**, *31*, 731–749. doi 10.1016/j.mencom.2021.11.001

30. Larin A.A., Fershtat L.L. *Mendeleev Commun.* **2022**, 32, 703–713. doi 10.1016/j.mencom.2022.11.001
31. Radzhabov A.D., Soldatova N.S., Ivanov D.M., Yusubov M.S., Kukushkin V.Y., Postnikov P.S. *Org. Biomol. Chem.* **2023**, 21, 6743–6749. doi 10.1039/D3OB00833A
32. Belikov M.Y., Milovidova A.G., Ievlev M.Y. *New J. Chem.* **2022**, 46, 7845–7849. doi 10.1039/D2NJ01131J
33. Belikov M.Y., Milovidova A.G., Ievlev M.Y. *New J. Chem.* **2022**, 46, 11030–11034. doi 10.1039/D2NJ01658C
34. Sadykova Y.M., Zalaltdinova A.V., Smailov A.K., Trofimova L.M., Voronina J.K., Burirov A.R., Pudovik M.A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2020**, 56, 1605–1610. doi 10.1007/s10593-020-02856-5
35. Zalaltdinova A.V., Sadykova Y.M., Smailov A.K., Trofimova L.M., Burirov A.R., Pudovik M.A. *Phosphorus Sulfur Silicon Relat. Elem.* **2022**, 197, 549–550. doi 10.1080/10426507.2021.2008926
36. Volgin I.V., Batyr P.A., Matseevich A.V., Dobrovskiy A.Y., Andreeva M.V., Nazarychev V.M., Larin S.V., Goikhman M.Y., Vizilter Y.V., Askadskii A.A., Lyulin S.V. *ACS Omega.* **2022**, 7, 43678–43691. doi 10.1021/acsomega.2c04649
37. Wang X., Wilson T.J., Alentiev D., Gringolts M., Finkelshtein E., Bermeshev M., Long B.K. *Polym. Chem.* **2021**, 12, 2947–2977. doi 10.1039/D1PY00278C
38. Alentiev D.A., Bermeshev M.V. *Polym. Rev.* **2022**, 62, 400–437. doi 10.1080/15583724.2021.1933026
39. Islamova R.M., Dobrynin M.V., Vlasov A.V., Eremina A.A., Kinzhalov M.A., Kolesnikov I.E., Zolotarev A.A., Masloborodova E.A., Luzyanin K.V. *Catal. Sci. Technol.* **2017**, 7, 5843–5846. doi 10.1039/C7CY02013A
40. Neplokh V., Kochetkov F.M., Deriabin K.V., Fedorov V.V., Bolshakov A.D., Eliseev I.E., Mikhailovskii V.Y., Ilatovskii D.A., Krasnikov D.V., Tchernycheva M., Cirilin G.E., Nasibulin A.G., Mukhin I.S., Islamova R.M. *J. Mater. Chem. C.* **2020**, 8, 3764–3772. doi 10.1039/C9TC06239D
41. Miroshnichenko A.S., Neplokh V., Mukhin I.S., Islamova R.M. *Materials* **2022**, 15, 8731. doi 10.3390/ma15248731
42. Goncharova I.K., Novikov R.A., Beletskaya I.P., Arzumanyan A.V. *J. Catal.* **2023**, 418, 70–77. doi 10.1016/j.jcat.2023.01.004
43. Goncharova I.K., Silaeva K.P., Arzumanyan A.V., Anisimov A.A., Milenin S.A., Novikov R.A., Soltyev P.N., Tkachev Y.V., Volodin A.D., Korlyukov A.A., Muzafarov A.M. *J. Am. Chem. Soc.* **2019**, 141, 2143–2151. doi 10.1021/jacs.8b12600
44. Platonov D.N., Kholodkov D.N., Goncharova I.K., Belaya M.A., Tkachev Y.V., Dorovatovskii P.V., Volodin A.D., Korlyukov A.A., Tomilov Y.V., Arzumanyan A.V., Novikov R.A. *Organometallics.* **2021**, 40, 3876–3885. doi 10.1021/acs.organomet.1c00291
45. Kashina M.V., Luzyanin K.V., Katlenok E.A., Novikov A.S., Kinzhalov M.A. *Dalton Trans.* **2022**, 51, 6718–6734. doi 10.1039/D2DT00252C
46. Bermesheva E.V., Wozniak A.I., Andreyanov F.A., Karpov G.O., Nechaev M.S., Asachenko A.F., Topchiy M.A., Melnikova E.K., Nelyubina Y.V., Gribanov P.S., Bermeshev M.V. *ACS Catal.* **2020**, 10, 1663–1678. doi 10.1021/acscatal.9b04686
47. Хрычкова А.П., Меденцева Е.И., Бермешева Е.В., Возняк А.И., Кашина М.В., Кинжалов М.А., Бермешев М.В. *ЖИХ.* **2022**, 95, 1312–1319. [Khrychikova A.P., Medentseva E.I., Bermesheva E.V., Woznyak A.I., Kashina M.V., Kinzhalov M.A., Bermeshev M.V. *Russ J. Appl. Chem.* **2022**, 95, 1603–1610.] doi 10.31857/S0044461822100103
48. Metlyayeva S.A., Rodygin K.S., Lotsman K.A., Samoylenko D.E., Ananikov V.P. *Green Chem.* **2021**, 23, 2487–2495. doi 10.1039/D0GC04170J
49. Kniazeva M.V., Ovsyannikov A.S., Islamov D.R., Samigullina A.I., Gubaidullin A.T., Dorovatovskii P.V., Solovieva S.E., Antipin I.S., Ferlay S. *Eur. J. Inorg. Chem.* **2022**, 2022, e202200464. doi 10.1002/ejic.202200464
50. Khabirova S., Aleshin G., Anokhin E., Shchukina A., Zubenko A., Fedorova O., Averin A., Trusov L., Kalmykov S. *Dalton Trans.* **2023**, 52, 1731–1741. doi 10.1039/D2DT03548K
51. Matazova E.V., Egorova B.V., Zubenko A.D., Pashanova A.V., Mitrofanov A.A., Fedorova O.A., Ermolaev S.V., Vasiliev A.N., Kalmykov S.N. *Inorg. Chem.* **2023**, 62, 12223–12236. doi 10.1021/acs.inorgchem.3c00314
52. Lugovik K.I., Fomin T.O., Minin A.S., Pozdina V.A., Shevyrin V.A., Benassi E., Belskaya N.P. *Dyes Pigm.* **2022**, 200, 110165. doi 10.1016/j.dyepig.2022.110165
53. Muravev A.A., Ovsyannikov A.S., Konorov G.V., Islamov D.R., Usachev K.S., Novikov A.S., Solovieva S.E., Antipin I.S. *Molecules.* **2022**, 27, 5178. doi 10.3390/molecules27165178
54. Arkhipova A.S., Timoshniko V.A., Polyakov N.E., Selyutina O.Y. *Book of Abstracts Proceedings of the 10th International Voevodsky Conference. Dedicated to the 105th anniversary of Academician Vladislav Voevodsky «Physics and Chemistry of Elementary Chemical Processes».* Novosibirsk, **2022**, 50035319.

