

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ**

---

**Отчётные материалы**  
**Научного совета РАН по органической химии**  
**за 2017 год**

**Москва 2018**

<b><u>Оглавление:</u></b>	Стр.
1. Положение о Научном совете РАН по органической химии	3
2. Состав Научного совета РАН по органической химии (утверждён Бюро ОХНМ РАН 27.02.2018 г.)	7
3. Научные достижения по тематике Совета	9
- Достижения в области органической химии	9
- Достижения в области химии элементоорганических соединений	54
- Достижения в области химии супрамолекулярных систем	86
- Достижения в области прикладных исследований	116

**Контактная информация Совета:**

К.х.н. Ольга Николаевна Юдина (ИОХ РАН)

Ученый секретарь Научного совета РАН по органической химии

Email: [orgchem@ioc.ac.ru](mailto:orgchem@ioc.ac.ru)

Факс: +7 499 135 8784

<http://zioc.ru/institute/ras-academic-council-in-organic-chemistry>

## **ПОЛОЖЕНИЕ**

### **о Научном совете РАН по органической химии**

1. Научный совет по органической химии РАН (далее – Совет) является научно-консультативным органом РАН, работающим на общественных началах при Отделении химии и наук о материалах РАН (далее – Отделение) и руководствующимся в своей деятельности законами Российской Федерации, Уставом РАН, постановлениями и распоряжениями Президиума и Отделения РАН и настоящим Положением, разработанным на основе Типового Положения о Научном совете РАН.
2. Общее руководство деятельностью Совета осуществляет Бюро Отделения, которое утверждает Положение о Совете, структуру и состав Совета по представлению председателя Совета. Председатель Совета рекомендуется из числа членов РАН Бюро Отделения и утверждается Президиумом РАН не более чем на два пятилетних срока.
3. Структура Совета включает Бюро Совета и три секции: Секцию органической химии, Секцию элементоорганических соединений и Секцию супрамолекулярных систем. Другие Секции Совета, включая региональные, могут быть созданы по мере необходимости с утверждением Бюро Отделения по представлению председателя Совета.
4. Бюро Совета состоит из председателя, заместителей председателя, ученого секретаря и членов Бюро Совета. На время отсутствия председателя Совета его обязанности и полномочия возлагаются на заместителя председателя Совета.
5. Состав Совета формируется из ведущих ученых и специалистов РАН, других академий, имеющих государственный статус, университетов, вузов и отраслевых научно-исследовательских учреждений, представителей научных и научно-технических обществ, министерств и ведомств, а также ведущих ученых стран СНГ, активно работающих в области органической химии.
6. Обновление состава Совета осуществляется не реже одного раза в пять лет.
7. Для решения кратко- и среднесрочных задач, решением Бюро Совета могут образовываться экспертные группы и комиссии по направлениям работы Совета. Их состав утверждается решением Бюро Совета.
8. Совет может быть расформирован или реорганизован по решению Бюро Отделения.
9. Совет проводит свои сессии по мере необходимости, но не реже одного раза в год. Между сессиями Совета проводятся расширенные заседания Бюро Совета, посвященные актуальным проблемам органической химии.

10. Сессии созываются по решению Бюро Совета или председателя Совета, которые определяют и место проведения сессий Совета, а также заседаний Бюро и расширенного Бюро Совета.
11. Совет правомочен принимать решения по рассматриваемым вопросам, если на заседании присутствует не менее половины его списочного состава. Решения принимаются открытым голосованием за исключением вопросов, связанных с рейтинговыми и профессиональными оценками деятельности организаций науки, ученых и специалистов, участвующих в развитии направления, подведением итогов научных конкурсов. Решение Совета считается принятым, если за него проголосовало более половины членов Совета, участвующих в заседании. Совет может простым большинством голосов принимать решение о проведении тайного голосования по любому вопросу, входящему в компетенцию Совета. Решения Совета носят рекомендательный характер и оформляются в виде постановлений и протоколов. Рекомендации и предложения Совета могут также реализовываться в форме постановлений Бюро Отделения или Президиума РАН.
12. Организационно-техническое обеспечение деятельности Совета и предоставление ему необходимого служебного помещения возлагается на Учреждение Российской академии наук Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН (ИОХ РАН). На основании постановления Бюро Отделения Совету выделяется штатная единица учёного секретаря, финансируемая за счёт средств Отделения. На основании постановления Бюро Отделения или Президиума РАН Совету могут быть выделены необходимые средства для обеспечения его деятельности (сессии, пленарные заседания, конференции и семинары, в том числе с участием зарубежных учёных, издание информационных бюллетеней, участие в выставках и т.д.).
13. Совет выполняет следующие основные функции:
  - Проводит анализ состояния и тенденций развития отечественной и мировой науки в области органической химии; по результатам анализа готовит рекомендации для Отделения или Президиума РАН, а также для заинтересованных органов государственной власти.
  - Разрабатывает задачи и прогнозы основных направлений фундаментальных исследований в области органической химии; составляет координационные планы и научные программы; осуществляет координацию работ по этим направлениям, выполняемым в государственных научных организациях; рассматривает по поручению Бюро Отделения и Президиума РАН состояние материального обеспечения исследований и готовит рекомендации по этим вопросам.
  - Подготавливает предложения по формированию новых академических и федеральных целевых программ научных исследований, включению новых проектов в существующие программы.

- Подготавливает предложения и рекомендации по использованию результатов научных исследований в различных областях государственной и хозяйственной деятельности.
- Вносит рекомендации по наиболее рациональному использованию финансовых и материальных средств, выделяемых для работ по проблемам, относящихся к областям компетенции Совета, а также по эффективному использованию имеющегося уникального экспериментального оборудования и приборов.
- Подготавливает предложения о необходимости создания и закупки уникального экспериментального оборудования и приборов, а также созданию соответствующих центров коллективного пользования указанного оборудования и приборов.
- Принимает участие в подготовке предложений по экспертизе проектов и аттестации научных организаций по запросу Бюро Отделения, Президиума РАН, Минобрнауки РФ, Минпромторговли РФ и других заинтересованных министерств и ведомств.
- Выдвигает работы на соискание Государственных премий РФ, премий Правительства РФ, золотых медалей и премий РАН.
- Участвует в организации и проведении национальных и международных научных конгрессов, семинаров, школ, а также в подготовке и публикации их материалов.
- Способствует подготовке и изданию современных учебников и учебных пособий по органической химии для средних школ и вузов; активно участвует в совершенствовании послевузовского образования (аспирантура, докторантура, переподготовка и повышение квалификации кадров).
- Способствует изданию научной литературы, улучшению информационного обеспечения по органической химии.
- Содействует расширению международного сотрудничества по направлению, пропаганде результатов исследований российских ученых, изучению наследия выдающихся ученых России и популяризации научных достижений.
- Рекомендует кандидатов для направления в научные командировки за границу с целью изучения состояния науки и техники в области органической химии; рассматривает отчеты о командировках, осуществляемых по рекомендации Совета; участвует в разработке планов международных научных связей.
- Вносит предложения в Бюро Отделения и Президиум РАН по кандидатурам главных редакторов журналов.
- Формирует рекомендации об организации диссертационных советов и созданию новых специальностей ВАК по профилю Совета.
- Готовит предложения по поддержке научных школ и молодых талантливых ученых.

14. Для выполнения своих основных функций Совет имеет право:
- Знакомиться с состоянием исследований в научных учреждениях, министерствах и ведомствах, участвующих в разработке проблем, относящихся к областям компетенции Совета.
  - Вносить рекомендации по корректировке приоритетных направлений тематических планов учреждений РАН, выполняющих исследования в областях, относящихся к областям компетенции Совета.
  - Осуществлять необходимые контакты с неакадемическими научными учреждениями с целью координации научных исследований в наиболее актуальных областях органической химии.
15. Совет представляет Бюро Отделения и Президиуму РАН ежегодный отчет о своей деятельности, а также краткий отчет о наиболее важных достижениях российских ученых в области органической химии.
16. Совет имеет свой фирменный бланк и печать.
17. Совет имеет свою интернетную страницу на портале ИОХ РАН для информирования научной общественности о своей деятельности.

Утверждено на заседании  
Бюро ОХНМ РАН 27.02. 2018;  
протокол №2

**Состав  
Научного совета РАН по органической химии**

**Бюро Совета**

1. Академик Егоров М.П. – председатель, руководитель секции
2. Академик Коновалов А.И. – зам.председателя, руководитель секции
3. Академик Синяшин О.Г. – зам. председателя, руководитель секции
4. Чл.-корр. РАН Нифантьев Н.Э. – зам. председателя
5. К.х.н. Юдина О.Н. – ученый секретарь Совета
6. Академик Абакумов Г.А.
7. Академик Алфимов М.В.
8. Академик Белецкая И.П.
9. Академик Бубнов Ю.Н.
10. Академик Минкин В.И.
11. Академик Моисеев И.И.
12. Академик Музафаров А.М.
13. Академик Нефедов О.М.
14. Академик Новаков И.А.
15. Академик Тартаковский В.А.
16. Академик Трофимов Б.А.
17. Академик Чарушин В.Н.
18. Академик Чупахин О.Н.
19. Академик Юнусов М.С.

***Секция органической химии***

1. Академик Егоров М.П. – руководитель Секции
2. Чл.-корр. РАН Анаников В.П.
3. Профессор Багрянская Е.Г.
4. Чл.-корр. РАН Бачурин С.О.
5. Академик Белецкая И.П.
6. Профессор Бредихин А.А.
7. Академик РАН Бухтияров В.И.
8. Чл.-корр. РАН Кучин А.В.
9. Профессор Навроцкий М.Б.
10. Профессор РАН Ненайденко В.Г.
11. Академик Нефедов О.М.
12. Чл.-корр. РАН Никишин Г.И.
13. Чл.-корр. РАН Нифантьев Н.Э.
14. Академик Новаков И.А.
15. Чл.-корр. РАН Русинов В.Л.

16. Профессор Сысолятин С.В.
17. Академик Тартаковский В.А.
18. Чл.-корр. РАН Терентьев А.О.
19. Академик Чарушин В.Н.
20. Академик Чупахин О.Н.
21. Академик Юнусов М.С.

#### *Секция химии элементоорганических соединений*

1. Академик Синяшин О.Г. – руководитель Секции
2. Академик Абакумов Г.А.
3. Академик Бубнов Ю.Н.
4. Профессор Будникова Ю.Г.
5. Чл.-корр. РАН Джемилев У.М.
6. Чл.-корр. РАН Кукушкин В.Ю.
7. Академик Минкин В.И.
8. Чл.-корр. РАН Миронов В.Ф.
9. Академик Моисеев И.И.
10. Академик Музафаров А.М.
11. Чл.-корр. РАН Салоутин В.А.
12. Чл.-корр. РАН Стороженко П.А.
13. Академик Трофимов Б.А.
14. Чл.-корр. РАН Федюшкин И.Л.
15. Чл.-корр. РАН Черкасов В.К.

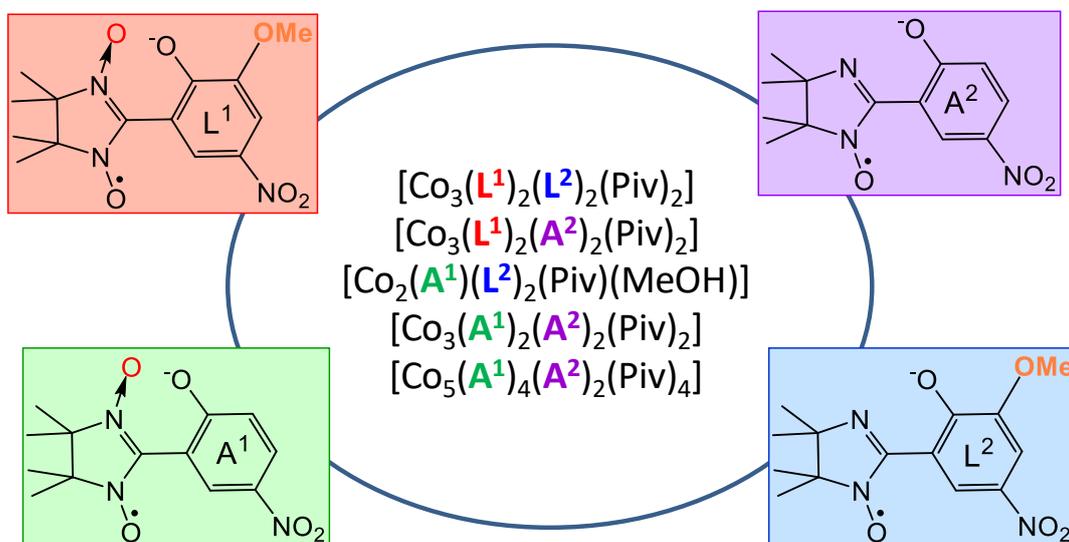
#### *Секция химии супрамолекулярных систем*

1. Академик Коновалов А.И. – руководитель Секции
2. Академик Алфимов М.В.
3. Чл.-корр. РАН Антипин И.С.
4. Профессор Волошин Я.З.
5. Чл.-корр. РАН Горбунова Ю.Г.
6. Чл.-корр. РАН Громов С.П.
7. Академик Еременко И.Л.
8. Чл.-корр. РАН Койфман О.И.
9. Профессор Кустов Л.М.
10. Академик Овчаренко В.И.
11. Академик Русанов А.И.
12. Чл.-корр. РАН Федин В.П.
13. Профессор Федорова О.А.
14. Академик Хохлов А.Р.
15. Академик Цветков Ю.Д.
16. Академик Цивадзе А.Ю.
17. Профессор Чвалун С.Н.

# НАУЧНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ПО ТЕМАТИКЕ СОВЕТА ЗА 2017 год

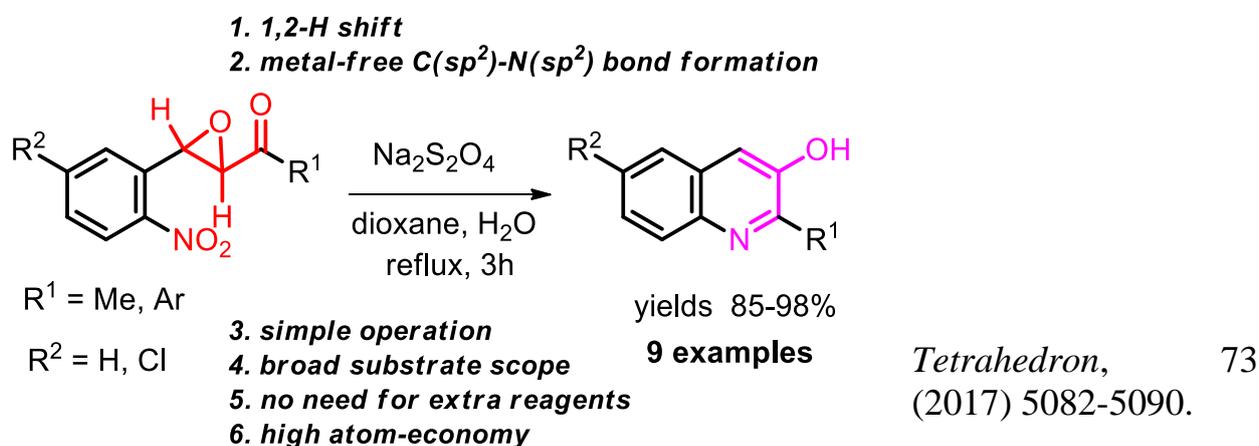
## Достижения в области органической химии

1. Открытая недавно химическая реакция (*Inorg. Chem.*, 53 (2014) 10033–10035; *Crystals*, 5 (2015) 634–649) была положена в основу разработки принципиально нового метода синтеза гетероспиновых соединений, в том числе таких, которые невозможно получить иным способом. Суть метода заключается в одновременном введении в реакцию с переходными металлами нитронилнитроксидов и иминонитроксидов, отличающихся набором заместителей в парамагнитной органической молекуле. Число многоспиновых соединений, которые могут быть синтезированы с использованием предложенного подхода, практически безгранично. На схеме приведены формулы гетероспиновых комплексов, полученных взаимодействием пивалата кобальта со смесями нитронилнитроксильных и иминонитроксильных радикалов одного ряда ( $L^1+L^2$ ,  $A^1+A^2$ ) и разных рядов ( $L^1+A^2$ ,  $A^1+L^2$ ). Руководитель работы – академик В. И. Овчаренко; отв. исп. – к.х.н. О. В. Кузнецова; исп. – Е. Ю. Фурсова, Г. А. Летягин, Г. В. Романенко, А. С. Богомяков (Институт «Международный томографический центр» СО РАН) совместно с Казанским национальным исследовательским технологическим университетом (д.х.н. Е. М. Зуева).

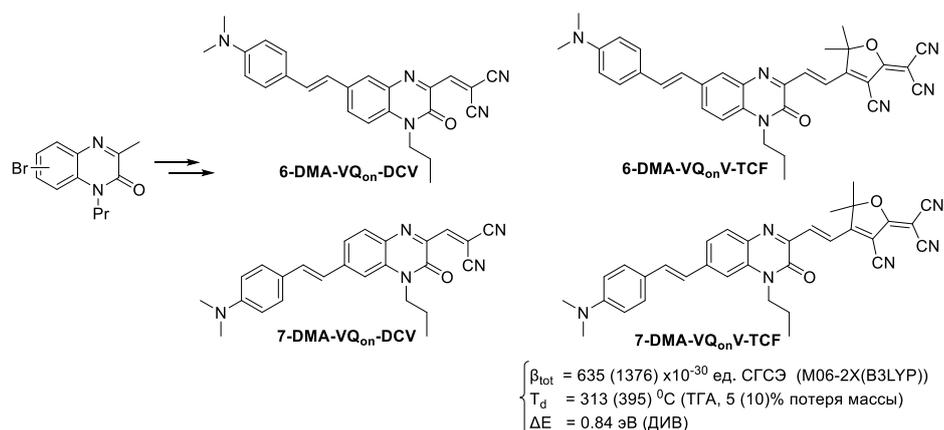


*Inorg. Chem.*, 56 (2017) 14567-14576

2. Разработан новый высокоэффективный метод синтеза представителей фармакологически значимого класса 3-гидроксихинолинов, основанный на использовании эпоксидов о-нитробензальацетофенонов или о-нитробензальацетона. Каскадный метод (см. иллюстрацию ниже) включает перегруппировку Мейнвальда, восстановление дитионитом натрия и реакцию циклоконденсации. Руководитель работы – профессор В.А. Мамедов; исп. – к.х.н. В.Л. Мамедова, к.х.н. В.В. Сякаев, к.х.н. Д.Э. Коршин, Г.З. Хикматова, к.х.н. Е.В. Миронова, к.х.н. О.Б. Базанова, к.х.н. И.Х. Ризванов, д.х.н. Ш.К. Латыпов. (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).

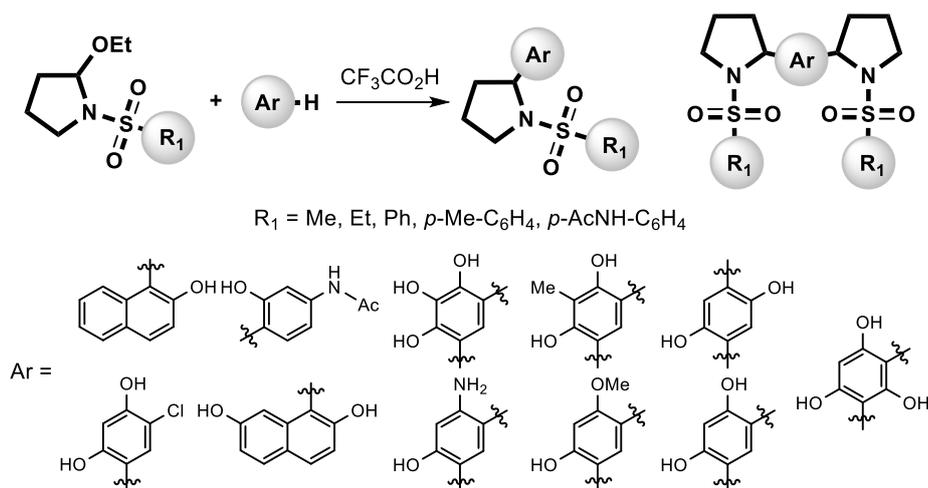


3. Получены первые представители нового класса нелинейно-оптических (НЛО) хромофоров, содержащих (ди)винилхиноксалин-2-оновый сопряженный π-электронный мостик, который соединяет диметиланилиновый донорный и сильные акцепторные фрагменты; среди них выявлено соединение с высокими значениями первой гиперполяризуемости и термической стабильности, превосходящими по величине характеристики лучших литературных хромофоров, что делает его перспективным для создания эффективных НЛО материалов. Руководитель работы – д.х.н. М.Ю. Балакина; отв. исп. – д.х.н. А.А. Калинин; исп. - С.М. Шарипова, А.И. Левицкая, к.х.н. Т.И. Бурганов, к.х.н. Ю.Б. Дудкина, к.х.н. О.Д. Фоминых, д.х.н. А.Р. Хаматгалимов, профессор С.А. Кацюба, д.х.н. Ю.Г. Будникова (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



*Dyes Pigm.*, 146 (2017) 82-91; *Chem. Heterocycl. Compd.*, 53 (2017) 36–38.

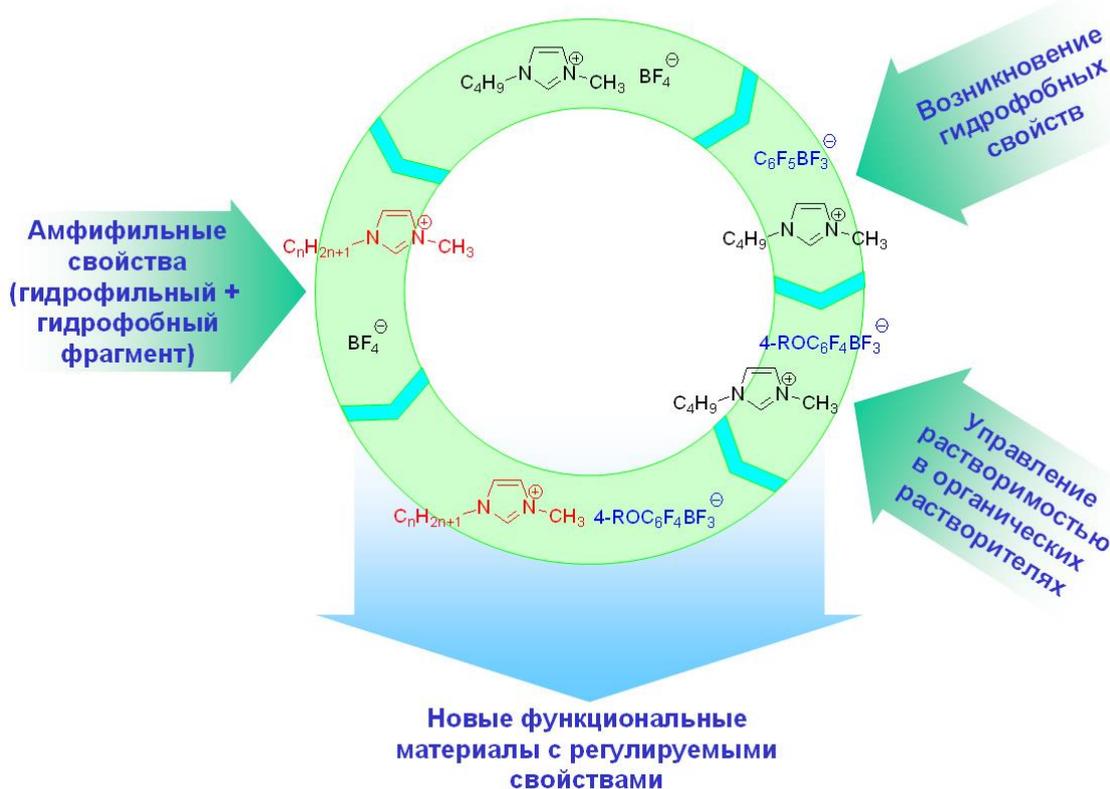
4. Найдена оригинальная реакция, позволяющая легко и с высокими выходами получать широкий круг новых 1-сульфонил-2-гидроксиарилпирролидинов - аналогов лекарственного препарата алмотриптана, используемого для лечения симптомов мигрени. Процесс включает кислотно-катализируемое взаимодействие 2-этокси-1-сульфонилпирролидинов с фенолами, амино(галоген)фенолами, полифенолами, нафтолами (см. иллюстрацию ниже). Руководитель работы – профессор А.Р. Бурилов; исп. – к.х.н. А.В. Смолобочкин, Е.А. Аникина, д.х.н. А.С. Газизов, д.х.н., проф. М.А. Пудовик, к.х.н. Ю.К. Воронина (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



*Chem. Heterocycl. Compd.*, 53 (2017) 161-166; *Russ. J. Org. Chem.*, 53 (2017) 199-202; *Synth. Commun.*, 74 (2017) 44–52.

5. Разработана новая платформа для создания функциональных материалов с регулируемыми свойствами на базе ионных жидкостей с фторированными

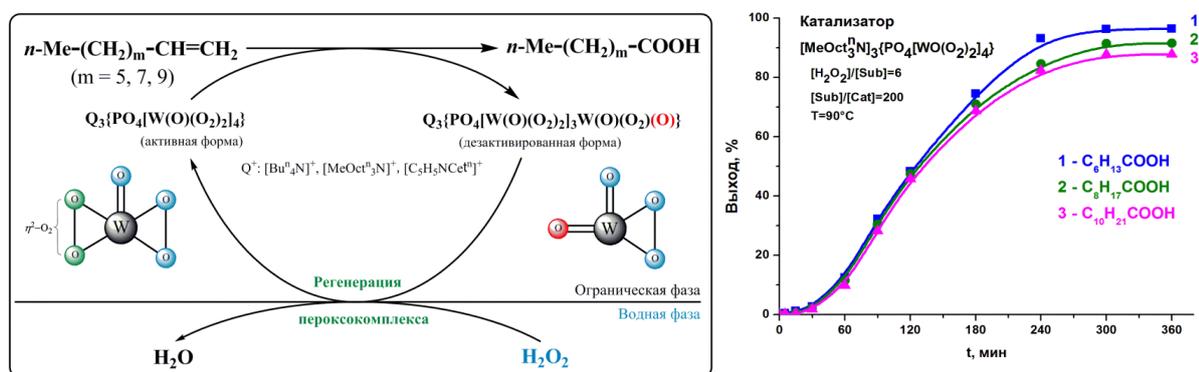
борорганическими анионами. Показано, что введение фторсодержащего ароматического фрагмента усиливает гидрофобные свойства ионных жидкостей, что наряду с их высокой полярностью делает такие соединения перспективными для использования в процессах экстракции и межфазного катализа. Варьирование заместителя в *para*-положении фторароматического фрагмента и структуры катиона позволяет управлять физическими свойствами ионных жидкостей (растворимость в различных средах, вязкость, температуры кристаллизации/стеклования и др.). Руководитель работы – д.х.н. Н.Ю. Адонин; отв. исп. – к.х.н. С.А. Приходько (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН) совместно с Новосибирским институтом органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН (д.х.н. В.В. Бардин).



*RSC Advances*, 7 (2017) 17497-17504

6. Показана целесообразность применения метода межфазного катализа с использованием металлокомплексных катализаторов на основе пероксокомплексов вольфрама для окисления пероксидом водорода органических субстратов, позволяющих осуществлять более глубокую

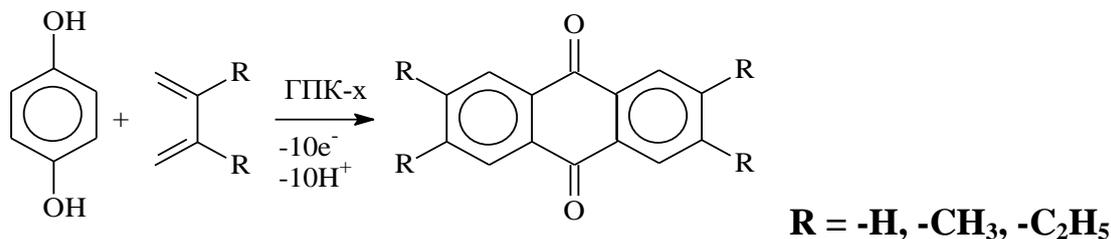
переработку нефтепродуктов. Установлено, что окислением  $\alpha$ -алкенов (дешевых крупнотоннажных продуктов нефтехимии) можно получать монокарбоновые кислоты, имеющие широкое применение в различных отраслях промышленности. Полученные экспериментальные данные позволяют рекомендовать данный путь получения монокарбоновых кислот из  $\alpha$ -алкенов для создания процессов «зеленой химии». Руководитель работ - д.т.н. З.П. Пай; исп. - П.В. Бердникова, Н.В. Селиванова, к.х.н. А.М. Бескопыльный (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).



*Cat. Comm.*, 88 (2017) 45-49; *Катализ в промышленности*, 17 (2017) 455-459.

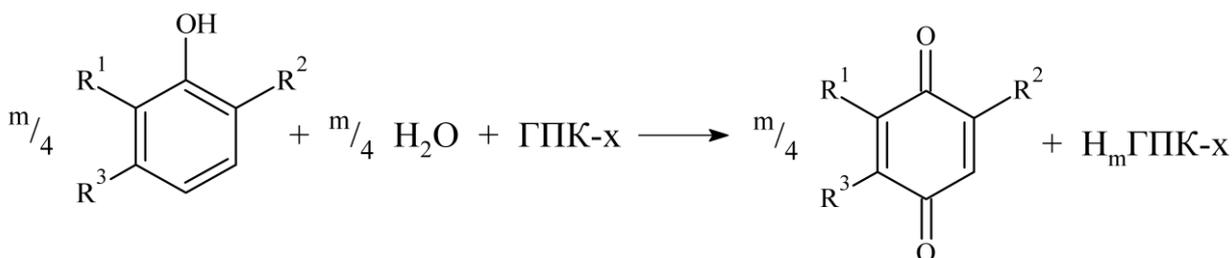
7. Разработан новый подход к синтезу замещенных антрахинонов (АХ), открывающий перспективы создания эффективных одностадийных (one-pot) процессов их получения. В ходе исследования процессов синтеза замещенных антрахинонов (АХ) по реакциям гидрохинона (ГХ) с дизамещенными 1,3-диенами в присутствии водного раствора Мо-V-Р гетерополикислоты (ГПК-х, х – число атомов V) в качестве бифункционального (кислотного и окислительного) катализатора определены оптимальные параметры для 3-х новых процессов получения: 1) незамещенного 9,10-АХ; 2) 2,3,6,7-тетраметил-АХ; 3) 2,3,6,7-тетраэтил-АХ. В оптимальных условиях для синтеза (Т=90 °С, органический растворитель – 1,4-диоксан, соотношение ГПК-х/ГХ=2,7, диен/ГХ=6,6). удастся получить высокий выход (74-80%) целевых продуктов с 90%-ной чистотой. Полученные замещенные АХ могут быть использованы не только при производстве красителей, но и с успехом применяться, в частности, как катализаторы делигнификации древесины. Руководитель работ: д.х.н. Е.Г.

Жижина; отв. исп. - к.т.н. Л.Л. Гогин, к.х.н. Ю.А. Родикова (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).



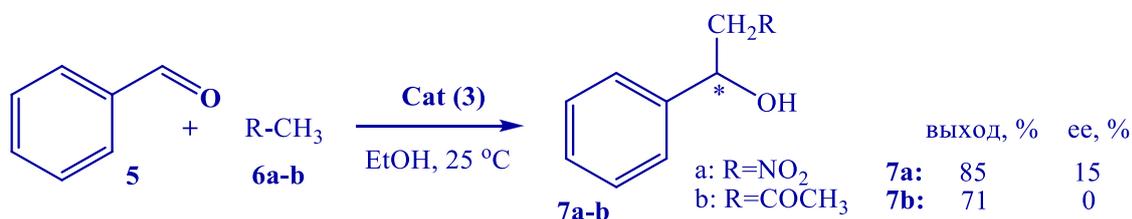
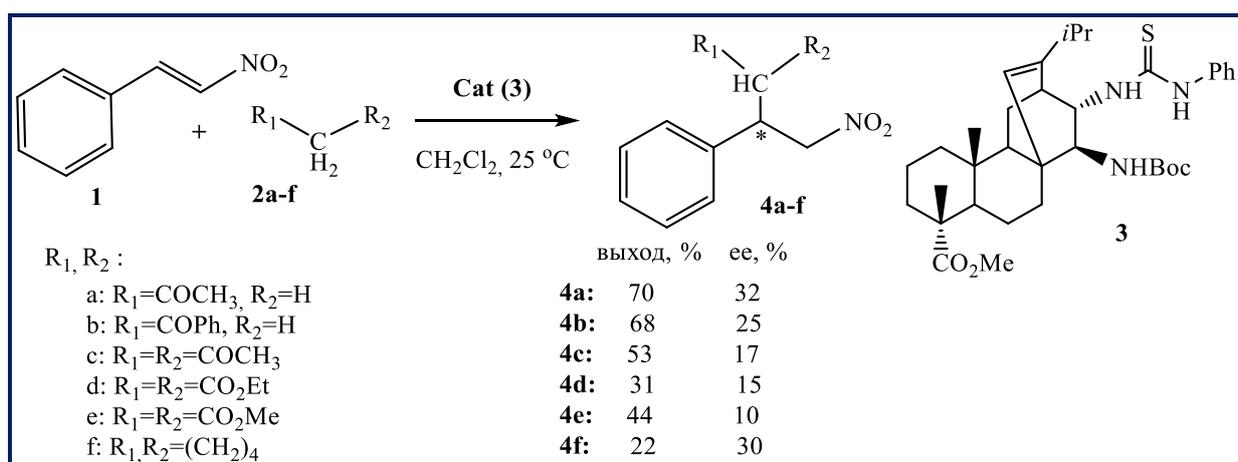
*Международ. научно-исследов. журнал*, 65 (2017) 115-119

8. Исследованы кинетические закономерности реакций жидкофазного окисления 2,6- и 2,3-диметилфенолов в соответствующие 1,4-бензохиноны. Реакции, осуществляющиеся в двухфазных системах (водный раствор ГПК + раствор субстрата и продуктов реакции в органическом растворителе), протекают по показанной ниже схеме. Установлено, что оптимальными условиями для этих реакций являются:  $T = 50-70$  °С, органический растворитель – бензол или трихлорэтилен, инертная атмосфера ( $N_2$ ,  $CO_2$ ), водный раствор высокованадиевой ГПК-х ( $x = 7-10$ ). Найдена положительная корреляция между селективностью (S) образования целевых *para*-хинонов и акцепторными свойствами органических растворителей (акцепторы  $\pi$ -электронов), обладающих высокой поляризуемостью. Единовременное введение субстратов в указанных реакционных условиях позволяет получить целевые 1,4-бензохиноны с  $S > 80\%$  при 100%-ой конверсии исходных фенолов. Руководитель работ: академик В.Н. Пармон; отв. исп. - д.х.н. Е.Г. Жижина, д.т.н. З.П. Пай; исп. - к.х.н. Ю.А. Родикова, к.т.н. Л.Л. Гогин (Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).



*Appl. Catal. A*, 549 (2018) 216-224. *ChemistrySelect*, 2 (2017) 4686-4690.

9. Осуществлен скрининг асимметрических реакций, протекающих в присутствии исследуемых полифункциональных катализаторов и определены превращения с выраженным потенциалом оптимизации. Исследование активности и асимметрической индукции бифункционального хирального органического катализатора **3** было проведено в реакциях Михаэля, нитроальдольной и альдольной конденсаций. Разработаны методы синтеза рацемических смесей продуктов исследуемых реакций - нитрокетонов **4a-f**, нитроальдоля **7a** и альдоля **7b**. Разработаны методы идентификации и анализа продуктов **4a-f** и **7a-b** с применением комплекса физико-химических методов. Обнаружено, что в реакции Михаэля, катализируемой аминоктиомочевинной **3**, в результате взаимодействия модельного субстрата - нитростирола - с различными C-H компонентами **2 a-f** образуются продукты конденсации **4a-f** с выходами 22-78% и оптической чистотой 10-32%.

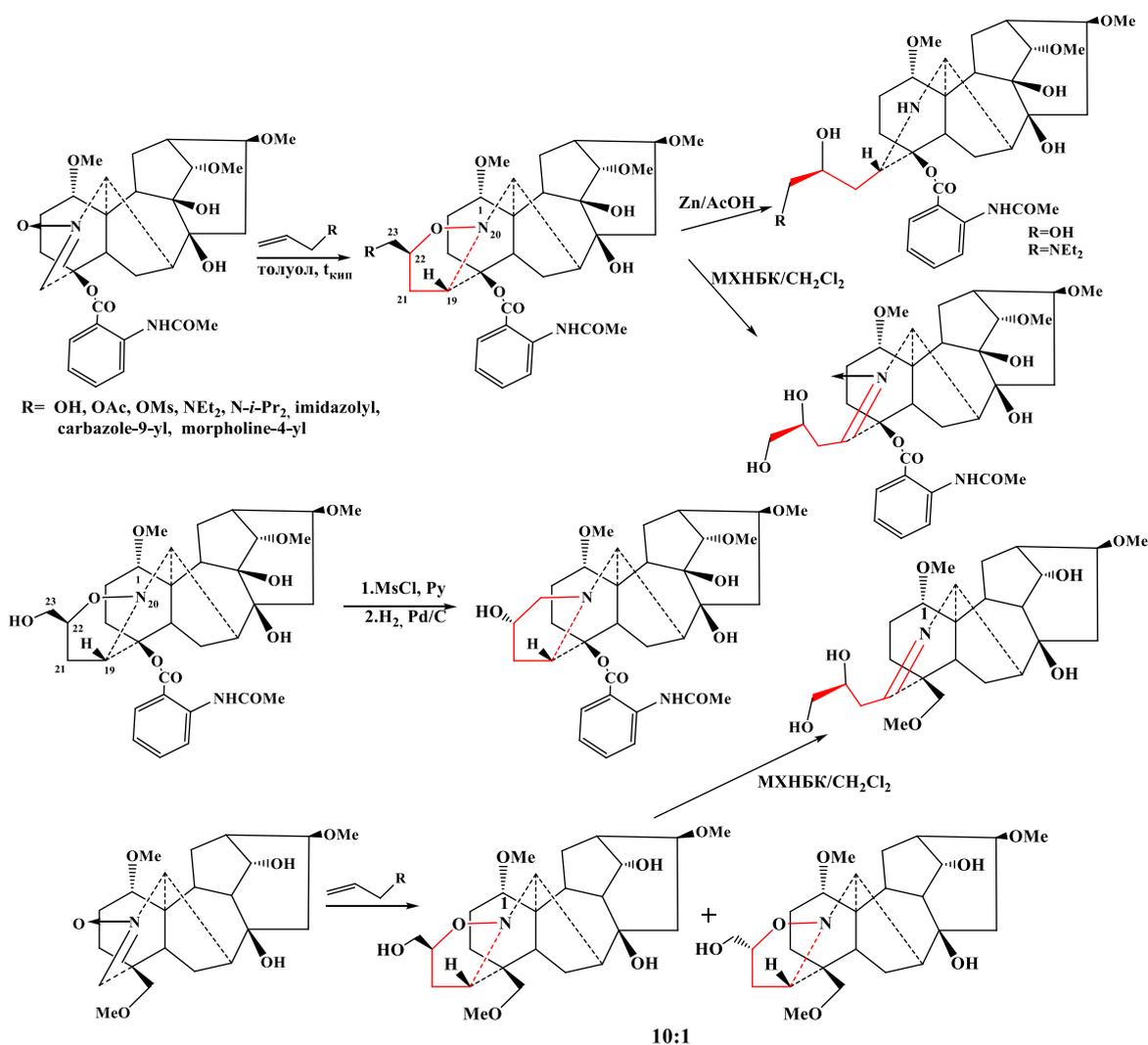


*Tetrahedron*, 74 (2018) 260-267

В конденсациях альдольного типа взаимодействие бензальдегида **5** с нитрометаном **6a** или ацетоном **6b** в условиях катализа аминоктиомочевинной **3** приводит к альдолям **7a-b** с выходами 71-85%, при этом оптическая чистота нитроальдоля **7a** составила 15%, а альдоль **7b** образовался в виде рацемической смеси. Таким образом, для дальнейшей оптимизации

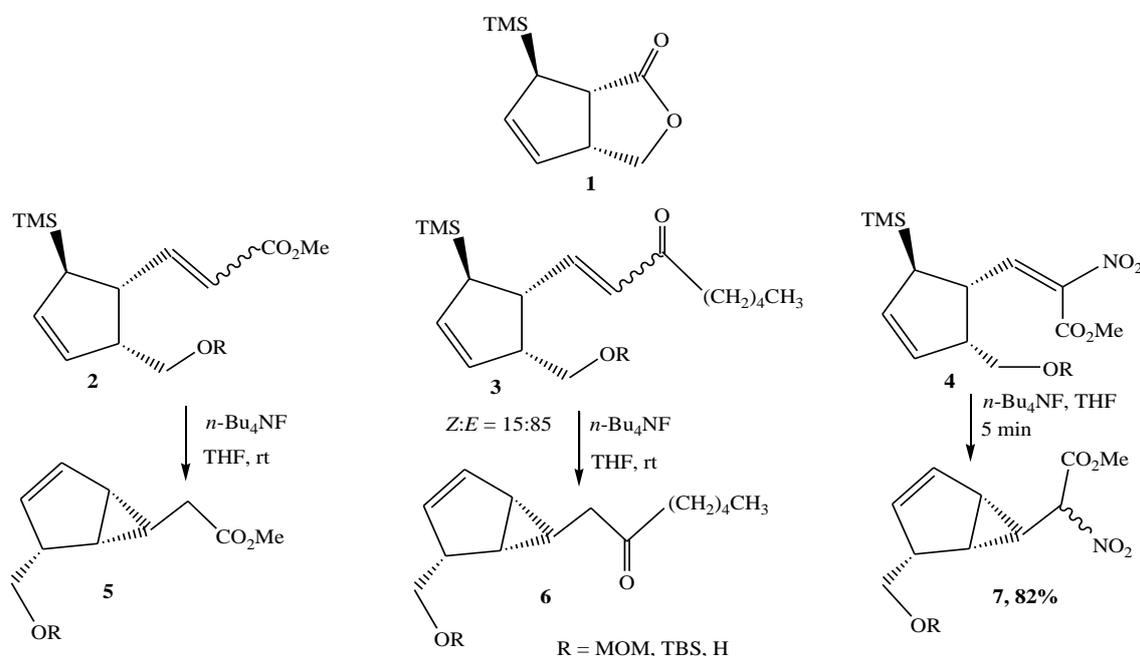
асимметрических реакций в присутствии катализатора **3** определены реакция Михаэля и нитроальдольная конденсация. Руководитель работ - д.т.н. З.П. Пай; отв. исп. - к.х.н. Т.Б. Хлебникова, исп.: к.х.н. Л.В. Малышева, В.Н. Конев (ФГБУН Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).

10. Реакцией 1,3-диполярного циклоприсоединения [3+2] нитронов на основе лапаконитина и талатизамина получены ранее не описанные гибридные структуры, содержащие пирролизидиновый или изоксазолидиновые кольца, аннелированные по связи N-20-C-19 кольца А нордистерпеновых алкалоидов, установлена стереохимия продуктов присоединения, проведено полное отнесение сигналов протонов и углеродов в спектрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  ЯМР. Впервые получены производные лапаконитина, содержащие функциональный заместитель, связанный с атомом С-19 основного углеродного скелета алкалоида С-С связью. Руководитель работ -



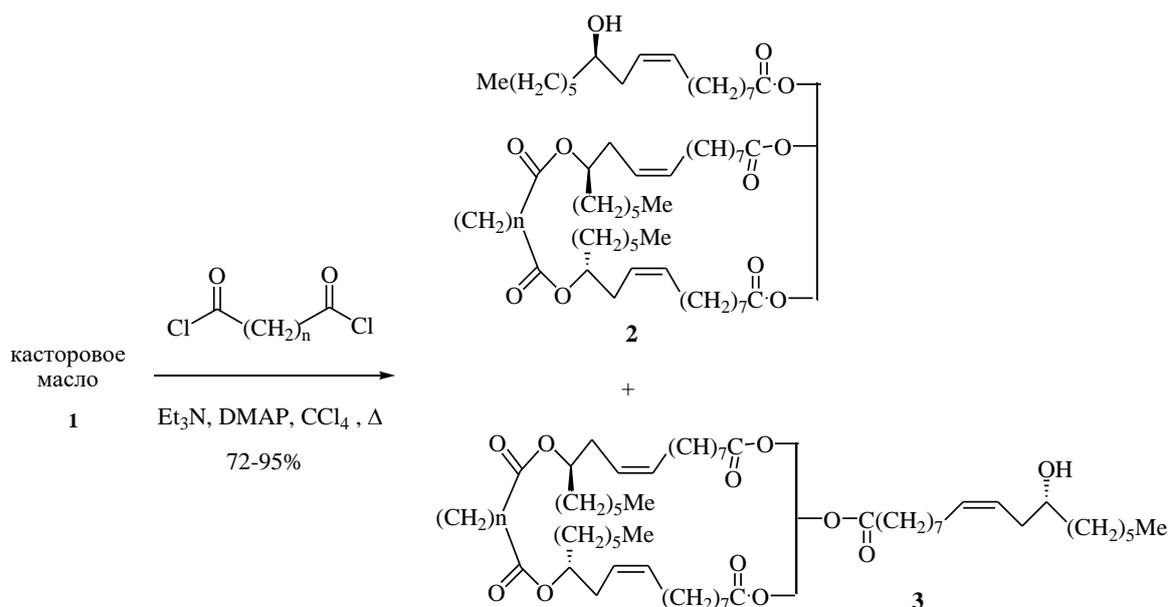
академик М.С.Юнусов; исп. - к.х.н. Е.М.Цырлина, к.х.н. Т.М.Габбасов (Уфимский Институт химии РАН).