55. Perevozchikova P.S., Chernikova E.Y., Shepel N.E., Fedorova O.A., Fedorov Y.V. *Spectrochim. Acta A.* **2023**, *286*, 121971. doi 10.1016/j.saa.2022.121971
56. Chernikova E.Y., Berdnikova D.V. *Chem. Commun.* **2020**, *56*, 15360–15376. doi 10.1039/D0CC06583H
57. Kritchenkov I.S., Elistratova A.A., Sokolov V.V., Chelushkin P.S., Shirmanova M.V., Lukina M.M., Dudenkova V.V., Shcheslavskiy V.I., Kalinina S., Reeb K., Rück A., Tunik S.P. *New J. Chem.* **2020**, *44*, 10459–10471. doi 10.1039/D0NJ01405B
58. Starodubtseva R.R., Gibadullina E.M., Pazilova N.B., Sapunova A.S., Voloshina A.D., Sudakov I.A., Vyshatakalyuk A.B., Pudovik M.A., Burirov A.R., Bukharov S.V. *MedChemComm.* **2018**, *9*, 2106–2120. doi 10.1039/C8MD00481A
59. Dubashynskaya N.V., Skorik Y.A. *Pharmaceuticals.* **2020**, *13*, 83. doi 10.3390/ph13050083
60. Utochnikova V.V. *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Ed. J.-C.G. Bünzli, V.K. Pecharsky. North Holland: Elsevier. **2021**, *318*, 1–91. doi 10.1016/bs.hpre.2021.05.001
61. Utochnikova V.V., Aslandukov A.N., Vashchenko A.A., Goloveshkin A.S., Alexandrov A.A., Grzibovskis R., Bünzli J.-C.G. *Dalton Trans.* **2021**, *50*, 12806–12813. doi 10.1039/D1DT02269E
62. Katkova S.A., Kozina D.O., Kisel K.S., Sandzhieva M.A., Tarvanen D., Makarov S., Porsev V.V., Tunik S.P., Kinzhalov M.A. *Dalton Trans.* **2023**, *52*, 4595–4605. doi 10.1039/D3DT00080J
63. Kinzhalov M.A., Grachova E.V., Luzyanin K.V. *Inorg. Chem. Front.* **2022**, *9*, 417–439. doi 10.1039/D1Q101288F
64. Кинжалов М.А., Лузянин К.В. *ЖХХ.* **2022**, *67*, 54–96. [Kinzhalov M.A., Luzyanin K.V. *Russ. J. Inorg. Chem.* **2022**, *67*, 48–90.] doi 10.31857/S0044457X22010068
65. Liu X., Huang D., Lai C., Zhang C., Qin L., Li B., Yi H., Deng R., Liu S., Zhang M., Lei L., Fu Y., Li L. *ACS Appl. Nano Mater.* **2021**, *4*, 6760–6767. doi 10.1021/acsanm.1c00809
66. Timralieva A.A., Moskalenko I.V., Nesterov P.V., Shilovskikh V.V., Novikov A.S., Konstantinova E.A., Kokorin A.I., Skorb E.V. *ACS Omega.* **2023**, *8*, 8276–8284. doi 10.1021/acsomega.2c06510
67. Sorokin S.P., Ievlev M.Y., Ershov O.V. *Dyes Pigm.* **2023**, *219*, 111581. doi 10.1016/j.dyepig.2023.111581
68. Sadchikova E.V., Beliaev N.A., Alexeeva D.L., Safronov N.E., Belskaya N.P. *New J. Chem.* **2022**, *46*, 22171–22184. doi 10.1039/D2NJ04085A
69. Sadchikova E.V., Safronov N.E., Beliaev N.A., Nenajdenko V.G., Belskaya N.P. *Molecules.* **2023**, *28*, 3192. doi 10.3390/molecules28073192