11. Полученные из ранее описанного циклопентанового аллилсилана **1** блоки **2** и **3** при обработке  $n\text{-Bu}_4\text{NF}$  в стандартных условиях деблокирования силановых защитных групп гладко трансформировались в бициклы **5**, **6**, **7** соответственно. Наблюдаемая оригинальная реакция образования бициклов **5-7** протекает по механизму "пуш-пулл". Генерируемый из **1** при действии F-иона аллиловый анион вовлекается во внутримолекулярную циклизацию по Михаэлю. Руководитель работ – д.х.н. М.С. Мифтахов; исп. – к.х.н. А.М.Гимазетдинов, А.З.Альмухаметов (Уфимский Институт химии РАН).



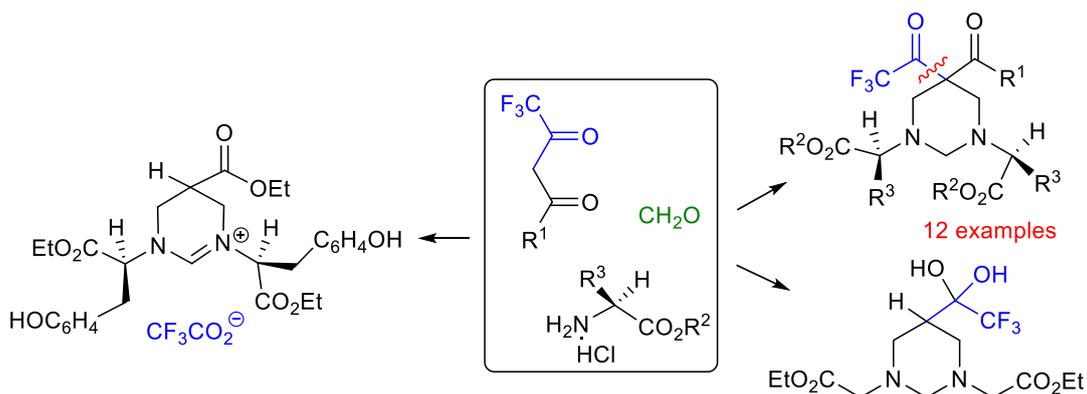
*Tetrahedron Lett.*, 58 (2017) 3242-3245; *ЖОрХ*, 53 (2017) 821–829.

12. Исходя из касторового масла (**1**) (триглицерида (R,Z)-(+)-12-гидрокси-9-октадеценовой кислоты) разработан одностадийный синтез потенциально полезных энантимерно чистых макрогетероциклов (**2** и/или **3**), с 4 сложноэфирными фрагментами, заключающийся в [1+1]-конденсации с дихлорангидридами  $\text{C}_3\text{=C}_6$  дикарбоновых кислот. Руководитель работ – д.х.н. Г.Ю.Ишмуратов; отв. исп. – д.х.н. М.П.Яковлева; исп. – к.х.н. В.А.Выдрина, к.х.н. Г.Р.Мингалеева (Уфимский Институт химии РАН).



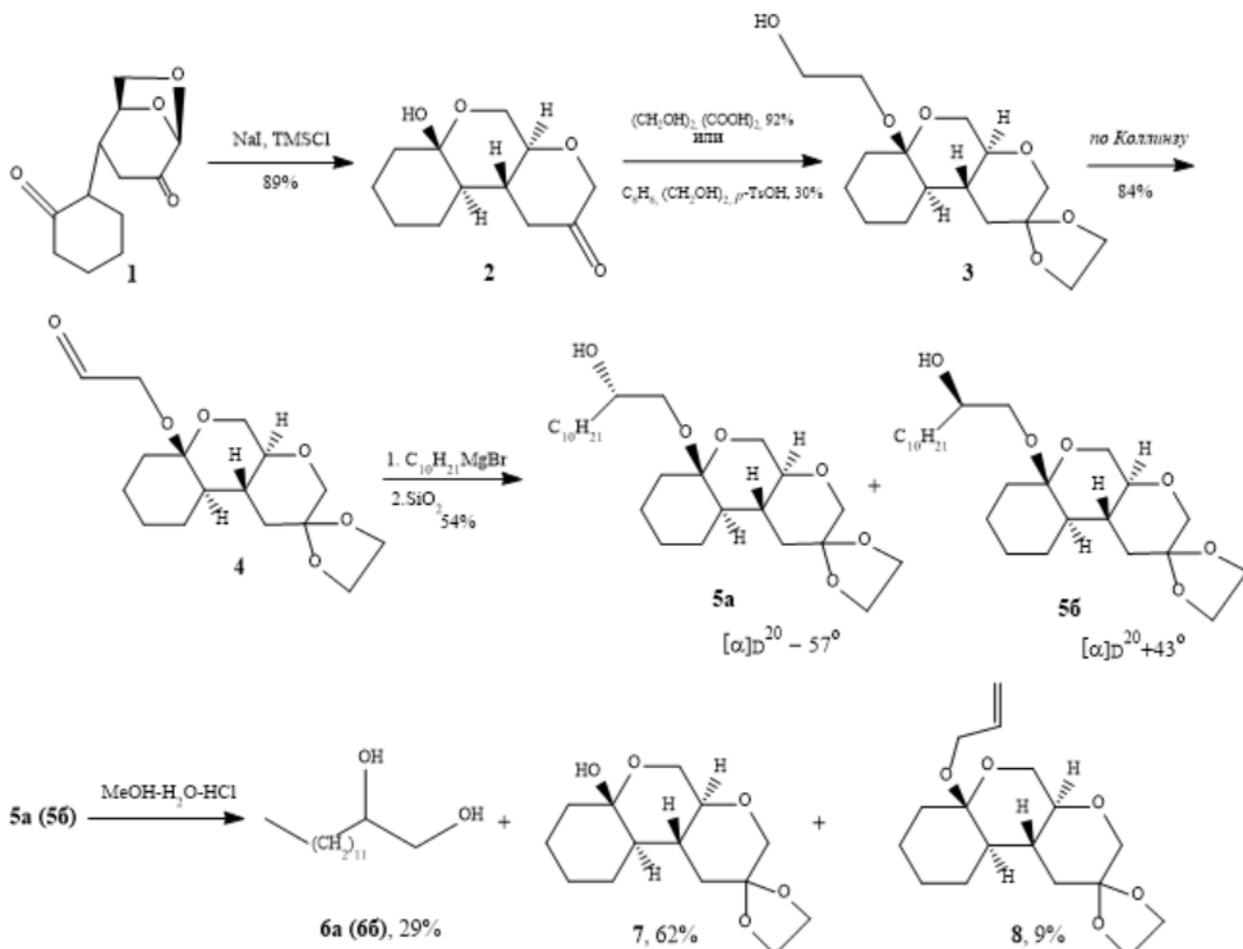
$n = 1$  (**2a**, **3a**), 2 (**2b**, **3b**), 3 (**2c**, **3c**), 4 (**2d**, **3d**) *XПС*, 53 (2017) 528-530.

13. Исследована конденсация фторированных 1,3-дикарбонильных соединений с гидрохлоридами эфиров *L*-аминокислот и формальдегидом, которая при использовании ацетатного буфера  $\text{AcONa-AcOH}$  (pH 5,9) в качестве среды при комнатной температуре дает хиральные гексагидропиримидины, содержащие трифторацетильную группу в положении 5 гетероцикла. Интересно отметить, что реакция этил-3-оксо-4,4,4-трифторбутаноата с формальдегидом и гидрохлоридом этилового эфира *L*-тирозина в тех же условиях дает новую хиральную соль тетрагидропиримидиния, содержащую анион трифторацетата, с выходом 63%. Предположительно, что одна из молекул формальдегида действует как окислитель в этом процессе. Первичный скрининг фторсодержащих производных гексагидропиримидина на цитотоксическую активность *in vitro* (клеточные линии HEK293, Hep G2, Jurkat) показал перспективность дальнейшего изучения ряда полученных соединений в качестве противоопухолевых средств. Руководитель работы – профессор В.А.Докичев; отв. исп. – к.х.н. Д.Р.Латыпова, асп. Н.Н.Гибадуллина (Уфимский институт химии РАН) совместно с Институтом биохимии и генетики УНЦ РАН (чл.-корр. РАН Ю.В.Вахитова).



*Arkivoc*, iv (2017) 222-235.

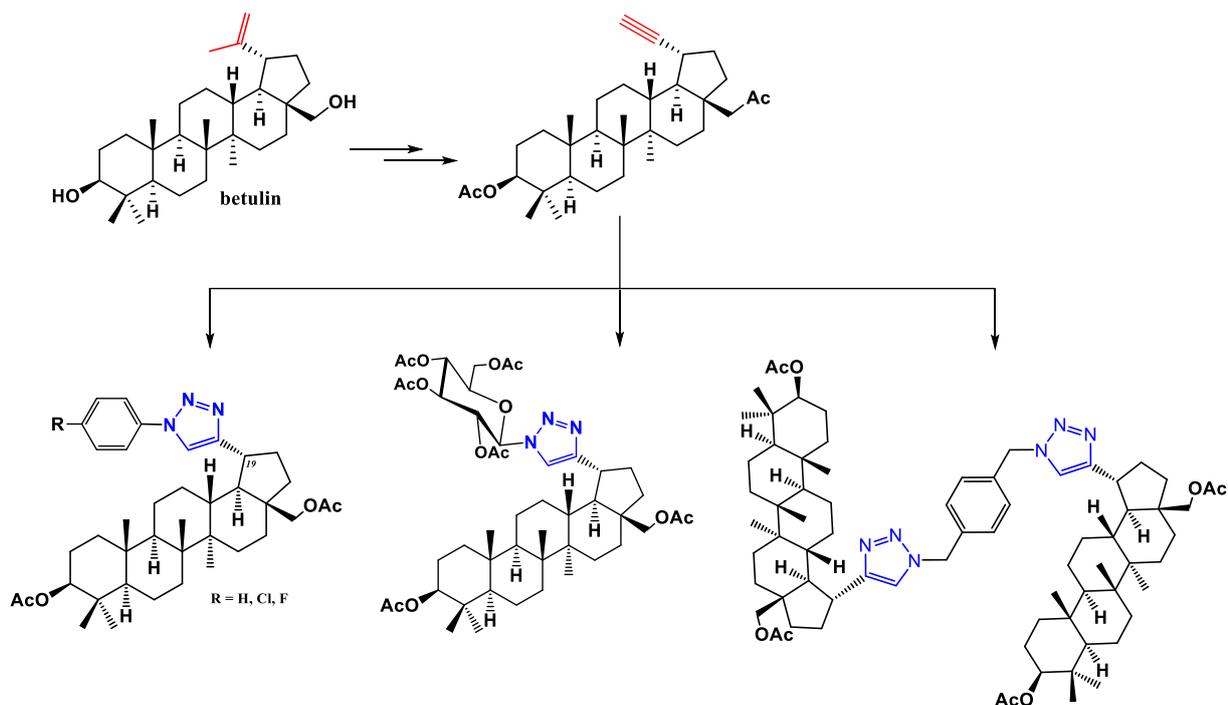
14. В качестве нового хирального вспомогательного соединения продемонстрированы возможности полукетала **2**, полученного из аддукта Михаэля левоглюкозенона и циклогексанона **1**. Несмотря на значительную удалённость от стереоконтролирующих центров вновь создаваемого асимметрического атома углерода, происходит хиральная индукция; получены диастереомеры. Последующий гидролиз кеталей **5a** и **5b** привел к



*ЖОрХ*, (2018), в печати.

энантиомерам **6a** и **6b** с высокой оптической чистотой. Руководитель работ - д.х.н. Ф.А.Валеев; отв. исп. – к.х.н. Л.Х.Файзуллина; исп. – А.Р.Тагиров (Уфимский Институт химии РАН).

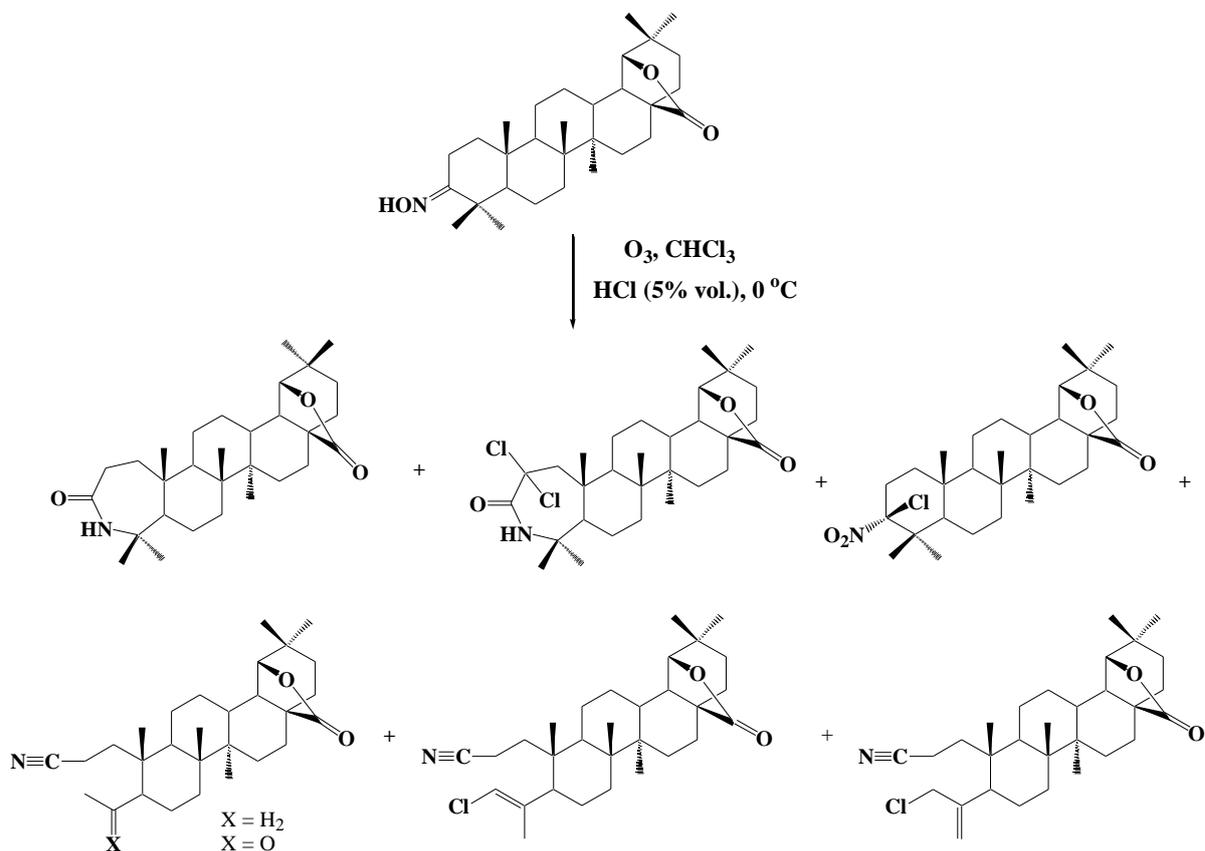
15. В результате реакций 1,3-диполярного циклоприсоединения ароматических и углеводного азидов к 19-алкинилбетулину в присутствии биядерного комплекса меди (II)  $[Cu(\mu-OH)(tmeda)]_2Cl_2$  осуществлен синтез лупановых C19-(1,2,3-триазилил)-тритерпеноидов, в том числе димерного строения. Для 19-1,2,3-триазилил-(фенил)-диацетоксибетулина обнаружена активность в отношении вируса HPV ( $EC_{50}$  1.20  $\mu$ M,  $SI_{50}$  > 125). Руководитель работ – д.х.н. О.Б.Казакова; отв. исп. – к.х.н. Э.Ф.Хуснутдинова (Уфимский Институт химии РАН).



*Lett. Org. Chem.*, 14 (2017) 743-747.

16. Обнаружен новый пример нетривиального протекания озонлиза тритерпеноидов. Озонирование 3-оксимино-28-оксоаллобетулона в  $CHCl_3$  при 0 °C приводит к образованию А-азепанона и сопровождается снятием оксимной группы. При проведении реакции в присутствии 5% HCl в качестве основного соединения образуется А-азепанон, а также минорные продукты: 2,2-дихлоразепанон, (3*S*)-3-нитро-3-хлор-, 2-циано-3,4-секо-4(23)-ен- и 23-нор-4,28-диоксо-производные, а также смесь А-секо-24-хлор-

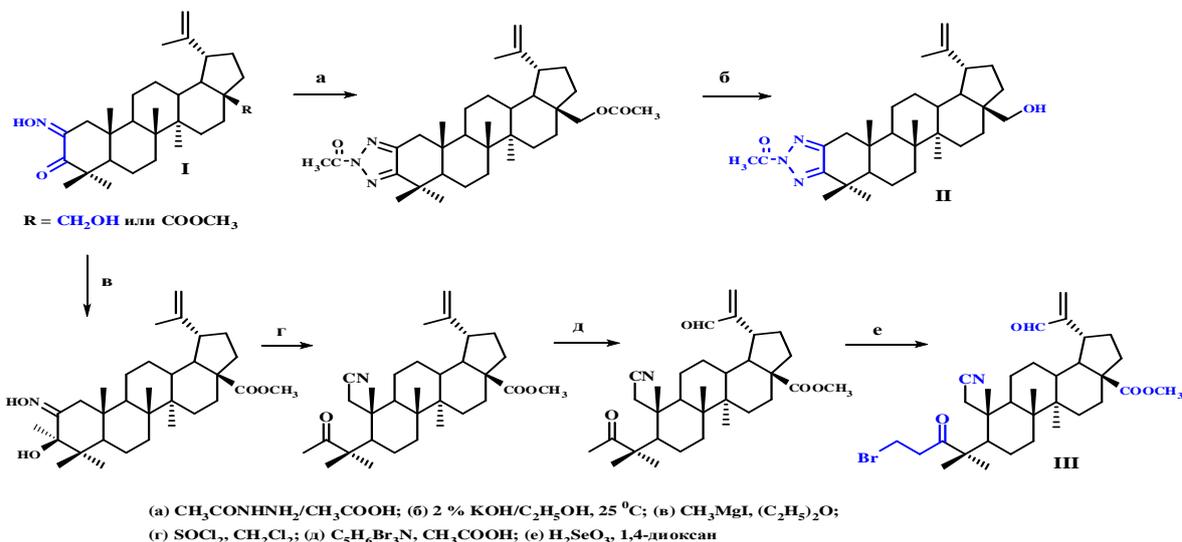
тритерпеноидов. Предложенный нами синтез тритерпеновых А-лактамов путем окисления 3-оксиминопроизводных озоном альтернативен их получению перегруппировкой Бекмана. Руководитель работ – д.х.н. О.Б.Казакова; исп. – к.х.н. Э.Ю.Ямансаров, к.х.н. Н.И.Медведева, к.х.н. А.Н.Лобов (Уфимский Институт химии РАН).



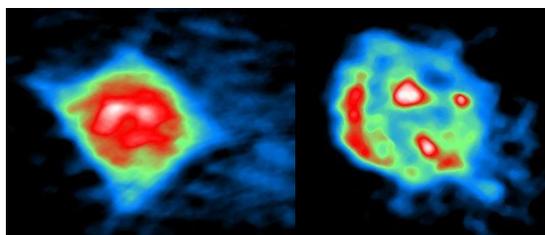
*Tetrahedron*, 73 (2017) 4341-4347.

17. На основе  $\alpha$ -кетоксимов типа **I**, полученных из полициклического тритерпеноида растительного происхождения бетулина, осуществлен синтез ацетилтриазола **II**, конденсированного с циклом А бетулина по связи С(2)-С(3), и метилбетулоната **III** с С(30) альдегидной группой и фрагментом бромметилкетона в кольце А с расщепленной связью С(2)-С(3). Соединения **II** и **III** проявляют цитотоксическую активность ( $\text{IC}_{50}$  0.8-10.4 мкМ) в отношении широкого спектра линий опухолевых клеток и их вариантов с множественной лекарственной устойчивостью. Для малотоксичных в отношении животных триазола **II** ( $\text{LD}_{50}$  >2000 мг/кг) и бромметилкетона **III** ( $\text{LD}_{50}$  600 мг/кг) экспериментально подтвержден механизм цитотоксического

действия, обусловленный индукцией апоптоза раковых клеток (рис. Б) по внутреннему (II) или внешнему (III) пути с активацией каспаз 8 и 3/7. Руководитель работ – к.х.н. В.В. Гришко; отв. исп. – с.н.с. И.А. Толмачева, н.с. В.О. Небогатилов; исп. – м.н.с. А.В. Конышева, аспирант А.В. Назаров (ИТХ УрО РАН) совместно с «ИМСС УрО РАН» и РОНЦ им. Н.Н. Блохина.



*Eur. J. Med. Chem.*, 125 (2017) 629-639; 140 (2017) 74-83; Патент РФ 2632002.

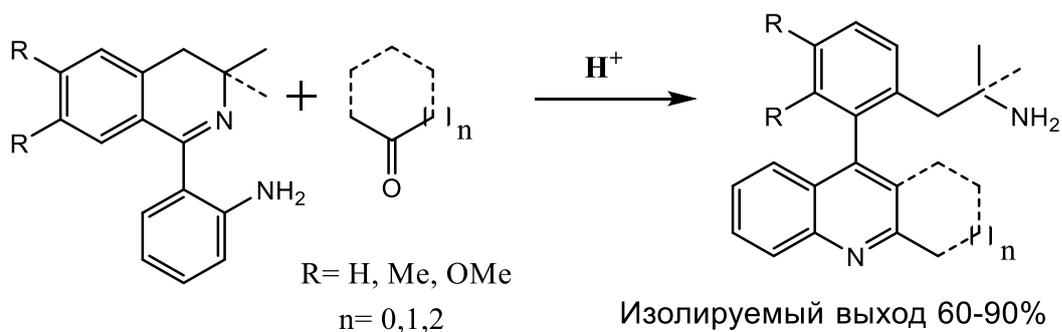


А

Б

Интерференционная микроскопия клеток рака молочной железы MCF-7: контроль (А) или в присутствии (Б) бромметилкетона III.

18. Найдена новая реакция рециклизации 1-(2-анилино)-3,4-дигидроизохинолинов в 4-арилзамещенные хинолины (см. схему ниже).