70. Lazovskiy D.A., Skvortsov I.A., Novakova V., Stuzhin P.A. *Dalton Trans.* **2022**, *51*, 5687–5698. doi 10.1039/D2DT00307D
71. Gladkikh A.Y., Kozlov M.I., Vashchenko A.A., Medved'ko A.V., Goloveshkin A.S., Bolshakova A.V., Latipov E.V., Utochnikova V.V. *Dalton Trans.* **2022**, *51*, 16065–16069. doi 10.1039/D2DT02446B
72. Kozlov M.I., Kuznetsov K.M., Goloveshkin A.S., Burlakin A., Sandzhieva M., Makarov S.V., Ilina E., Utochnikova V.V. *Materials.* **2023**, *16*, 959. doi 10.3390/ma16030959
73. Koronotov A.N., Afanaseva K.K., Sakharov P.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Org. Chem. Front.* **2021**, *8*, 1474–1481. doi 10.1039/D0QO01571G
74. Balakhonov R.Y., Mekeda I.S., Shirinian V.Z. *Adv. Synth. Catal.* **2023**, doi 10.1002/adsc.202300833
75. Orlova T., Lancia F., Loussert C., Iamsaard S., Katsolis N., Brasselet E. *Nat. Nanotechnol.* **2018**, *13*, 304–308. doi 10.1038/s41565-017-0059-x
76. van Leeuwen T., Gan J., Kistemaker J.C.M., Pizzolato S.F., Chang M.-C., Feringa B.L. *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 7054–7058. doi 10.1002/chem.201600628
77. Presnukhina S.I., Tarasenko M.V., Geyl K.K., Baykova S.O., Baykov S.V., Shetnev A.A., Boyarskiy V.P. *Molecules.* **2022**, *27*, 7508. doi 10.3390/molecules27217508
78. Nakahara K., Iwasa S., Satoh M., Morioka Y., Iriyama J., Suguro M., Hasegawa E. *Chem. Phys. Lett.* **2002**, *359*, 351–354. doi 10.1016/S0009-2614(02)00705-4
79. Nishide H., Iwasa S., Pu Y.-J., Suga T., Nakahara K., Satoh M. *Electrochim. Acta.* **2004**, *50*, 827–831. doi 10.1016/j.electacta.2004.02.052
80. Xie Y., Zhang K., Yamauchi Y., Oyaizu K., Jia Z. *Mater. Horiz.* **2021**, *8*, 803–829. doi 10.1039/D0MH01391A
81. Chepurnaya I.A., Karushev M.P., Alekseeva E.V., Lukyanov D.A., Levin O.V. *Pure Appl. Chem.* **2020**, *92*, 1239–1258. doi 10.1515/pac-2019-1218
82. Kulikov I., Panjwani N.A., Vereshchagin A.A., Spallek D., Lukianov D.A., Alekseeva E.V., Levin O.V., Behrends J. *Energy Environ. Sci.* **2022**, *15*, 3275–3290. doi 10.1039/D2EE01149B
83. Sabirov D.S. *J. Phys. Chem. C.* **2016**, *120*, 24667–24674. doi 10.1021/acs.jpcc.6b09341
84. Sabirov D.S. *Fuller. Nanotub.* **2020**, *28*, 71–77. doi 10.1080/1536383X.2019.1671369
85. Sabirov D.S., Terentyev A.O., Bulgakov R.G. *J. Phys. Chem. A.* **2015**, *119*, 10697–10705. doi 10.1021/acs.jpca.5b07334