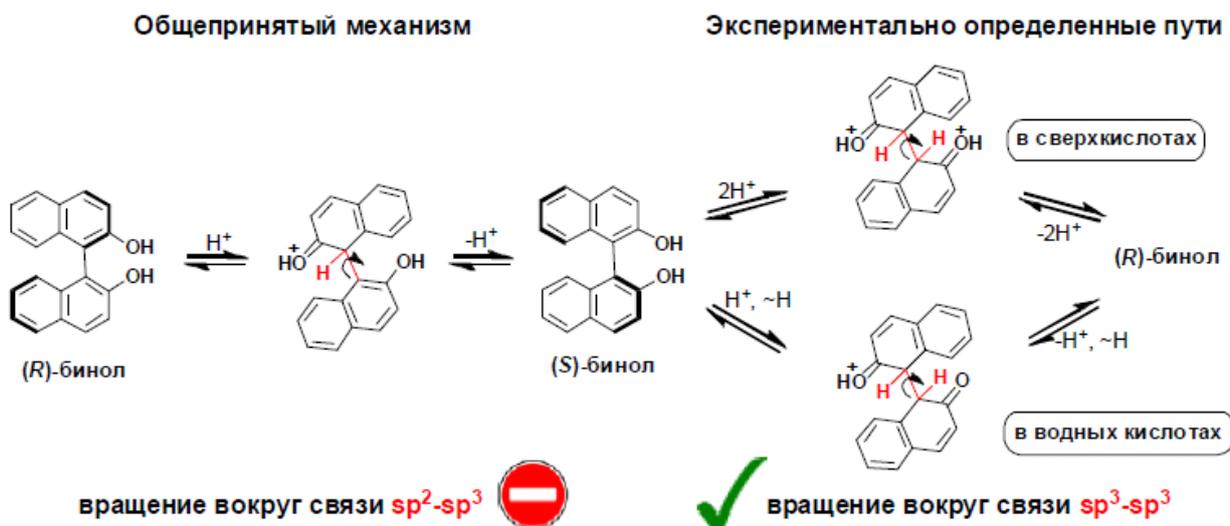


Получена широкая группа такого рода продуктов, представляющих интерес для поиска биологически активных соединений, а также в качестве исходных для синтеза органических фотоизлучающих материалов. Руководитель работ

– профессор Ю.В. Шкляев; отв. исп. – с.н.с., к.х.н. Ю.С. Рожкова; исп. – н.с., к.х.н. Т.С. Вшивкова (ИТХ УрО РАН).

19. Впервые удалось экспериментально наблюдать процесс обращения конфигурации в протонированных формах бинола в кислой среде в условиях долгой жизни. Бинол (1,1'-би-2-нафтол) известен как популярный хиральный реагент для стереоселективного синтеза органических соединений. Ранее причиной рацемизации в кислой среде считали вращение вокруг одинарной связи  $C(sp^3)-C(sp^2)$  в монопротонированной по атому  $C^1$  форме бинола. В результате проведенных исследований показано, что рацемизация обусловлена вращением вокруг связи  $C(sp^3)-C(sp^3)$  в таутомерной монопротонированной кето-форме (в водных кислотах), либо в дипротонированной форме (в сверхкислой среде). Методами ЯМР-спектроскопии установлено строение интермедиатов. Отв. исп. – к.х.н. А.М. Генаев; исп. – Г.Е. Сальников, А.В. Шернюков (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) в сотрудничестве с ИК СО РАН (д.х.н. К.Ю. Колтунов).

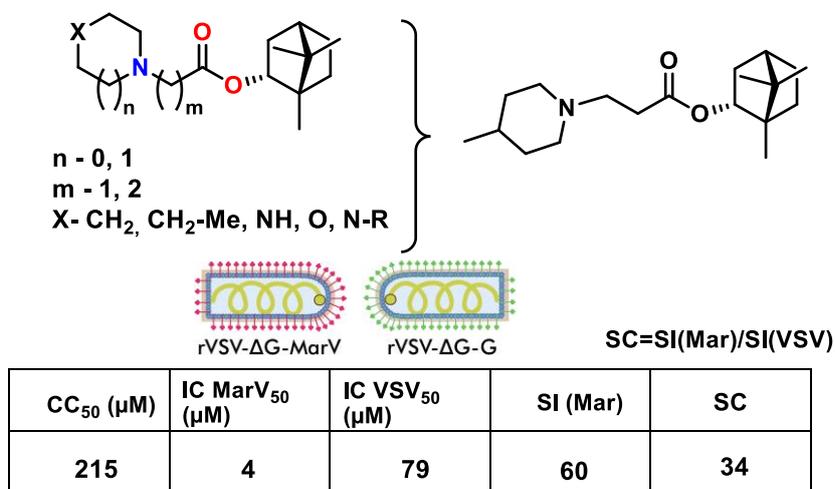
### Механизм кислотнo-катализируемой атропизомеризации бинола



*Org. Lett.*, 19 (2017) 532-535.

20. Синтезирован класс соединений на основе доступного монотерпеноида (-)-борнеола, содержащих в своем остове природный бициклический фрагмент и насыщенный азотсодержащий гетероцикл. В сотрудничестве со

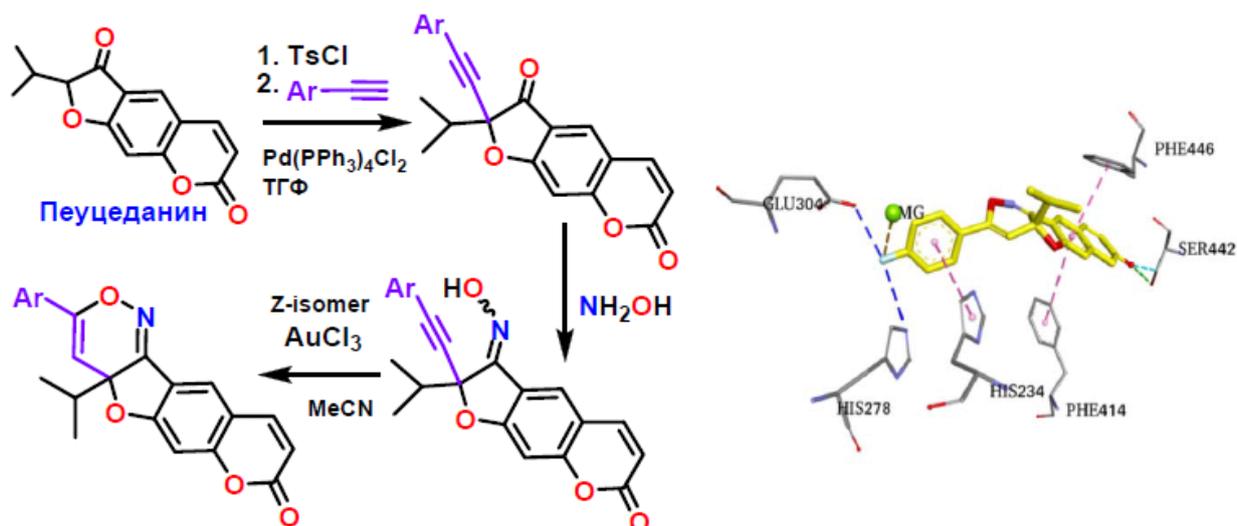
специалистами НГУ изучена активность новых соединений в отношении входа вируса Марбург в клетку с применением псевдовиральной системы на основе капсида вируса везикулярного стоматита. Определение концентраций 50% ингибирования ( $EC_{50}$ ) для псевдовирусов rVSV- $\Delta$ G-MarV и rVSV- $\Delta$ G-G\* показало, что по индексу селективности (SI) – отношению токсичности соединения и ингибирующей активности против вируса Марбург ( $CC_{50}/EC_{MarV_{50}}$ ) – и коэффициенту специфичности ингибитора (SC) – отношению полуингибирующих концентраций для двух псевдовирусов ( $EC_{MarV_{50}}/EC_{VSV_{50}}$ ) – ряд соединений значительно превосходит известные препараты сравнения. Руководитель работ – профессор Н.Ф. Салахутдинов; отв. исп. – к.х.н. О.И. Яровая; исп. – А.С. Соколова (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) в сотрудничестве с НГУ (А.Г. Покровский, А.А. Кононова, С.В. Чересиз), НИИКЭМ и НИИФКИ (А.А. Чепурнов, Р.А. Никитина).



*Med. Chem. Commun.*, 8 (2017) 2233-2237.

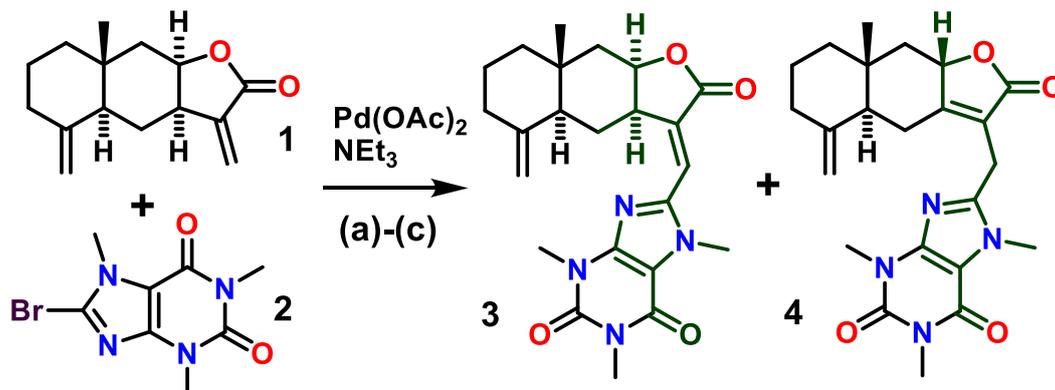
21. Разработан синтез новой гетероциклической системы – хромено[6',7':4,5]фуоро[3,2-с][1,2]оксазинов на основе Au(III)-катализируемой циклоизомеризации  $\beta,\gamma$ -алкинилзамещенных (Z)-оксимов. Последние получали Pd-катализируемым восстановительным кросс-сочетанием 2-тозилореозелона с терминальными ацетиленами с последующим превращением в оксимы. Целевые соединения проявляют анальгетическую и противовоспалительную активность *in vivo* наряду с низкой токсичностью

(LD50 > 2000 мг/кг). Результаты молекулярного докинга показали, что хроменофуурооксазиновый остов является подходящим скаффолдом для разработки ингибиторов фосфодиэстеразы PDE 4В. Руководители работ – профессор Э.Э. Шульц и профессор Т.Г. Толстикова; исп. – А.В. Липеева, Д.С. Баев, М.П. Долгих (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



*Med. Chem. 13 (2017) 625-632, Патент RU 2622768 (2017)*

22. Взаимодействием метиленлактонов эудесманового типа с 8-бромксантинами в условиях реакции Хека получены оригинальные бисгетероциклические системы в качестве селективных ингибиторов ацетилхолинэстеразы (см. схему ниже). Так, из изоалантолактона **1** и 8-бром-

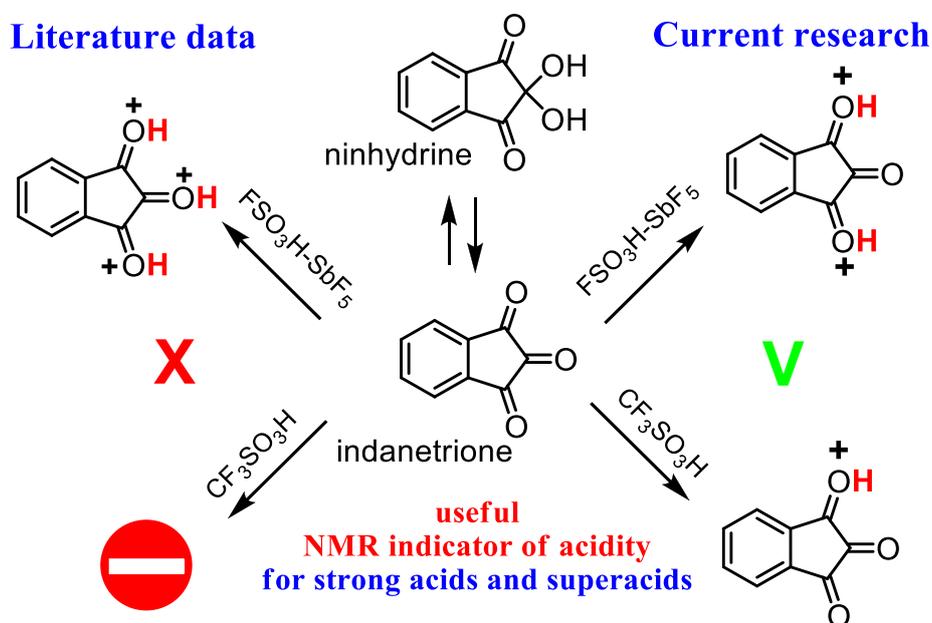


(a) (o-tol)<sub>3</sub>P, - DMF, 120°C, 20 h 52% : 32%  
 (b) (o-tol)<sub>3</sub>P, ТВАВ, DMF, 140°C, 40 h - : 92%  
 (c) - , ТВАВ, H<sub>2</sub>O, 120°C, 20 h; 75% : -

*Tetrahedron, 73 (2017) 2717-2726.*

кофеина **2** был получен (*E*)-13-(2,6-диоксо-2,3-дигидро-1*H*-пурин-8-ил)эудесма-4(15),11(13)-диен-8β,12-олид **3** и соответствующий эндоциклический изомер **4**. Выход и соотношение продуктов типа **3** и **4** зависят от условий реакции и структуры метиленлактона. Руководитель работ – профессор Э.Э. Шульц; отв. исп. – С.С. Патрушев; исп. – Т.В. Рыбалова (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН), в сотрудничестве с НИИМББ (В.А. Вавилин, И.Д. Иванов).

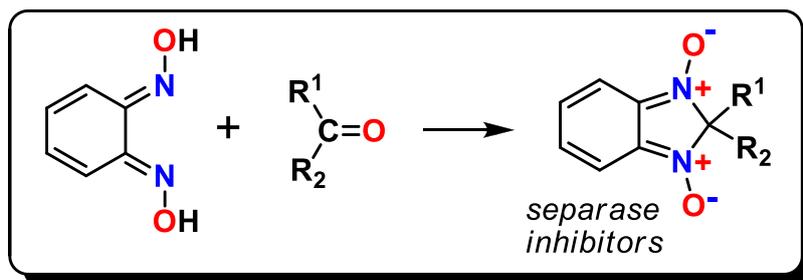
23. С помощью спектроскопии ЯМР и квантово-химических расчетов установлены структуры частиц, образующихся при протонировании нингидрина в сверхкислых средах. Высокая чувствительность химических сдвигов ЯМР <sup>13</sup>C-индантриона позволяет использовать его как удобный ЯМР-индикатор кислотности для сильных и сверхкислот. Устранены имевшиеся в литературе противоречия о степени протонирования нингидрина и индан-1,2,3-триона. Руководитель работы – д.х.н. В.Г. Шубин; исп. – к.х.н. А.М. Генаев, Г.Е. Сальников, А.В. Шернюков (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



*J. Mol. Struct.*, 1134 (2017) 1-5.

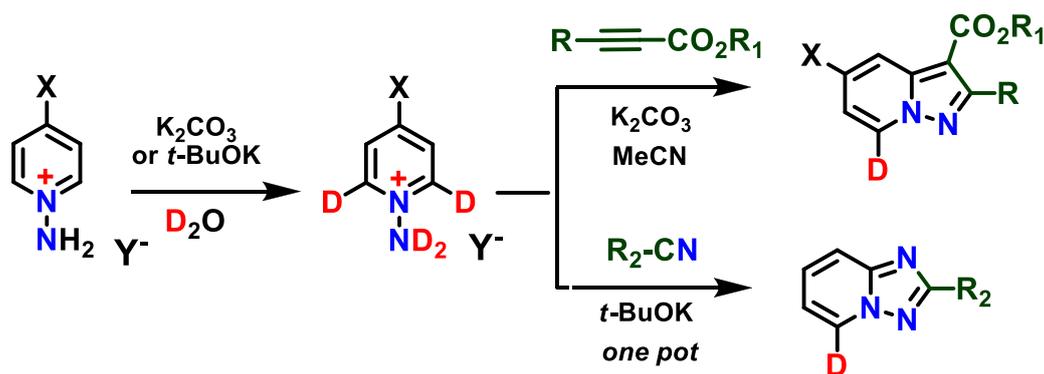
24. Разработан удобный способ получения новых гидрофильных производных 2*H*-бензимидазол-1,3-диоксида на основе кислотно-катализируемой конденсации доступных *орто*-хинондиоксимов с

функциональными кетонами. Целевые соединения являются эффективными ингибиторами сепаразы – цистеиновой протеазы, играющей важную роль в процессе деления клеток. Отв. исп. – В.А. Самсонов и Д.Г. Мажукин (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) в сотрудничестве с ИОФХ им. А.Е. Арбузова (Е.А. Чугунова) и КНИТУ (Н.И. Акылбеков).



*Tetrahedron*, 73 (2017) 3986-3992.

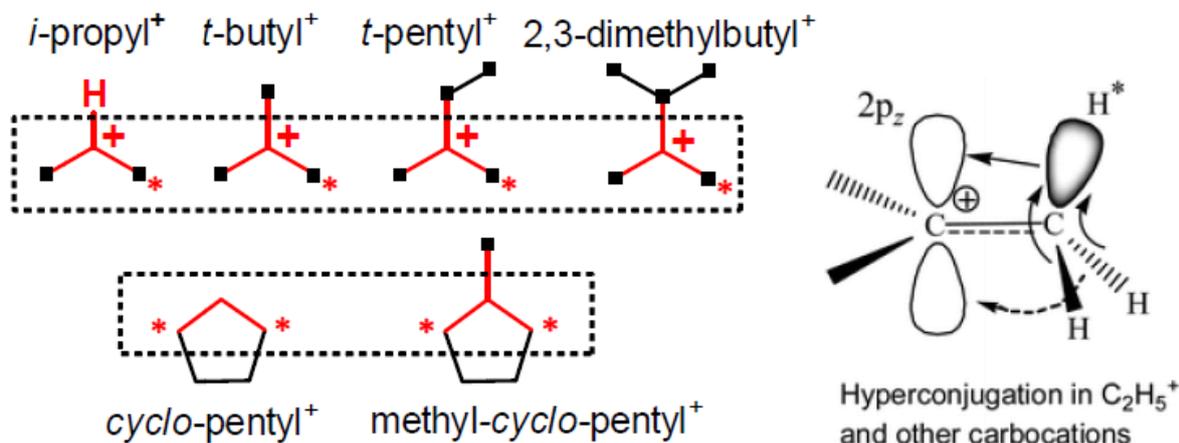
25. Показано, что 1-аминопиридиный катион легко вступает в реакцию Н/Д – обмена в мягких условиях, что позволяет получать пиразоло- и 1,2,4-триазоло[1,5-а]пиридины, меченые дейтерием. Данный процесс может быть полезен для получения изотопно-меченых биологически активных веществ. Руководитель работ – д.х.н. В.Г. Шубин; отв. исп. – д.х.н. Г.И. Бородкин; исп. А.Ю. Воробьев, В.И. Супранович (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



*Beilstein J. Org. Chem.*, (2017) 800-805.

26. Показано, что общепринятый механизм внутримолекулярной стабилизации насыщенных карбокатионов, основанный на квантово-химических расчетах, не соответствует экспериментальным данным: предложен иной механизм влияния сверхсопряжения и поляризации,

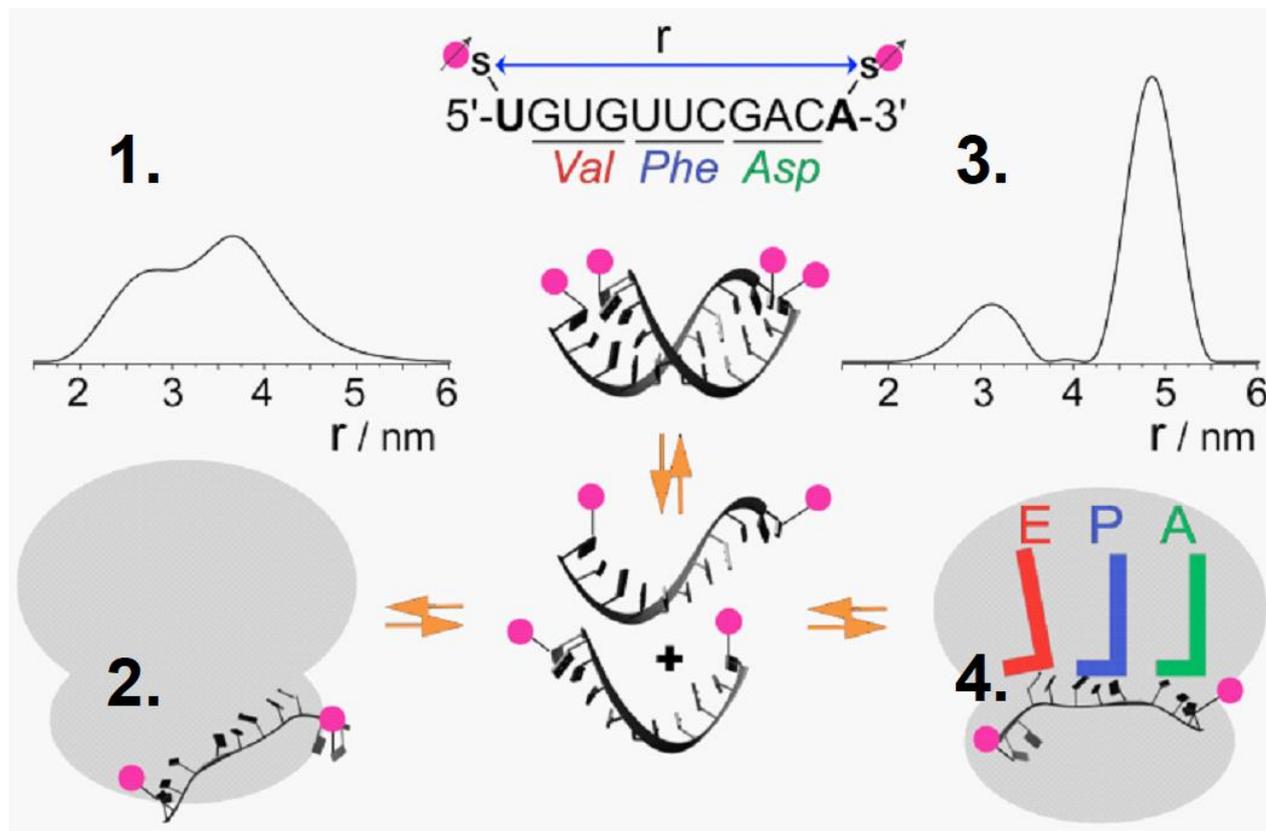
позволивший впервые интерпретировать ИК спектры всех насыщенных карбокатионов и установить внутримолекулярное распределение в них электронной плотности и заряда. Отв. исп. – д.х.н. Е.С. Стоянов (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



*Phys.Chem.Chem.Phys.*, 19 (2017) 7270; *J. Phys. Chem. A.*, 121 (2017), 9638-44.