86. Sabirov D.S., Tukhbatullina A.A. *Nanomater.* **2022**, *12*, 4404. doi 10.3390/nano12244404
87. Sabirov D.S. *J. Phys. Chem. C.* **2013**, *117*, 1178–1182. doi 10.1021/jp310673j
88. Dodonov V.A., Kushnerova O.A., Baranov E.V., Novikov A.S., Fedushkin I.L. *Dalton Trans.* **2021**, *50*, 8899–8906. doi 10.1039/D1DT01199E
89. Dodonov V.A., Kushnerova O.A., Romyantsev R.V., Novikov A.S., Osmanov V.K., Fedushkin I.L. *Dalton Trans.* **2022**, *51*, 4113–4121. doi 10.1039/D1DT04366H
90. Dodonov V.A., Makarov V.M., Zemnyukova M.N., Razborov D.A., Baranov E.V., Bogomyakov A.S., Ovcharenko V.I., Fedushkin I.L. *Organometallics.* **2023**, *42*, 2558. doi 10.1021/acs.organomet.2c00640
91. Skvortsov I.A., Chufarin A.E., Zaitsev M.V., Kirakosyan G.A., Stuzhin P.A. *Asian J. Org. Chem.* **2023**, e202300425. doi 10.1002/ajoc.202300425
92. Finogenov D.N., Lazovskiy D.A., Kopylova A.S., Zhabanov Y.A., Stuzhin P.A. *J. Porphyrins Phthalocyanines.* **2023**, *27*, 12. doi 10.1142/S1088424623501134
93. Ryzhov I.V., Eroshin A.V., Zhabanov Y.A., Finogenov D.N., Stuzhin P.A. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 5379. doi 10.3390/ijms23105379
94. Steparuk A.S., Irgashev R.A., Zhilina E.F., Emets V.V., Grinberg V.A., Krivogina E.V., Belova E.V., Lazarenko P.I., Rusinov G.L., Kozyukhin S.A. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **2022**, *33*, 6307–6317. doi 10.1007/s10854-022-07805-w
95. Akine S. *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* **2012**, *72*, 25–54. doi 10.1007/s10847-011-0026-3
96. Алдошин С.М., Антипин И.С., Овчаренко В.И., Соловьева С.Е., Богомяков А.С., Корчагин Д.В., Шилов Г.В., Юрьева Е.А., Мушенок Ф.Б., Боженко К.В., Утенышев А.Н. *Изв. АН. Сер. хим.* **2013**, *2*, 534–540. [Aldoshin S.M., Antipin I.S., Ovcharenko V.I., Solov'eva S.E., Bogomyakov A.S., Korchagin D.V., Shilov G.V., Yur'eva E.A., Mushenok F.B., Bozhenko K.V., Utenyshev A.N. *Russ. Chem. Bull.* **2013**, *62*, 536–542.] doi 10.1007/s11172-013-0074-5
97. Cavallo G., Metrangolo P., Pilati T., Resnati G., Sansotera M., Terraneo G. *Chem. Soc. Rev.* **2010**, *39*, 3772–3783. doi 10.1039/B926232F
98. Metrangolo P., Resnati G. *Halogen Bonding I: Impact on Materials Chemistry and Life Sciences.* Cham: Springer. **2015**, 280. doi 10.1007/978-3-319-14057-5
99. Scilabra P., Terraneo G., Resnati G. *Acc. Chem. Res.* **2019**, *52*, 1313–1324. doi 10.1021/acs.accounts.9b00037
100. Resnati G., Boldyreva E., Bombicz P., Kawano M. *IUCrJ.* **2015**, *2*, 675–690. doi 10.1107/S2052252515014608
101. Zelenkov L.E., Ivanov D.M., Sadykov E.K., Bokach N.A., Galmés B., Frontera A., Kukushkin V.Y. *Cryst. Growth Des.* **2020**, *20*, 6956–6965. doi 10.1021/acs.cgd.0c00999
102. Zelenkov L.E., Eliseeva A.A., Baykov S.V., Suslonov V.V., Galmés B., Frontera A., Kukushkin V.Y., Ivanov D.M., Bokach N.A. *Inorg. Chem. Front.* **2021**, *8*, 2505–2517. doi 10.1039/D1QI00314C
103. Zelenkov L.E., Eliseeva A.A., Baykov S.V., Ivanov D.M., Sumina A.I., Gomila R.M., Frontera A., Kukushkin V.Y., Bokach N.A. *Inorg. Chem. Front.* **2022**, *9*, 2869–2879. doi 10.1039/D2QI00438K
104. Baykov S.V., Ivanov D.M., Kasatkina S.O., Galmés B., Frontera A., Resnati G., Kukushkin V.Y. *Chem. Eur. J.* **2022**, *28*, e202201869. doi 10.1002/chem.202201869
105. Smirnov A.S., Mikherdov A.S., Rozhkov A.V., Gomila R.M., Frontera A., Kukushkin V.Y., Bokach N.A. *Chem. Asian J.* **2023**, *18*, e202300037. doi 10.1002/asia.202300037
106. Radiush E.A., Pritchina E.A., Chulanova E.A., Dmitriev A.A., Bagryanskaya I.Y., Slawin A.M.Z., Woollins J.D., Gritsan N.P., Zibarev A.V., Semenov N.A. *New J. Chem.* **2022**, *46*, 14490–14501. doi 10.1039/D2NJ02345H
107. Eliseeva A.A., Khazanova M.A., Cheranyova A.M., Aliyarova I.S., Kravchuk R.I., Oganesyanyan E.S., Ryabykh A.V., Maslova O.A., Ivanov D.M., Beznosyuk S.A. *Crystals.* **2023**, *13*, 712. doi 10.3390/cryst13050712
108. Ivanov D.M., Bokach N.A., Yu. Kukushkin V., Frontera A. *Chem. Eur. J.* **2022**, *28*, e202103173. doi 10.1002/chem.202103173
109. Bulatova M., Ivanov D.M., Haukka M. *Cryst. Growth Des.* **2021**, *21*, 974–987. doi 10.1021/acs.cgd.0c01314
110. Rozhkov A.V., Katlenok E.A., Zhmykhova M.V., Ivanov A.Y., Kuznetsov M.L., Bokach N.A., Kukushkin V.Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 15701–15710. doi 10.1021/jacs.1c06498
111. Aliyarova I.S., Tupikina E.Y., Soldatova N.S., Ivanov D.M., Postnikov P.S., Yusubov M., Kukushkin V.Y. *Inorg. Chem.* **2022**, *61*, 15398–15407. doi 10.1021/acs.inorgchem.2c01858
112. Efimenko Z.M., Eliseeva A.A., Ivanov D.M., Galmés B., Frontera A., Bokach N.A., Kukushkin V.Y. *Cryst. Growth Des.* **2021**, *21*, 588–596. doi 10.1021/acs.cgd.0c01408