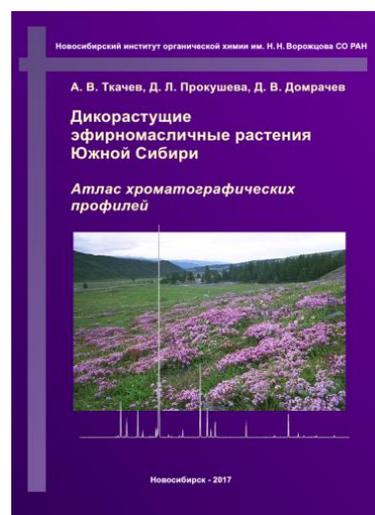
27. Разработан подход к исследованию структурных перегруппировок в матричных РНК (мРНК) при их связывании с человеческой 80S рибосомой методом импульсной дипольной ЭПР спектроскопии и использованием аналога мРНК, спин-меченого нитроксильными радикалами. Измерение внутримолекулярных расстояний в аналоге мРНК, несущем стоп-кодон, узнаваемый фактором терминации трансляции eRF1, в составе комплексов рибосом, соответствующих их пре- и посттерминационным состояниям, позволило выявить ряд общих закономерностей, характеризующих процесс трансляции у млекопитающих на стадиях элонгации и терминации. На рисунке ниже показаны: Лабильный комплекс мРНК с 80S рибосомой в отсутствии (1, 2) и в присутствии (3,4) тРНК, а также распределение по расстояниям между спиновыми метками и общий вид строения комплекса. Руководители работ – д.х.н. Г.Г. Карпова (ИХБФМ СО РАН), профессор РАН М.В. Федин (МТЦ СО РАН), профессор Е.Г. Багрянская (НИОХ СО РАН), исп. – И.О. Тимофеев, А.А. Кужелев, О.А. Крумкачева (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН), в сотрудничестве с Институтом химической биологии и фундаментальной

медицины (А.А. Малыгин, Д.М. Грайфер, М.И. Мещанинова, А.Г. Веняминава).



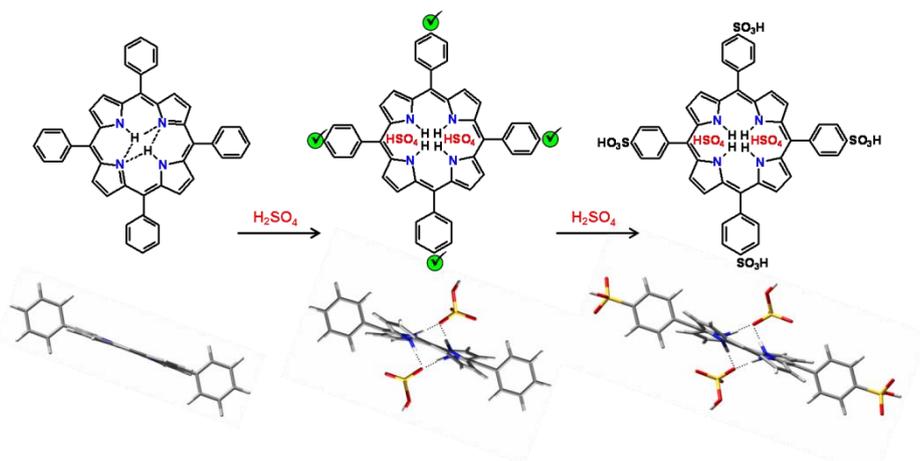
*Nucleic Acids Research*, 46 (2018) 897-904.

28. При поддержке РФФИ (грант 17-13-00038Д) издан атлас эфирномасличных растений юга Западной Сибири, который включает данные о 169 видах и подвидах эфирномасличных растений из 73 родов и 15 семейств, распространённых в Южной Сибири, газохроматографические профили летучих веществ с перечнем основных компонентов, идентифицированных по данным газовой хроматомасс-спектрометрии, указания на точные места сбора сырья. Экспериментальные данные сопровождаются справкой о летучих веществах обсуждаемого таксона; библиография 1053 наименований. Особенности сформированного массива эталонных хроматографических профилей:



использование (1) аутентичных образцов растительного сырья, сопровождаемых ваучерными гербарными образцами, депонированными в хранилищах; (2) единой методики извлечения летучих веществ; (3) стандартизованных процедур пробоподготовки, анализа и идентификации компонентов. Руководитель работ – профессор А.В. Ткачев; исп. – Д.В. Домрачев (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) в сотрудничестве с НГМУ (Д.Л. Прокушева).

29. Получены результаты прогностического компьютерного синтеза сульфопроизводных мезо-фенил-порфиринов (МФП)  $H_2P(Ph)_n$ , которые демонстрируют супрамолекулярную природу региоселективности сульфирования порфиринов в концентрированной серной кислоте и в олеуме. Методом DFT показано, что региоселективность сульфирования МФП обусловлена образованием комплексов  $[H_4P^{2+}(Ph)_n](HSO_4^-)_2$  типа «хозяин-гость» дипротонированной порфириновой платформы с двумя гидросульфатными анионами. Анионы-«гости» контролируют реакционную способность  $H_4P^{2+}(Ph)_n$ . Во-первых, они активируют  $H_4P^{2+}(Ph)_4$  к электрофильному замещению путем частичного переноса отрицательного заряда на дипротонированный порфирин. Во-вторых, анионы-«гости» являются причиной тотального перераспределения зарядов на атомах углерода  $H_4P^{2+}$  и фенильных колец, обеспечивая тем самым региоселектив-

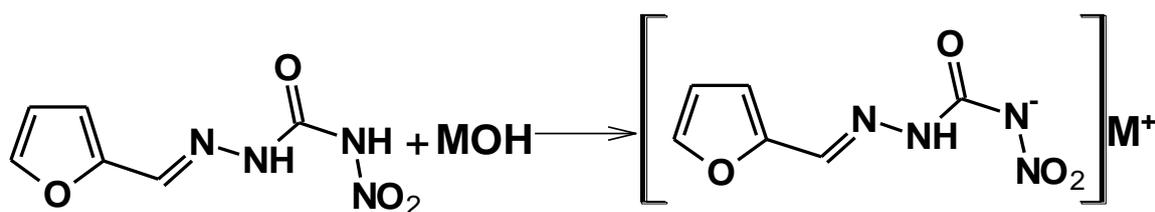


*Macroheterocycles*, 2017, Vol. 10, №. 4, 487-495.

ность сульфирования  $H_4P^{2+}(Ph)_4$ . Прогностический этап был использован в синтезе нового 5,10,15-трис(4'-сульфофенил)порфина. Полученные

результаты имеют общий характер и могут быть распространены на другие  $S_EAg$  реакции порфиринов. Руководитель работы - чл.-корр. РАН О.И. Койфман; исп. - к.х.н. В.Б. Шейнин и асп. А.Д. Иванов (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).

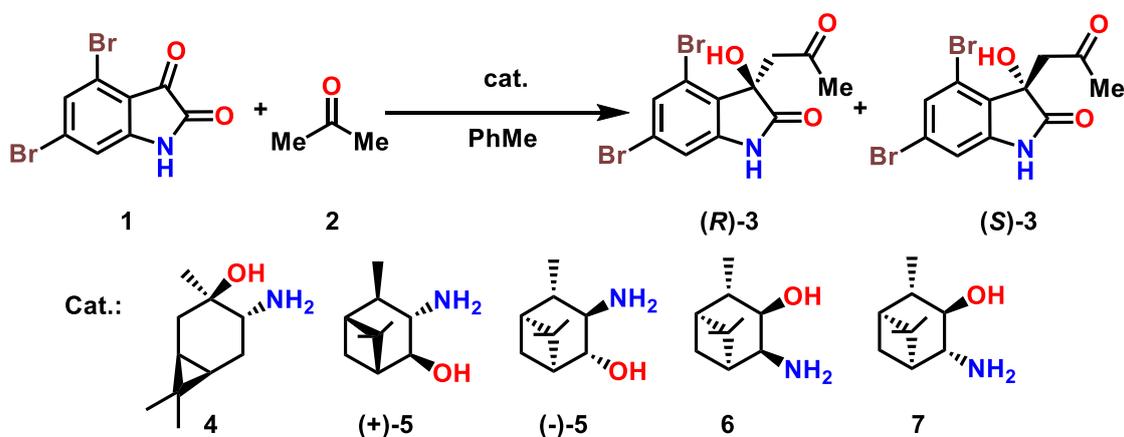
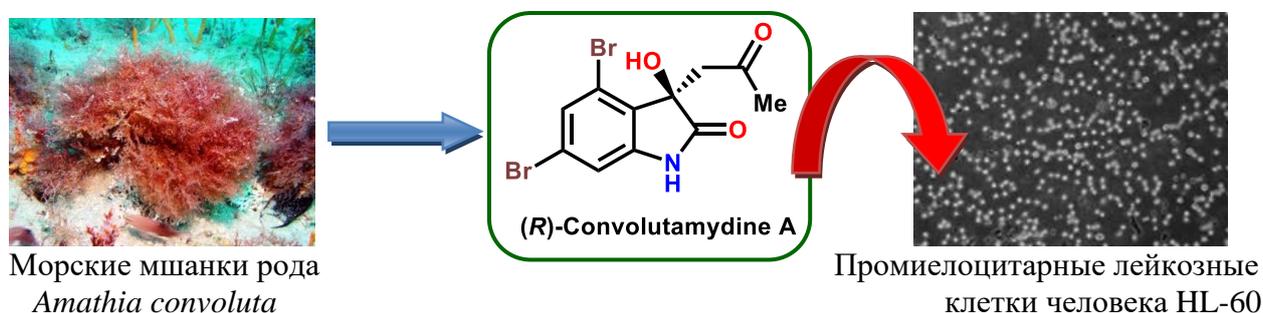
30. Разработана стратегия синтеза нитросемикрбазонов, представляющих интерес как потенциальные биологически активные вещества с высокой биодоступностью. С целью расширения возможностей их использования получены калиевая и натриевая соли 4-нитросемикрбазона фурфурола, так как указанные металлы являются эссенциальными макроэлементами, универсальными регуляторами физиологических и биохимических процессов у человека, и образуют растворимые солевые формы лечебных препаратов, например, Солафур (основа нитрофуран). Проведены теоретические исследования повышенной биологической активности солей по сравнению с исходным 4-нитросемикрбазон фурфуролом с помощью программы «PASS». Строение полученных соединений доказано спектральными методами и рентгеноструктурным анализом. Руководитель работ – д.х.н. С.Г. Ильясов; отв. исп. – д.х.н. Ю.В. Гатилов (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН) совместно с Новосибирским институтом органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН.



*Изв. АН. Сер. Хим.*, (2017) 83-85.

31. Синтез и органокаталитические свойства  $\beta$ -аминоспиртов пинановой и карановой структур.  $\beta$ -Аминоспирты, синтезированные на основе  $\alpha$ -пинена и 3-карена (**4-7**), впервые предложены в качестве хиральных органокатализаторов асимметрической альдольной реакции 4,6-дибромизатина **1** с ацетоном **2**. Продуктами такой конденсации являются (*R*)- и (*S*)-изомеры Convolutamydine А **3**. Известно, что (*R*)-альдоль **3** способен

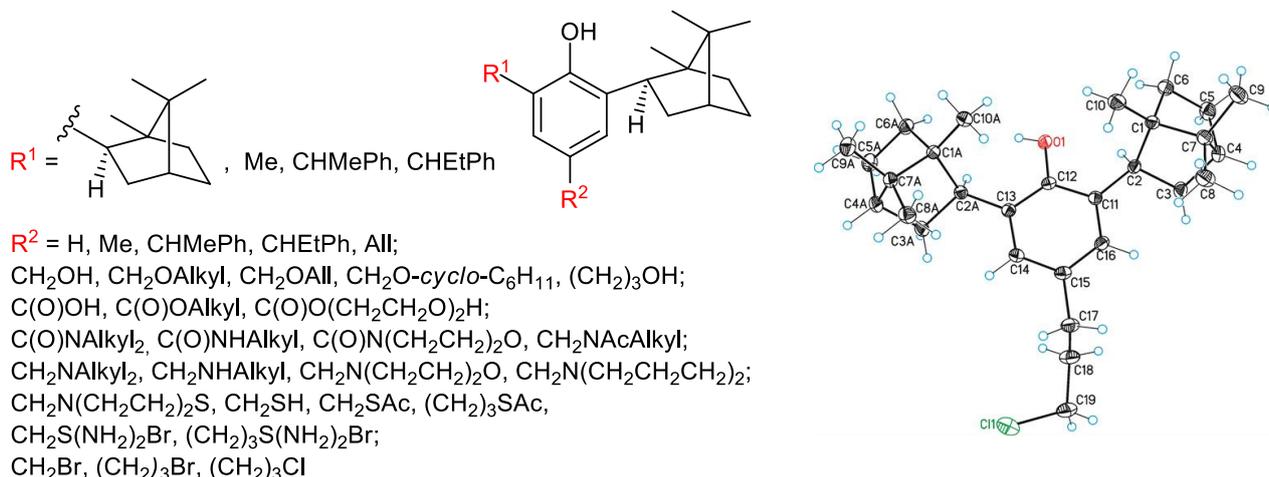
ингибировать дифференциацию промиелоцитарных лейкозных клеток человека HL-60. Данные о физиологическом действии (*S*)-альдоля в литературе отсутствуют. Катализ β-аминоспиртами пинанового и каранового ряда позволяет получать оба изомера Convolutamydine A с энантиомерной чистотой от 63 до 83%. Наиболее высокий уровень стереоиндукции (*ee* 90%) проявил аминоспирт (-)-**5** при загрузке в реакционной смеси 5 мольн.%. Руководитель работы – чл.-корр. РАН Кучин А.В. отв. исп. – д.х.н. Рубцова С.А., исп. – м.н.с. Банина О.А., к.х.н. Судариков Д.В., к.х.н. Фролова Л.Л. (Институт химии Коми НЦ УрО РАН).



*Изв. АН. Сер. хим.*, (2017) 293-296; *ЖОрХ*, (2017) 338-345.

32. Новые функциональные производные изоборнилфенолов – перспективные стабилизаторы полимерных материалов, антиоксиданты различных органических систем, в том числе и биологических. Синтезированы ряды новых *O*-, *N*-, *S*- и *Hal*-содержащих функциональных производных изоборнилфенолов: первые представители гибридных фенольных антиоксидантов, включающих изоборнильный, 1-фенилэтильный или 1-фенилпропильный фрагменты в одну молекулу; осуществлена модификация изоборнилфенолов путем введения аминотильного,

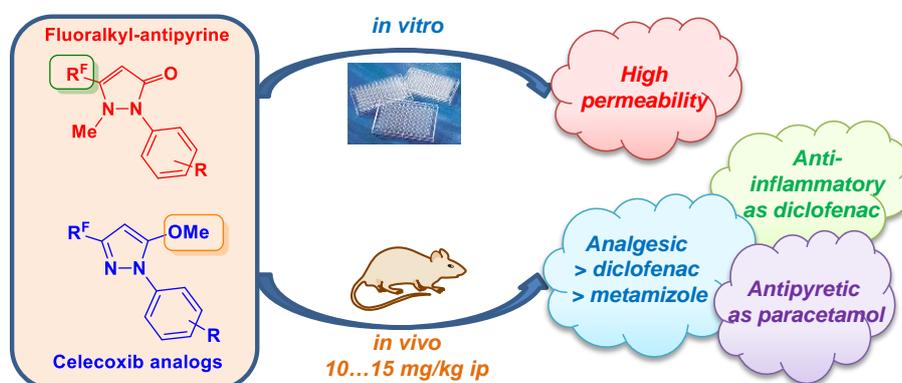
аллильного, гидроксиалкильного и галогеналкильного заместителей в *para*-положение по отношению к гидроксильной группе фенола; получены новые изоборнилфенолы с атомами серы в составе различных функциональных групп. С использованием различных биологических и химических модельных систем продемонстрирована перспективность функциональных производных изоборнилфенолов в качестве новых фармакологических субстанций, радиопротекторов, антиоксидантов и стабилизаторов технического назначения. Руководитель работ – чл.-корр. РАН Кучин А.В., отв. исп. – д.х.н. Чукичева И.Ю., исп. – к.х.н. Буравлёв Е.В., к.х.н. Щукина О.В. (Институт химии Коми НЦ УрО РАН), к.б.н. О.Г. Шевченко (Институт биологии Коми НЦ УрО РАН).



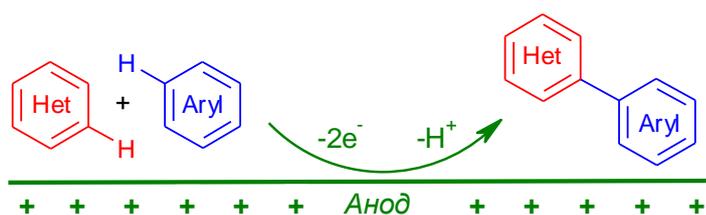
Изв. АН. Серия хим. 2017. № 10. С. 1881-1890.

33. Разработаны методы получения 1-арил-3-полифторалкилпиразол-5-олов как фторированных аналогов *антипирина* и их изомеров (примеры показаны ниже), 1-арил-5-метокси-3-полифторалкилпиразолов, имеющих структурное сходство с *целекоксибом*. Для этого исследованы реакции метилирования 1-арил-3-полифторалкил-5-пиразололов, в результате чего предложены удобные методы для их хемоселективного O- и N-метилирования, а также установлены характеристичные признаки для определения строения изомерных продуктов. В результате биологического тестирования, выявлен CF<sub>3</sub>-антипирин как соединение-лидер, проявляющий противовоспалительную и анальгетическую активности на уровне или значительно выше, чем *диклофенак* и *анальгин*, а жаропонижающее действие

выше, чем *парацетамол*. Руководитель работы – чл.-корр. РАН В.И. Салоутин; отв. исп. - д.х.н. Я.В. Бургарт, Н.А. Немытова, к.х.н. Е.В. Щегольков (Института органического синтеза им. И.Я. Постовского) совместно с ПНИПУ, г. Пермь.



34. В соответствии с концепцией PASE (Pot-Atom-Step-Economic) разработан удобный, простой и эффективный *электрохимический* метод прямого селективного арилирования и гетарилирования азинов. Метод полностью отвечает принципам «зеленой» химии и позволяет получать различные производные гетероциклов с высокими выходами. Руководитель работы – академик О.Н. Чупахин; отв. исп. – А.В. Щепочкин (Института органического синтеза им. И.Я. Постовского).



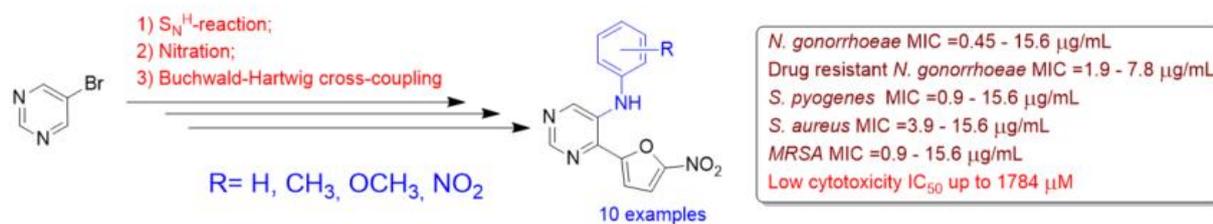
*Green Chem.*, 19 (2017) 2931–2935



35. Синтезирована серия новых акридиновых производных для поиска соединений, которые могут быть более безопасными и эффективными, чем *Такрин*, используемый в терапии болезни Альцгеймера. Исследована способность полученных веществ ингибировать активность ацетилхолинэстеразы, бутирилхолинэстеразы и карбоксилестеразы, а также

изучена радикал-связывающая активность. Полученные результаты позволяют рассматривать несколько соединений, превосходящих по своей активности *Такрин*, в качестве перспективных структур для создания безопасных полифункциональных препаратов терапии нейродегенеративных заболеваний (результаты опубликованы в *Bioorg. & Med. Chem.*, 25 (2017) 5981–5994). Руководитель работы – академик О.Н. Чупахин; отв. исп. – А.В. Щепочкин (Институт органического синтеза им. И.Я. Пастера) совместно с Институтом физиологически активных веществ РАН.

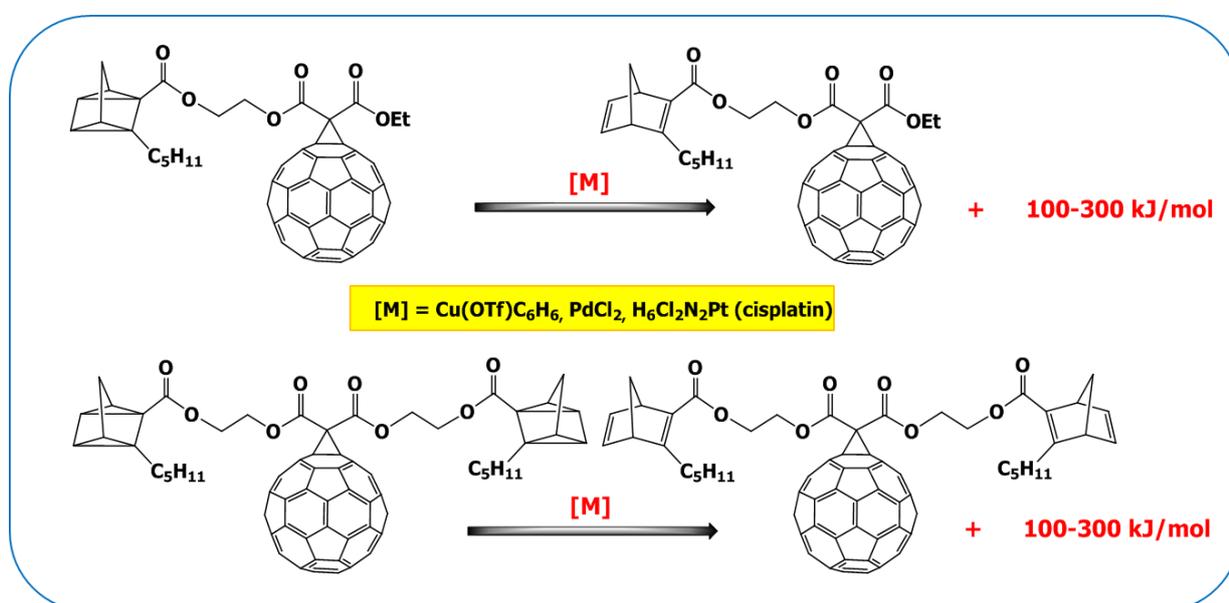
36. Разработаны новые методы синтеза *N*-арил-4-(5-нитрофурана-2-ил)пиримидин-5-аминов, содержащие метильные, метокси- и нитро-группы в С(2), С(4), С(3), С(5) положениях арильного заместителя в пиримидиновом цикле, основанные на комбинации реакции нуклеофильного ароматического замещения водорода и последующей реакции кросс-сочетания по Бухвальду-Хартвигу с различными замещенными анилинами. Проведена оптимизация условий реакции Бухвальда-Хартвига в присутствии различных каталитических систем на основе солей палладия. Показано, что соединения, содержащие метильные и метокси-группы в *N*-арильном заместителе, независимо от положения заместителей в цикле, обладают широким спектром антибактериальной активности в отношении кокковых инфекций и низкой цитотоксичностью.



Указанные соединения могут быть рекомендованы для дальнейших испытаний с целью создания на их основе лекарственных препаратов для лечения заболеваний мочеполовой системы, вызванных гонококками и/или золотистым стафилококком, а также гнойно-воспалительных инфекционных заболеваний кожи и слизистых оболочек, вызванных стафилококками и стрептококками. Руководитель работы - академик В.Н. Чарушин; отв. исп. -

к.х.н. Е.В. Вербицкий, С.А. Баскакова, к.х.н. Г.Л. Русинов (Института органического синтеза им. И.Я. Постовского).

37. Впервые синтезированы богатые энергией гибридные молекулы - метанофуллерены на основе C<sub>60</sub>-фуллерена и квадрициклановых эфиров, обладающие высокой противоопухолевой активностью по отношению к опухолевым клеточным линиям K562, Jurkat и U937. Установлено, что полученные соединения, содержащие электроноакцепторные молекулы фуллерена, для которых характерно высокое сродство к электрону, легко проникают через мембраны живых клеток, накапливаясь преимущественно в цитоплазме.

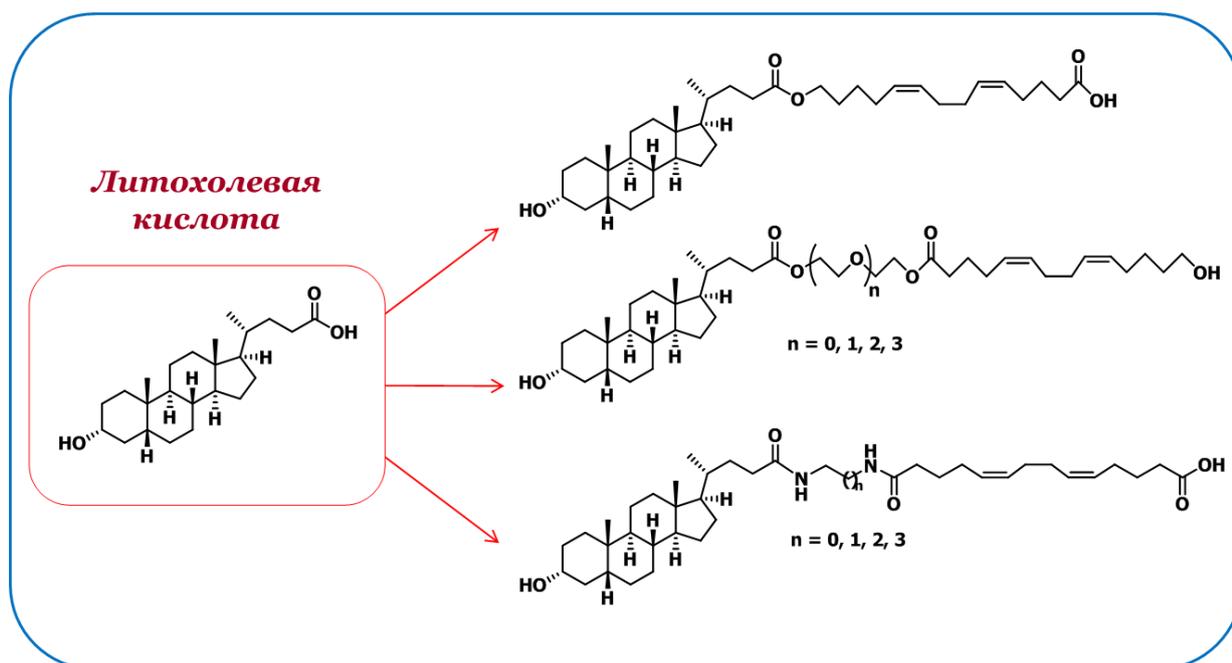


*J. Org. Chem.*, 2018, in press

Гибридные молекулы проявили значительно более высокую противоопухолевую активность (в 2-3 раза) по сравнению с цис-платином. При совместном применении гибридных молекул и цис-платина противоопухолевая активность композиции в 1,5 раза превысила активность индивидуального цис-платина. По-видимому, квадрициклансодержащие метанофуллерены в присутствии каталитических количеств цис-платина или ионов Pd и Cu претерпевают разрыв C-C связи в циклопропановых фрагментах с выделением до 300 кДж/моль тепла, что делает их перспективными материалами для создания современных противоопу-

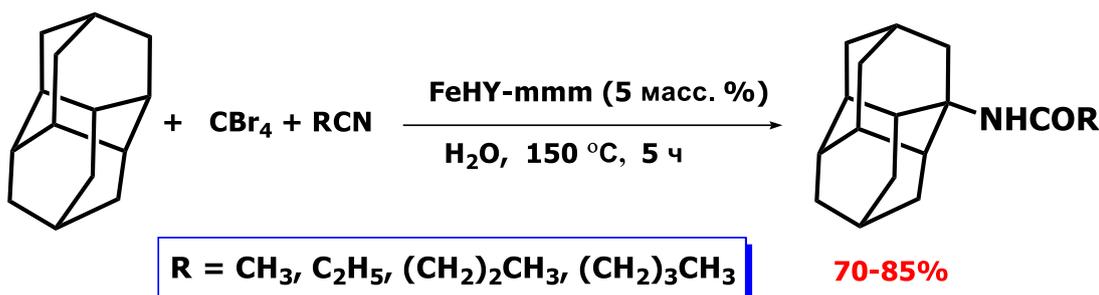
холевых препаратов, одновременно осуществляющих термическую гибель раковых клеток. Руководитель работы – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. - д.х.н. А.Р. Туктаров (Институт нефтехимии и катализа РАН).

38. С целью разработки малотоксичных и избирательно действующих противоопухолевых препаратов нового поколения синтезированы гибридные молекулы на основе литохоловой и тетрадека-5Z,9Z-диен-1,14-дикарбоновой кислот, которые получены с использованием новой реакции каталитического цикломагнирования 1,2- диенов, открытой авторами. Для синтезированных гибридных молекул обнаружена высокая ингибирующая активность по отношению к ферментам клеточного цикла - человеческим топоизомеразам I и II. Указанные гибридные молекулы по своей ингибирующей активности в 3-5 раз превосходят активность камптотецина и иринотекана. Кроме того, в испытаниях *in vitro*, проведённых с привлечением современных методов проточной цитометрии и флуоресцентной микроскопии, синтезированные гибридные молекулы проявили высокую цитотоксическую активность, способность индуцировать апоптоз и арест клеточного цикла на линейке из 15 опухолевых клеточных линий. Руководитель работы – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. – профессор РАН В.А. Дьяконов, д.м.н. Л.У. Джемилева, к.х.н. А.А. Макаров (Институт нефтехимии и катализа РАН).

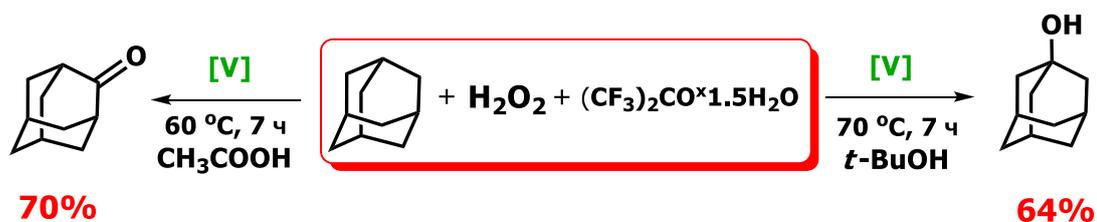


*Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 17 (2017) 1126-1135.

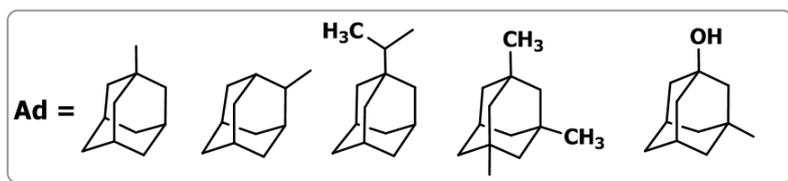
39. В развитие фундаментальных и прикладных исследований в области функционализации алмазоподобных углеводородов (адамтананоидов, диамандоидов) разработан высокоселективный метод прямого амидирования диаманта органическими нитрилами под действием цеолитного катализатора FeHY. Реакция проходит в условиях 140-150 °С, 5 ч с образованием 4-диамантиламидов с выходом 70-85%. Преимуществами цеолитного катализатора FeHY являются: доступность, легкость выделения целевых продуктов, низкий расход (5 % масс.), возможность многократного использования. 4-Диамнтиламиды легко могут быть превращены в 4-аминодиамтан, представляющий большой интерес в качестве противовирусного, антимикробного и ноотропного лекарственного препарата. Руководитель работы - профессор Р.И. Хуснутдинов; исп. - к.х.н., Н.А. Щаднева (Институт нефтехимии и катализа РАН).



40. Впервые осуществлена окислительная функционализация алмазоподобного полициклического углеводорода адамтанта с помощью системы пероксид водорода – гексафторацетон, ранее использованной для эпоксидирования олефинов. Реакция проходит в условиях: 60-70 °С, 7 ч, в присутствии ванадийсодержащего катализатора VO(асас)<sub>2</sub> с полной конверсией адамтанта. Направление реакции решающим образом зависит от природы растворителя. При окислении в *трет*-бутаноле преимущественно образуется 1-адамтанол (64%), в уксусной кислоте - 2-адамтанон (70%). Руководитель работы – профессор Р.И. Хуснутдинов; исп. – к.х.н. К.С. Кислицина (Институт нефтехимии и катализа РАН).



41. Разработан метод синтеза ранее неописанных 2,7-диадамантилзамещенных 4,9-диметил-2,3а,5а,7,8а,10а-гексазапергидропиренов каталитической циклоконденсацией адамантиламинов с формальдегидом и 2,6-диметил-1,4,5,8-тетраазадекалинами с использованием в качестве катализатора в данной реакции гранулированного цеолита Y высокой степени кристалличности и фазовой чистоты в Н-форме. Установлено, что с участием указанного катализатора 10 масс. % цеолита Y однореакторная циклоконденсация адамантиламинов (адамантил-1-амин, адамантил-2-амин, ремантадин, 3,5-диметил-адамантил-1-амин, 1-гидрокси-адамантил-3-амин) с формальдегидом и 2,6-диметил-1,4,5,8-тетраазадекалинами в найденных условиях (MeOH–H<sub>2</sub>O, 20 °С, 3 ч) проходит с селективным образованием 2,7-диадамантилзамещенных 4,9-диметил-2,3а,5а,7,8а,10а-гексазапергидропиренов с выходами 55–70%.

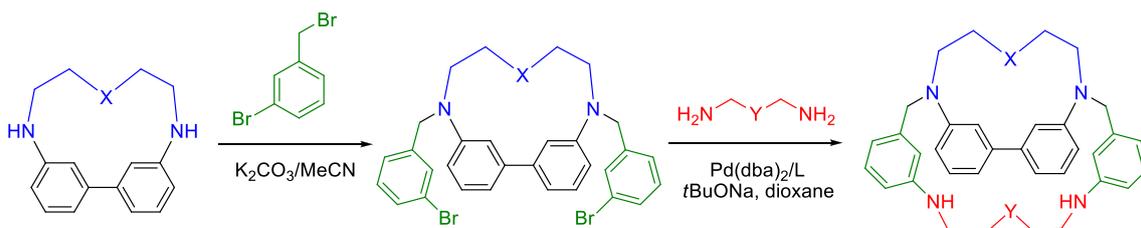


*Tetrahedron*, 73 (2017) 6880-6886.

Полученные полиазапергидропирены представляют большой интерес в качестве потенциальных биологически активных предшественников для

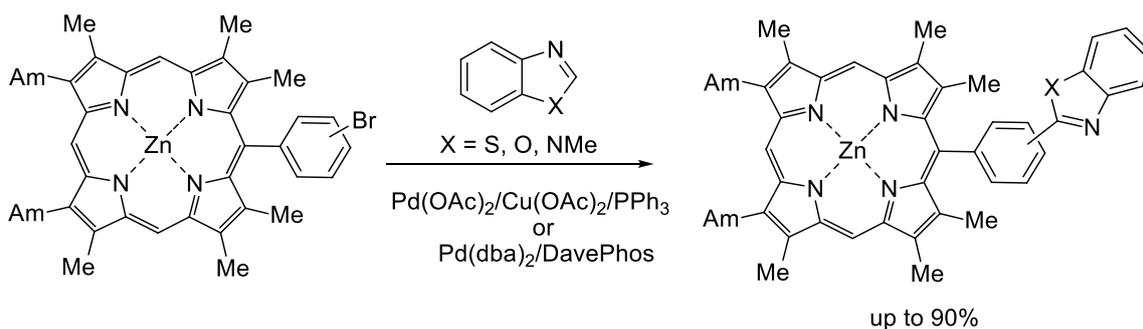
разработки современных лекарственных препаратов, в частности, обладающих высокой противомикробной активностью. Руководитель работы – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. - д.х.н. А.Г. Ибрагимов, к.х.н. Е.Б. Рахимова, асп. В.Ю. Кирсанов (Институт нефтехимии и катализа РАН).

42. Палладий-катализируемое аминирование успешно применено для синтеза исходных макроциклов на основе 3,3'-бифенила, которые далее были модифицированы бромбензильными заместителями, и на основе полученных соединений также методом Pd(0)-катализируемой макроциклизации было синтезировано новое семейство макроциклических соединений. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – д.х.н. А.Д. Аверин, к.х.н. Е.А. Тарасенко, к.х.н. А.Н. Углов (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



*Curr. Org. Synth.*, 14 (2017) 918-926.

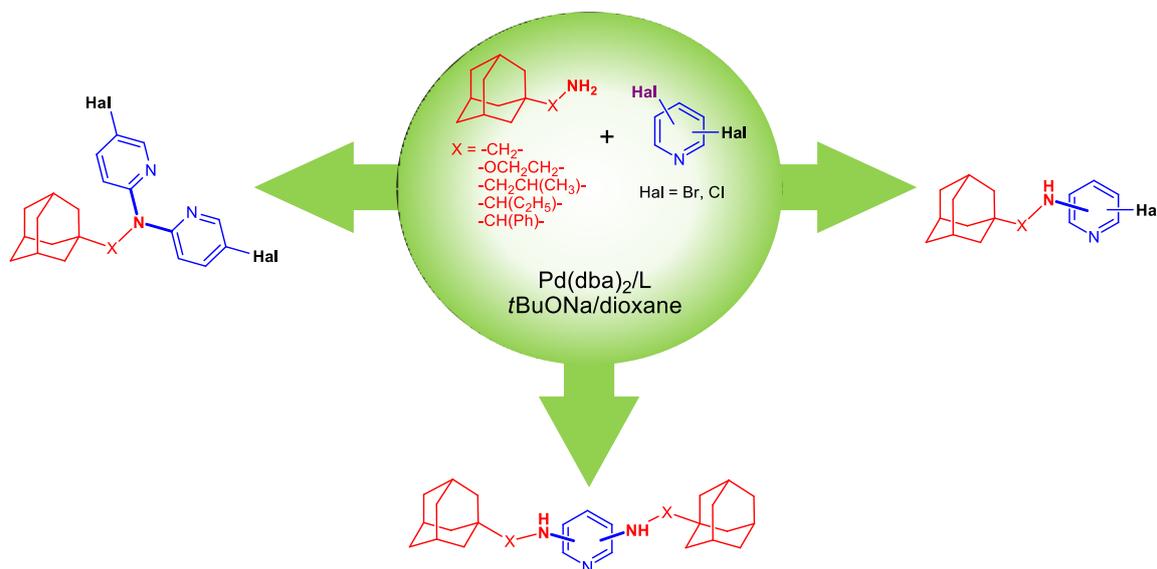
43. Исследованы условия каталитической C-H активации гетероаренов (бензтиазола, бензоксазола, N-метилбензимидазола) для прямого арилирования мезо-(бромфенил)порфиринами цинка, произведено сравнение различных каталитических систем на основе Pd(II) и Pd(II)/Cu(II), продемонстрированы преимущества второй перед первой, в результате показана область применимости данного подхода для синтеза моно-, ди-, и



*Beilstein J. Org. Chem.*, 13 (2017) 1524-1532.

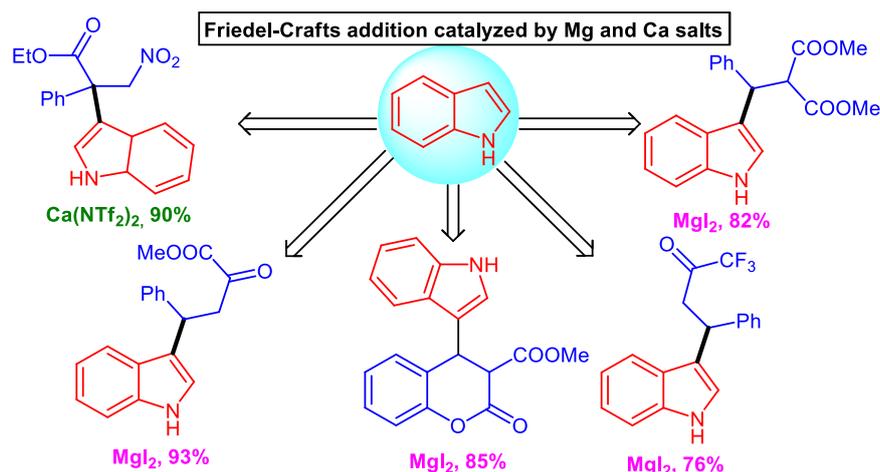
тетра(гетероарил)производных порфиринов цинка. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – д.х.н. А.Д. Аверин, А.Н. Киселев, О.К. Григорова (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

44. Разработан метод модификации разнообразных адамантансодержащих аминов, отличающихся пространственным окружением первичной аминогруппы, различными дибром-, бромхлор- и дихлорзамещенными пиридинами в условиях палладиевого катализа, показаны возможности и ограничения для синтеза N-монопиридинил, N,N-дипиридинилпроизводных, а также бис(адамантановых) производных симметрично замещенных пиридинов. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. - д.х.н. А.Д. Аверин, А.С. Абель (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



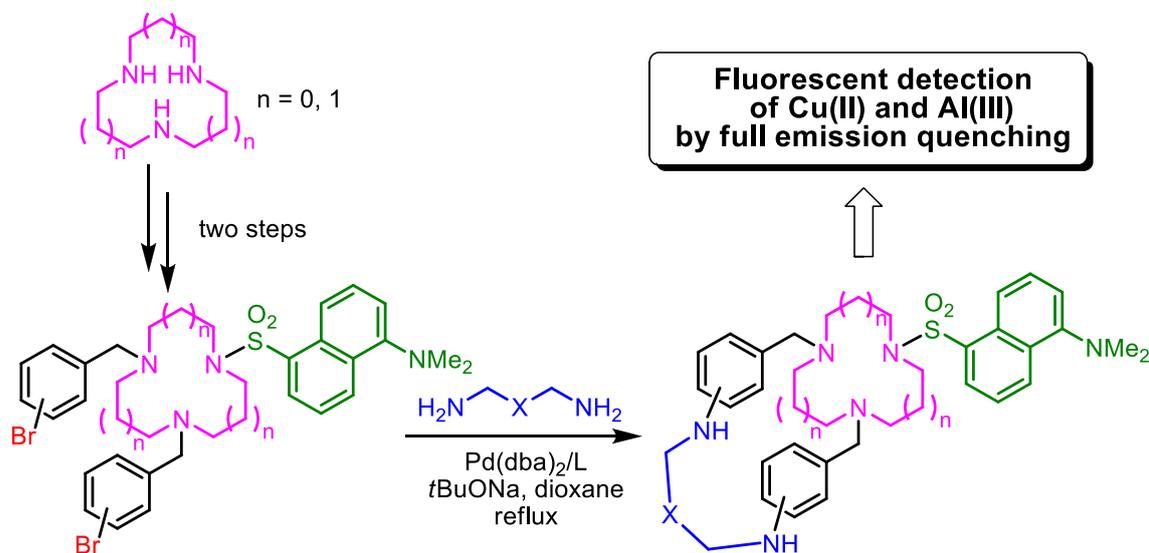
*Synthesis*, 49 (2017) 5067-5080.

45. Алкилирование индолов различными акцепторами Михаэля в условиях катализа кислотами Льюиса продемонстрировало большой потенциал применимости солей магния и кальция, причем в большинстве случаев наиболее эффективным оказался иодид магния, в то время как при присоединении к нитроолефинам более активным оказался трифлат кальция. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – д.х.н. А.Д. Аверин, к.х.н. М.В. Анохин, М.Н. Феофанов (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



*Synthesis*, 49 (2017) 5045-5058.

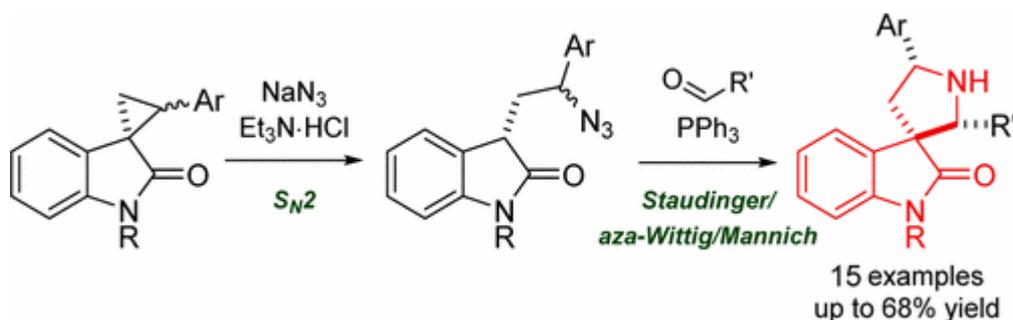
46. Новый метод синтеза бициклических соединений на основе триазациклононана и триазациклододекана с использованием палладий-катализируемого аминирования на ключевой стадии позволил синтезировать широкий круг потенциальных флуоресцентных детекторов для катионов меди и алюминия за счет наличия в их составе экзоциклического флуорофора – дансиламида. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – д.х.н. А.Д. Аверин, Н.М. Черниченко, О.А. Малошицкая. (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



*Synlett*, 28 (2017) 2800-2806.

47. Предложен новый синтетический подход к биологически активным спиро-[пирролидин-3,3'-оксиндолам] на основе каскадного превращения 3-(2-азидоэтил) оксиндолов через реакции Штаудингера / аза-Виттига / Манниха.

Синтезирована серия новых спиро-[пирролидин-3,3'-оклиндолов] с различными гетарильными заместителями в положениях С2 и С5 пирролидинового кольца. Эксперименты *in vitro* показали высокую цитотоксичность полученных соединений по отношению к линиям опухолевых клеток LNCaP и PC-3. Руководители работы – профессор А.Г. Мажуга, профессор М.Я. Мельников, д.х.н. Е.М. Будынина (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



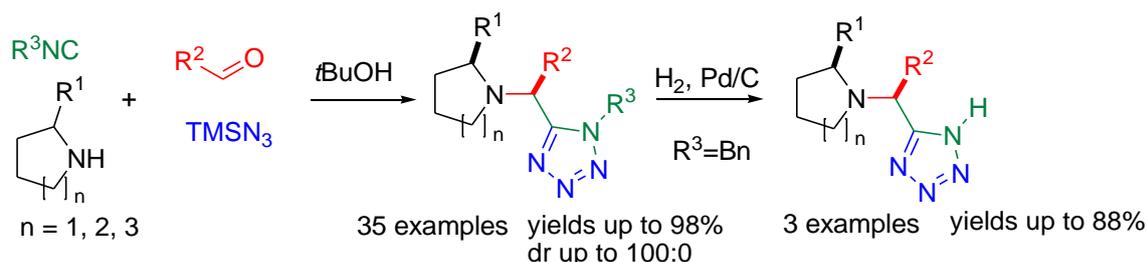
*J. Org. Chem.*, 82 (2017) 5689-5701.