113. Rozhkov A.V., Zhmykhova M.V., Torubaev Y.V., Katlenok E.A., Kryukov D.M., Kukushkin V.Y. *Cryst. Growth Des.* **2023**, *23*, 2593–2601. doi 10.1021/acs.cgd.2c01454
114. *Всероссийская конференция с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии»*. Санкт-Петербург: ВВМ. **2023**, 233.

Seminar “New Organic Functional Materials”

M. V. Kashina and M. A. Kinzhalov*

St. Petersburg University, Universitetskaya nab., 7/9, St. Petersburg, 199034 Russia

**e-mail: m.kinzhalov@spbu.ru*

Received October 19, 2023; revised October 29, 2023; accepted October 31, 2023

The “New Organic Functional Materials” seminar took place at St. Petersburg University as part of the All-Russian Conference featuring international participation that centered on “Ideas and Legacy of A.E. Favorsky in Organic Chemistry” from July 3–6, 2023. The seminar featured reports on organic materials possessing luminescent, photosensitizing, magnetic, conductive properties, and biological activity. The event also discussed innovative techniques for synthesizing functional organic molecules and their crystallochemical design. The review includes concise annotations of the reports and relevant references to the speakers’ works.

Keywords: organic materials, functional polymers, luminescence, OLED, organic current sources, magnetic materials, bioimaging, drug delivery