48. Разработан метод синтеза N-(2-пиридил)-N'-этилпиперазинов, которые являются важными структурными мотивами биологически активных соединений. Описана новая методология быстрого и удобного синтеза целевых соединений, эффективная для субстратов, содержащих заместители различной электронной природы. Метод также характеризуется мягкими условиями реакции и высокой селективностью. Руководители работы – профессор М.А. Юровская и к.х.н. А.В. Карчава (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



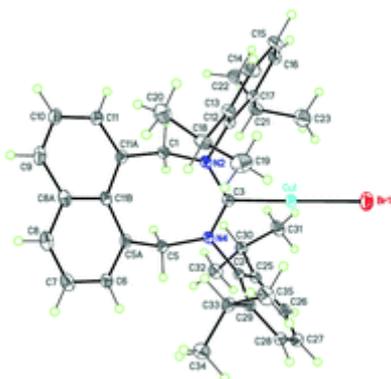
*J. Org. Chem.*, 82 (2017) 2136-2149.

49. Исследована диастереоселективность реакции азидо-Уги с циклическими аминами. Обнаружено, что реакция с  $\alpha$ -замещенными 5-7-членными циклическими аминами протекает очень эффективно, обеспечивая высокий контроль диастереоселективности (до 100% de). Целевые производные тетразола были выделены с выходами до 98%. Реакция имеет широкий диапазон возможностей с точки зрения природы амина, альдегида и изоцианида. Обнаружено, что диастереоселективность реакции зависит от размера исходных циклических аминов. Более жесткие пиперидины обеспечивали максимальную селективность реакции. Полученные N-бензилтетразолы могут быть превращены в соответствующих NH-тетразолов с высокими выходами. Руководитель работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет); исп. – проф. Хрусталеv В.Н. (РУДН) и Зарезин Д.П.



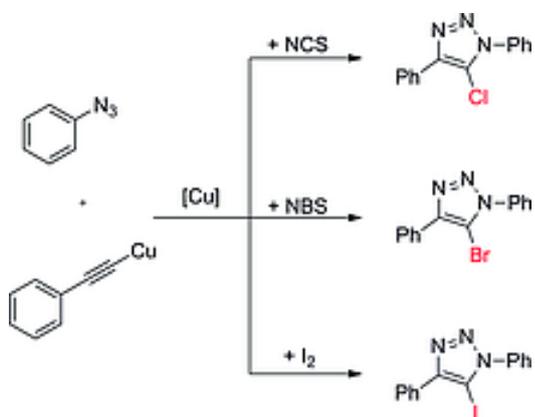
*J. Org. Chem.*, 82 (2017) 6100–6107.

50. Разработан новый тип N-гетероциклических карбенов с расширенным, восьмичленным, циклом, содержащем жесткий нафталиновый фрагмент в кольце. Проведено сравнительное теоретическое исследование стереоэлектронных свойств нового типа карбенов (4,5-дигидро-1H-напто[1,8-ef][1,3]дiazоцин-3(2H)-илиден, NaphtDHD) и карбенов с 5-, 6- и 7-членными циклами. Синтезированы амидиниевые соли, генерирован свободный карбен, получены комплексы карбена с серебром(I) и медью(I). На основе комплекса меди [(NaphtDHD-Mes)CuBr] разработана высокоэффективная каталитическая система циклизации органических азидов с терминальными ацетиленами (CuAAC) в условиях без использования органических растворителей. Руководители работы – профессор РАН М.С. Нечаев и к.х.н. А.Ф. Асаченко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



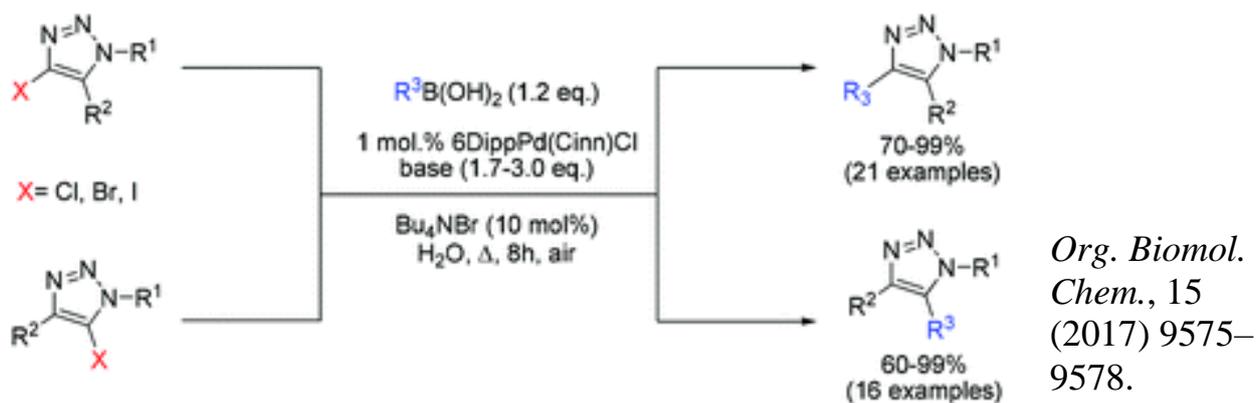
*Dalton Trans.*, 46 (2017) 4331–4345.

51. Разработан общий метод синтеза 1,4-дизамещенных-5-гало-1,2,3-триазолов. Целевые соединения получают в двухстадийном процессе в одном реакционном сосуде. На первом этапе происходит циклизация органического азида с ацетиленидом меди, катализируемая комплексом меди с N-гетероциклическим карбеном. На втором, галогенирование происходит с использованием NCS, NBS или I<sub>2</sub>. Руководители работы – профессор РАН М.С. Нечаев и к.х.н. А.Ф. Асаченко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

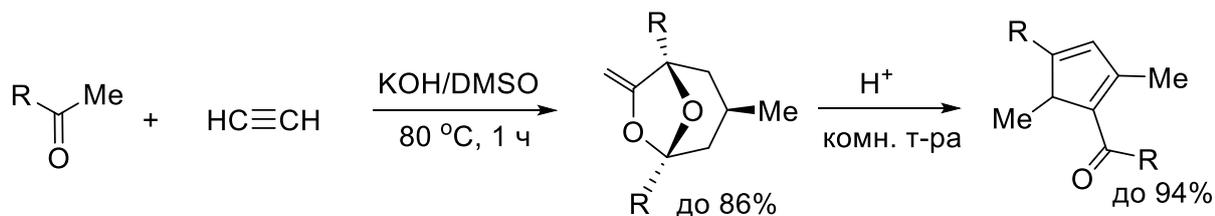


*Eur. J. Org. Chem.* 2017, 5225–5230

52. Разработан общий метод синтеза 1,4,5-тризамещенных-1,2,3-триазолов с помощью реакции кросс-сочетания Сузуки-Мияуры 4- и 5-гало-1,2,3-триазолов. Реакция катализируется комплексом палладия с N-гетероциклическим карбеном с расширенным циклом в воде. Разработанный метод отвечает требованиям «зеленой химии». Впервые сообщается о кросс-сочетании 4- и 5-хлор-1,2,3-триазолов. Руководители работы – профессор РАН М.С. Нечаев и к.х.н. А.Ф. Асаченко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



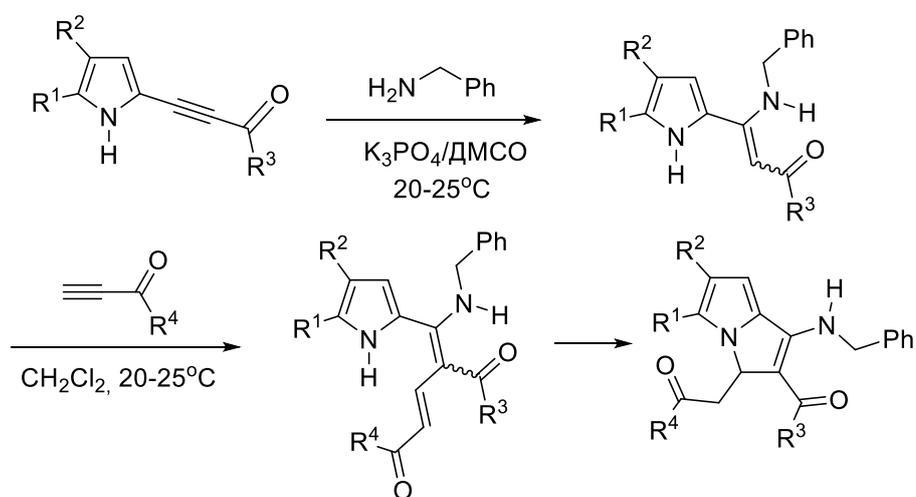
53. Разработан атом-экономный двухстадийный синтез ацилциклопентадиенов из кетонов и ацетилена, основанный на их диастереоселективной самоорганизации с образованием 7-метилен-6,8-диоксибицикло[3.2.1]октанов в суперосновной каталитической системе КОН/ДМСО. Легкая (комнатная температура) кислотнo-каталитическая перестройка бициклооктанов приводит через последовательность карбокатионных интермедиатов к ацилциклопентадиенам с высоким выходом. Метод носит общий характер, охватывая кетоны разнообразного строения, и открывает новые широкие возможности для развития химии циклопентадиенов (диеновый синтез, металлоцены, карбанионные превращения, функционализация по карбонильной группе). Промежуточные метилендиоксибициклоктаны - близкие родственники феромонов насекомых, гормонов млекопитающих и токсинов морских организмов, отличаясь от них высокоактивной двойной связью, представляют собой многоцелевые строительные блоки для тонкого органического синтеза. Руководитель работы – академик Б.А. Трофимов; отв. исп. – д.х.н. Е.Ю. Шмидт; исп. – к.х.н. И.А. Бидусенко (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН).



R - ароматические (включая конденсированные) и гетероароматические заместители

*Org. Lett.*, 19 (2017) 3127-3130.

54. Осуществлен эффективный синтез аминодикетопирролизинов (аналогов противоопухолевых антибиотиков) с повышенной реакционной способностью. Синтез основан на гидроаминировании ацилэтинилпирролов. Пирролы с такой функционализацией легко получают некаталитическим кросс-сочетанием пирролов с ацилгалогенацетиленами в среде  $Al_2O_3$  (реакция открыта в ИрИХ СО РАН). Последующая реакция аддуктов с ацилацетиленами приводит к синтезу целевых пирролизинов. Особенностью сборки этих глубоко функционализированных пирролизинов является беспрецедентно легкое (комнатная температура, без катализатора) присоединение CН-связи к ацетиленовому фрагменту (при наличии в молекуле двух NH-функций) с образованием промежуточных диендионов. Руководитель работы – академик Б.А. Трофимов; отв. исп. – д.х.н. Л.Н. Собенина; исп. – к.х.н. Д.Н. Томилин (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН).

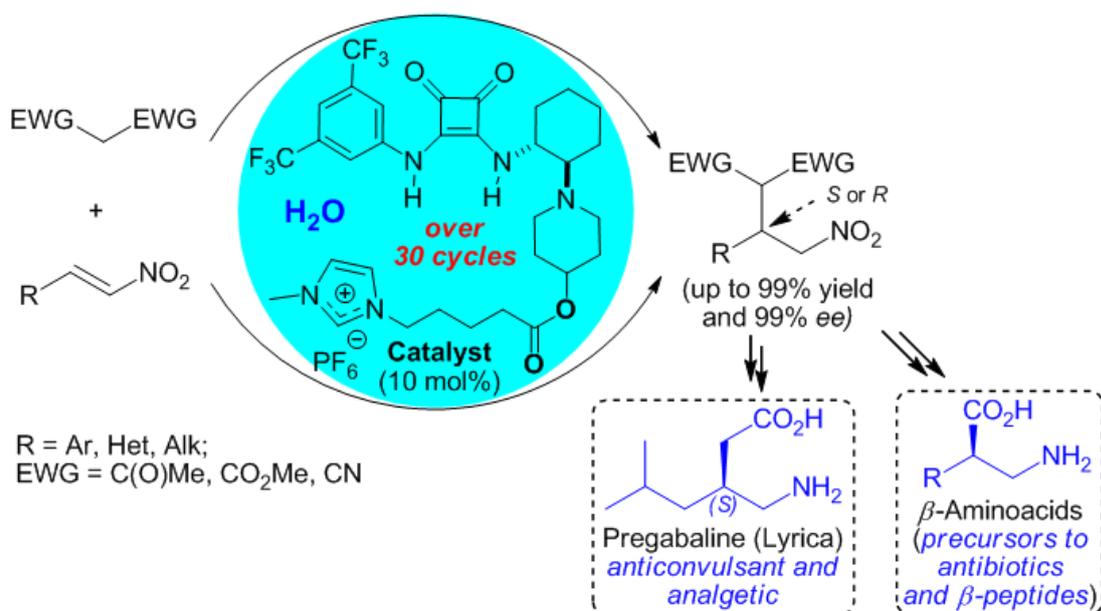


$R^1, R^2, R^3, R^4$  - алифатические, ароматические и гетероароматические заместители

*Org. Lett.*, 19 (2017) 1586-1589.

55. Разработан новый тип иммобилизованных органокатализаторов на основе модифицированных ионными группами хиральных третичных аминов, содержащих фрагмент квадратной кислоты. Особенностью этих катализаторов является их способность осуществлять эффективную стереоиндукцию в гетерогенных системах водных средах, образуя с реагентами стереоконтролирующие водородные связи. В предложенных

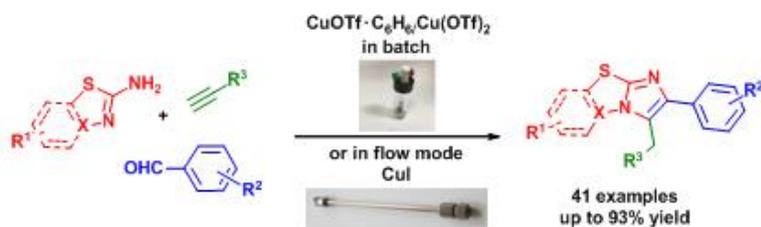
условиях  $\beta$ -дикарбонильные соединения образуют с  $\alpha$ -нитроолефинами соответствующие аддукты Михаэля с практически количественным выходом и энантиоселективностью до 99% ee. При этом катализатор, подобно природным ферментам, легко отделяется от продуктов и может быть введен в реакции многократно (более 30 раз) без уменьшения их продуктивности и селективности. Некоторые из полученных соединений являются близкими предшественниками важных для фармакологии неприродных  $\beta$ -аминокислот и наиболее активного (S)-энантиомера применяемого в клинике антиконвульсанта «Прегабалин» (торговая марка «Lyrica»). Руководитель работ - профессор С.Г. Злотин; исп. - к.х.н. А.С. Кучеренко, Р.Ш. Тухватшин (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



*ACS Catal.*, 2017, 7, 2981-2989

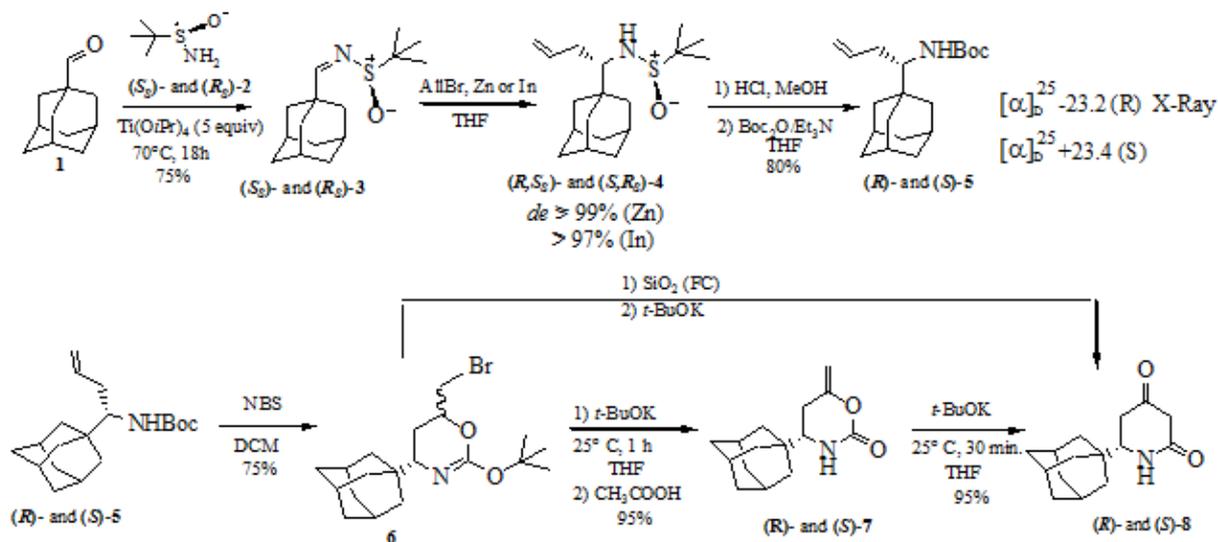
56. Разработан новый общий метод синтеза имидазо[2.1-b]тиазолов, имидазо[2.1-b]бензотиазолов и имидазо[2,1-b]-[1,3,4]тиадиазолов на основе Cu(I)/Cu(II)-сокатализируемой гетероциклизации 2-аминотиазолов с альдегидами и ацетиленами. Показана принципиальная возможность проведения реакции в стандартном лабораторном оборудовании и в проточном реакторе непрерывного действия. Синтезированные соединения представляют интерес как высокоаффинные аллостерические модуляторы рецепторов  $\gamma$ -аминомасляной кислоты типа А. Руководитель работ — д.х.н.

И.В. Заварзин; исп. - к.х.н. Ю.А. Волкова, И.В. Рассохина (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



*J. Org. Chem.*, 2017, 9682–9692.

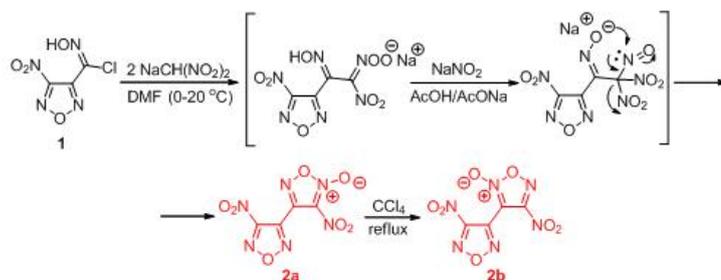
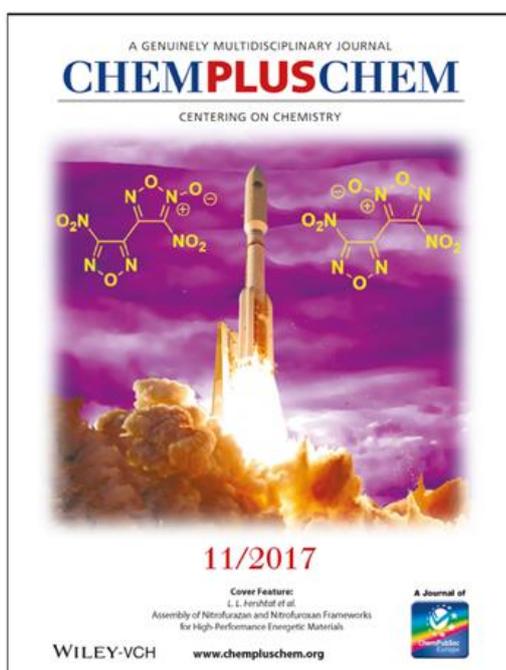
57. Синтезирована серия (R)- и (S)-изомеров новых адамантан-замещенных гетероциклов (1,3-оксазин-2-он, пиперидин-2,4-дион, пиперидин-2-он и пиперидин), проявивших высокую активность против резистентных к ремантадину штаммов вируса гриппа А (Калифорния, Оренбург-2016) Руководитель работ — академик Ю.Н. Бубнов, (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН), совместно с ИНЭОС РАН (к.х.н. Н.Ю. Кузнецов).



*Org. Biomol. Chem.*, 2017, 15, 3152-3157

58. Разработан метод синтеза безводородных энергоемких структур — изомерных динитрофуразанилфуроксанов, объединяющих в одной молекуле нитрофуразановый и нитрофуроксановый фрагменты, связанные С-С связью.

Первый изомер получен через каскад one-pot процессов, включающих ацилирование, нитрозирование образовавшегося интермедиата и внутримолекулярную циклизацию продукта нитроирования. Второй изомер образуется с высоким выходом при термической изомеризации первого. По своим энергетическим характеристикам полученные структуры превосходят известные энергоемкие соединения гексоген и октоген, однако уступают им по термической стабильности и чувствительности к механическим воздействиям. Аннотация статьи размещена на обложке журнала ChemPlusChem. Руководитель работы - профессор Н.Н. Махова; исп. - к.х.н. Л.Л. Ферштат (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).

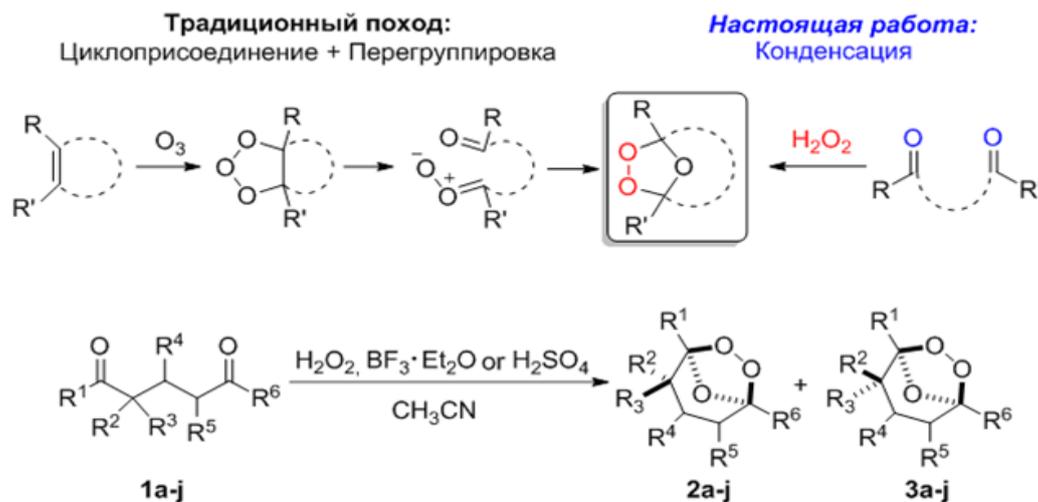


Свойства	2a	2b	RDX	HMX
$\rho$ (г/см <sup>3</sup> )	1.92	1.934	1.97	1.91
$T_{m.p.}$ (°C)	96	102	204	280
$T_{d.50\%}$ (°C)	146	140	204	280
$\Delta H_f^\circ$ (кДж/моль)	417.5	417.5	70.3	74.8
IS (Дж)	2.6	2.8	8	7
FS (H)	67	82	140	150
D (км/с)	9.18	9.23	8.80	9.14

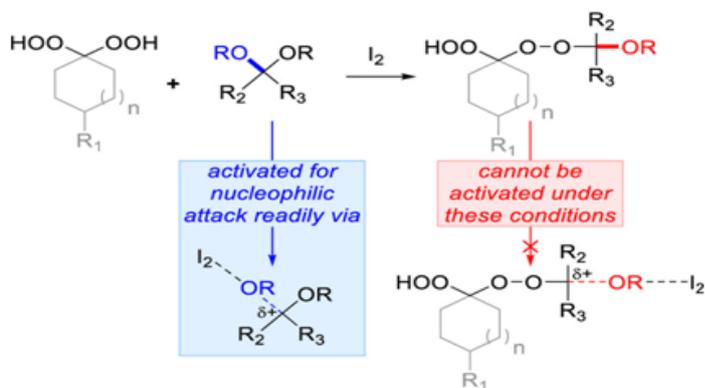
*ChemPlusChem*, 2017, 82, 1315-1319

59. Открыт удобный способ синтеза мостиковых вторичных озонидов в граммовых количествах из 1,5-дикетонов и пероксида водорода. Это первый пример синтеза озонидов без использования озона. Полученные соединения перспективны в качестве антипаразитарных и противоопухолевых средств. Проведено первое систематическое исследование внутримолекулярного  $\alpha$ -эффекта в стабильных структурах органических пероксидов в основном состоянии и в интермедиатах с применением аномерного эффекта. Показано, что пероксидная группа в меньшей степени стабилизирует карбокатионный

центр в сравнении с алкоксильной группой Руководитель работ — чл.-корр. РАН А.О. Терентьев; исп. – к.х.н. И.А. Яременко (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН) совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова, РХТУ им. Д.И. Менделеева, ИФХЭ РАН, ИНЭОС РАН, ВНИИ фитопатологии, Национальным политехническим институтом Мексики и Университетом Флориды (США).

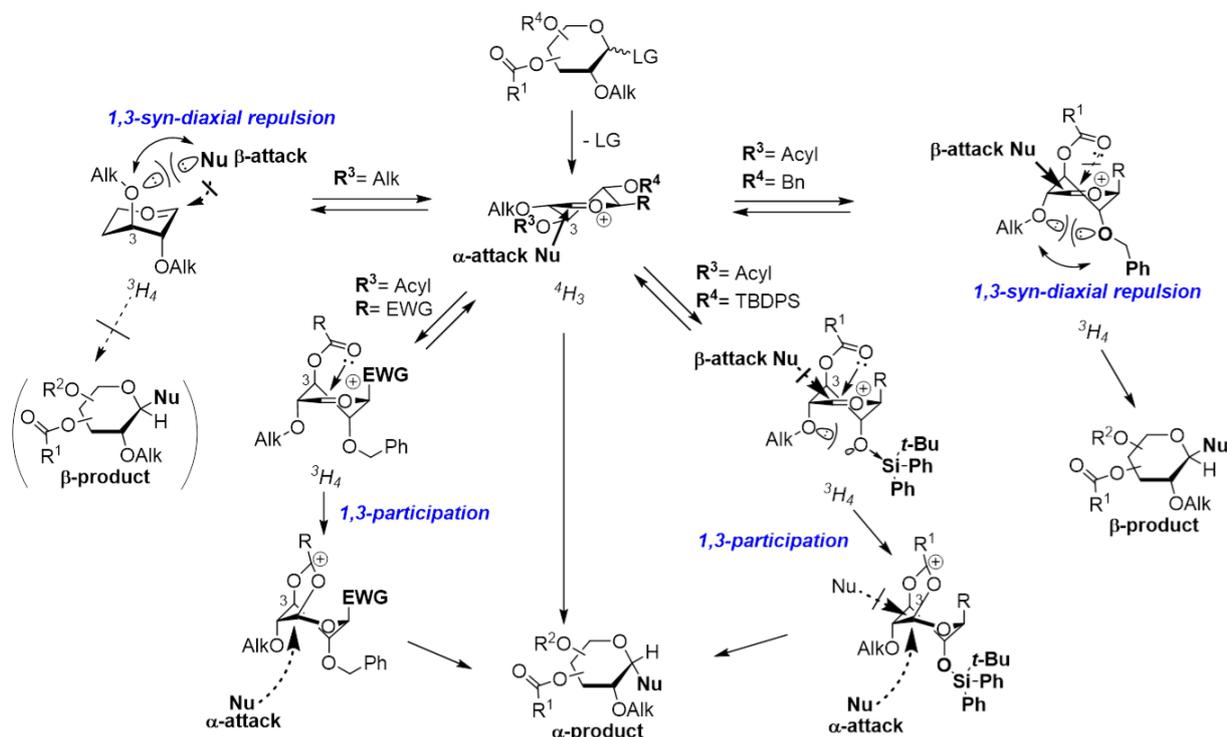


*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, 56 (18), 4955-4959



60. Получены новые данные о внутримолекулярных стереоконтролирующих факторах, позволяющих высокоизбирательно, а в ряде случаев – стереоспецифично, проводить построение 1,2-циклогликозидной связи в случае глюкозил- и галактозил-доноров. Разработанные подходы использованы для получения серии олигосахаридных производных, отражающих структурные фрагменты антигенных полисахаридов клеточной стенки грибковых и бактериальных патогенов. Руководитель работ — чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьев; отв. исп. - к.х.н. Б.С. Комарова, к.х.н. Ю.Е.

Цветков, к.х.н. А.Г. Гербст (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).

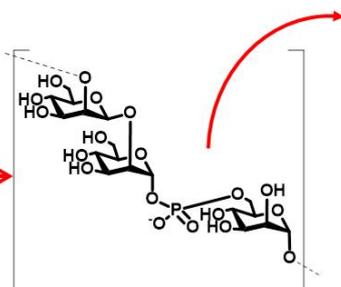


*J. Org. Chem.* 82 (2017) 8897–8908; *Org. Chem. Front.* (2018) DOI: 10.1039/C7QO01007A

60. С использованием теоретических расчетов и ЯМР-экспериментов по ядерным эффектам Оверхаузера и далёким константам спин-спинового взаимодействия впервые проведён систематический конформационный анализ псевдодисахаридных производных, содержащих межзвеньевой фосфатный мостик. Полученные данные сформировали основу для комплексного исследования 3D структуры и конформационной подвижности бактериальных и грибковых антигенных полисахаридов, указанного типа. Среди них изучены модели иммунодоминантного фрагмента антигенного полисахарида грибкового патогена *Candida albicans*, вызывающего инвазивный кандидоз, трудно поддающийся терапии антибиотиками. Полученные данные использованы в дизайне вакцины для лечения кандидозов. Результаты работы опубликованы в журнале *Scientific Reports* (входит издательскую группу *Nature*). Руководитель работ — чл.-корр. РАН Н.Э. Нифантьев; исп. - к.х.н. А.Г. Гербст и д.х.н. А.С. Шашков (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).

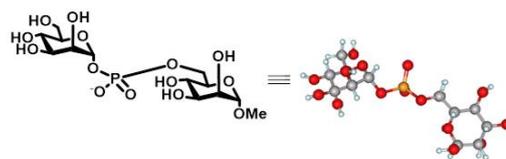


*Candida albicans* - грибковый патоген, вызывающий тяжелые заболевания, включая инвазивный кандидоз, трудно поддающийся лечению антибиотиками

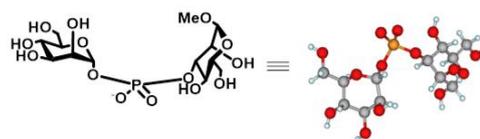
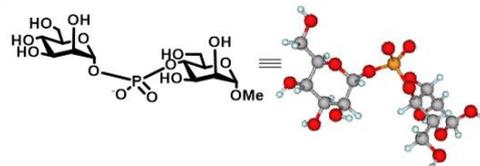


Поверхностный антигенный полисахарид – вакцинальная мишень

**Конформер псевдодисахаридной модели:**



**Конформеры изомерных моделей:**



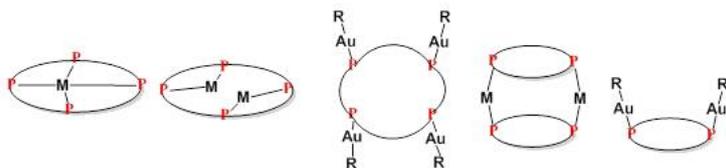
Результаты конформационного анализа использованы в дизайне вакцины для лечения инвазивного кандидоза

**Scientific Reports, 7 (2017) 8934**

## Достижения в области химии элементоорганических соединений

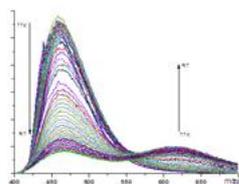
1. Получены новые комплексы переходных металлов подгруппы меди с гетероциклическими фосфинами, содержащими экзоциклические хромофорные центры, обладающие специфическим люминесцентным откликом на супрамолекулярное связывание с органическими субстратами. Эффект проявляется не только в кристаллической фазе, но и в растворе, а его величина достигает рекордных значений сдвига полосы эмиссии до 150 нм. Руководитель работы – академик О.Г. Синяшин, отв. исп. – д.х.н. А.А. Карасик; исп. - к.х.н. И.Д. Стрельник, И.Р. Даянова, к.х.н. Э.И. Мусина, д.х.н. А.Р. Мустафина, к.х.н. Н.А. Шамсутдинова, к.х.н. А.С. Балуева, к.х.н. Т.П. Герасимова (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).

Типы координации АМФ с  $d^{10}$  металлами подгруппы меди



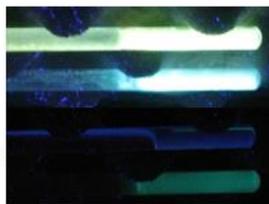
Типы люминесцентной сенсорики

Термохромизм  
люминесценции

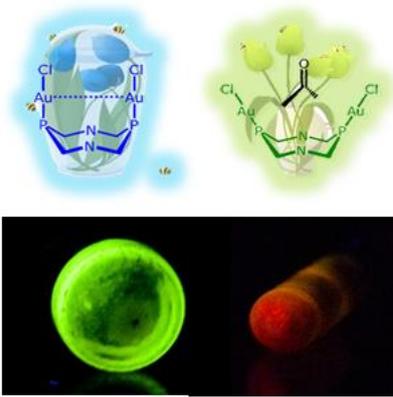


77K

273K



Вапохромизм  
люминесценции

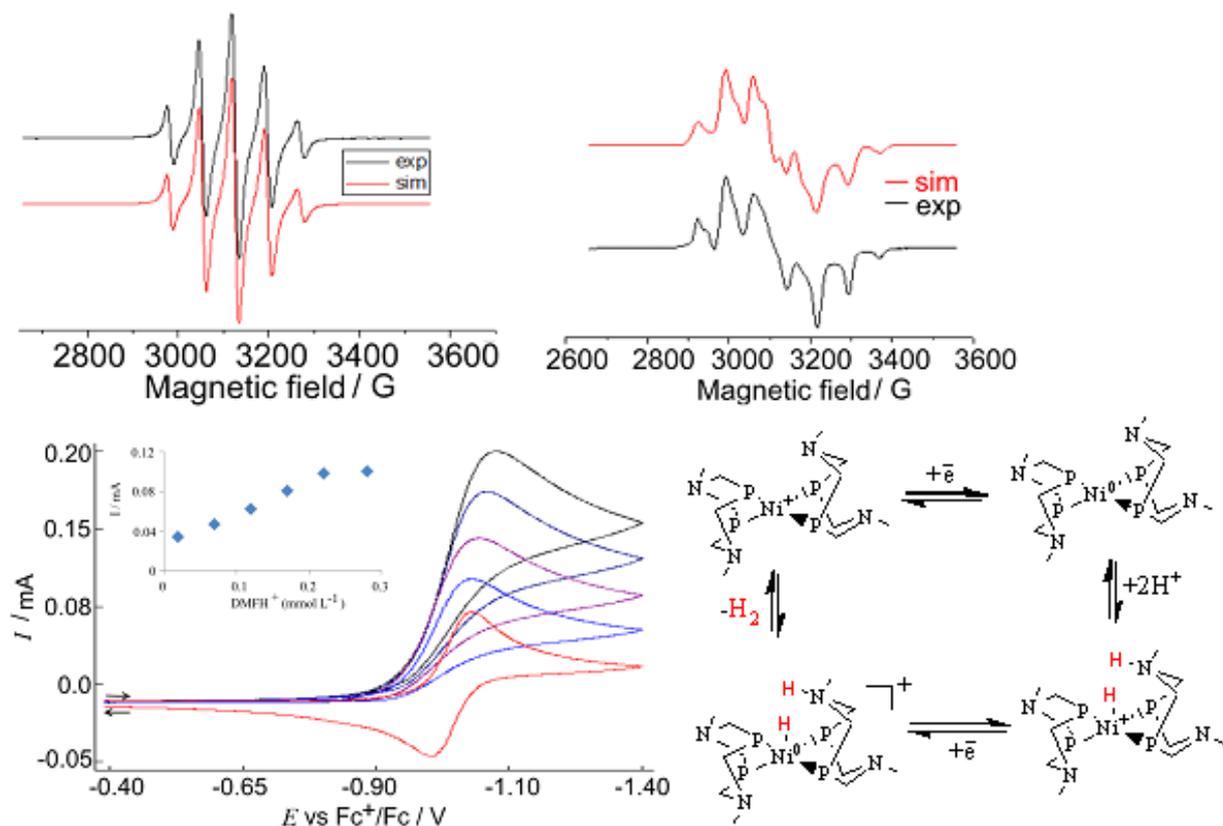


*Pure Appl. Chem.*, 89  
(2017) 293-309; 331-339.

*Polyhedron*, 139  
(2018) 1-6.

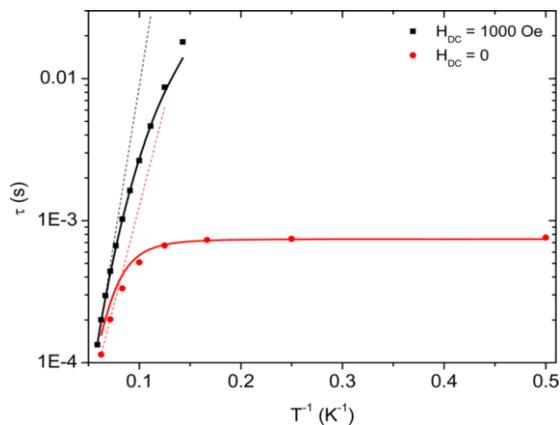
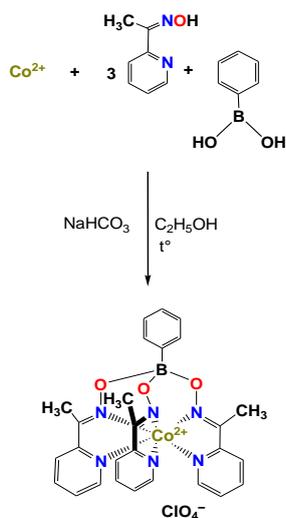
2. Впервые путем электролиза комплексов Ni (II) с 1,5-диаза-3,7-дифосфациклооктановыми лигандами  $[\text{Ni}(\text{PPh}_2\text{NR}_2)_2]^{2+}$  синтезированы новые парамагнитные комплексы Ni(I) и Ni(II)-H - малоизученные ключевые интермедиаты реакций выделения/окисления водорода с участием

синтетических гидрогеназ. Показана их высокая каталитическая активность при генерации водорода из протонодонорных сред. Руководитель работы – академик О.Г. Синяшин; отв. исп. – д.х.н. Ю.Г. Будникова; исп. – к.х.н. В.В. Хризанфорова, профессор А.А. Карасик, к.х.н. В.И. Морозов (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).

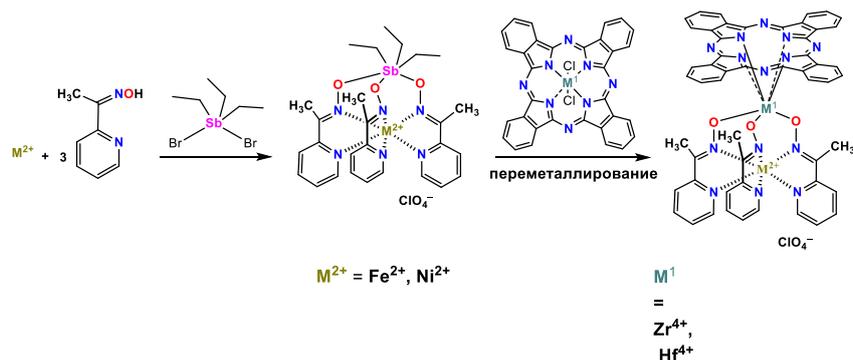


3. Впервые получены трис-пиридиноксиматные комплексы кобальта(II), являющиеся новыми мономолекулярными магнитами и их гибридные фталоцианин-содержащие аналоги. Вышеупомянутые комплексы кобальта отличаются исключительно высокими барьерами перемагничивания, легкостью синтеза и химической устойчивостью, что выгодно отличает их от других типов молекулярных магнетиков. Химические соединения, молекулы которых могут долгое время сохранять свою намагниченность в отсутствие внешнего магнитного поля (*т.н.* мономолекулярные магниты), находят свое практическое использование в спинтронике, в первую очередь, для создания устройств сверхплотного хранения информации, спиновых транзисторов и элементов квантовых компьютеров. Руководитель работы – профессор Я.З. Волошин; отв. исп. – к.х.н. В.В. Новиков; исп. – Ю.В. Нелюбина,

Н.Н. Ефимов, А.А. Павлов, С.А. Савкина, А.С. Белов (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).

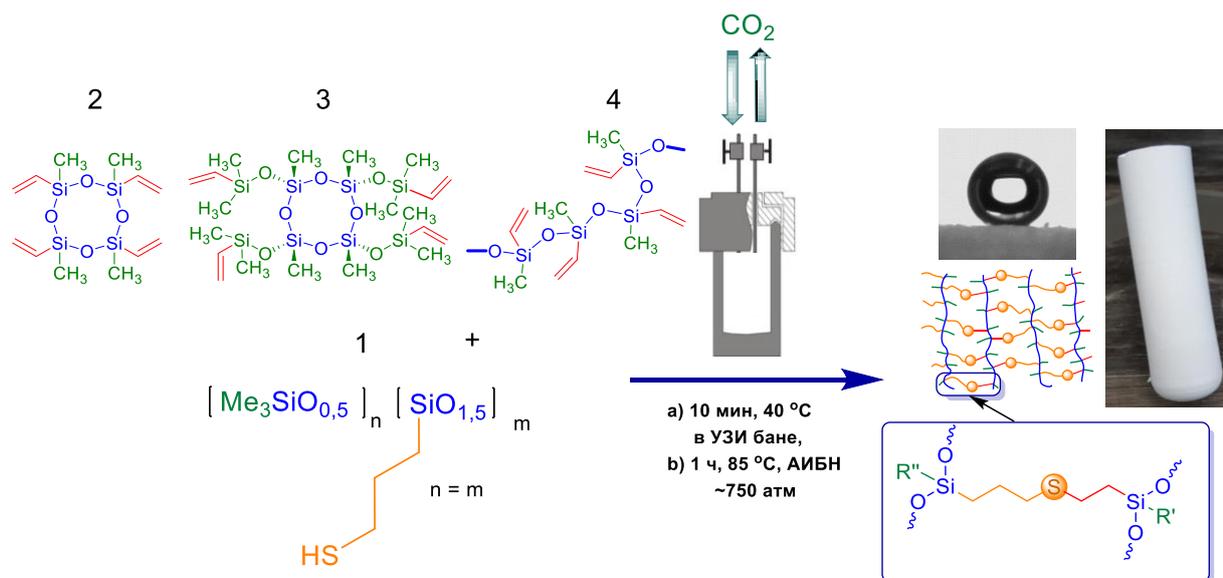


*Inorg. Chem.* 56 (2017) 6943-6951.



*New. J. Chem.* 41 (2017) 3251 – 3259.

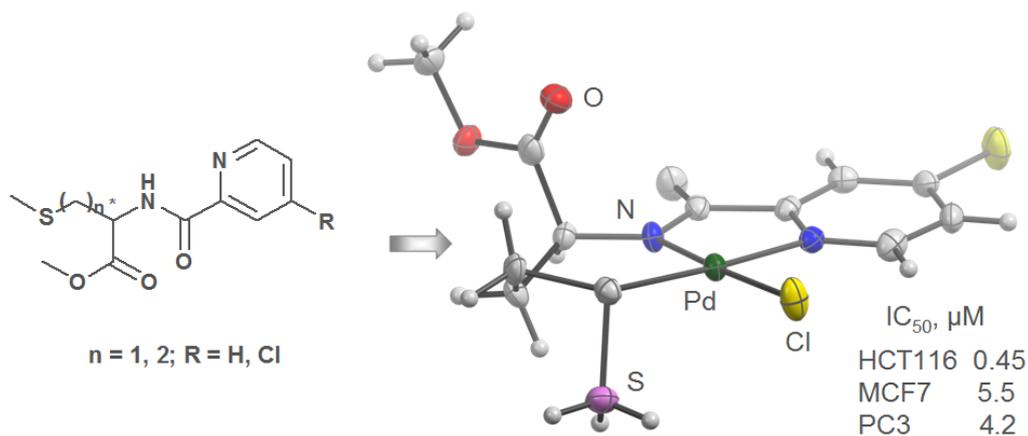
4. Впервые получены кремнийорганические супергидрофобные аэрогели одностадийным методом по реакции радикального полиприсоединения «тиол-ен»-типа в сверхкритическом диоксиде углерода. Метод позволяет регулировать плотность и механические свойства аэрогелей в широких пределах. В отличие от классических поликонденсационных подходов, разработанный метод позволяет более чем на порядок сократить время изготовления образцов, благодаря чему он имеет ясные перспективы практической реализации. Руководитель работы – академик РАН А.М. Музафаров; отв. исп. – М.Н. Темников; исп. – Ю.Н. Кононевич, И.Б. Мешков, М.И. Бузин, В.Г. Васильев, Г.Г. Никифорова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



№	Прекурсор: SH/Vin	Плотность (г мл <sup>-3</sup> )	Удельная поверхность (ВЕТ) (м <sup>2</sup> г <sup>-1</sup> )	Контактный угол смачивания (°)	Модуль Юнга (МПа)
1	1/2	0.22	-	152	0.270
2	1/3	0.44	4.4	148	0.160
3	1/4	0.22	12.1	152	2.0
4	1/4	0.14	-	148	0.055
5	1/4	0.097	-	154	0.025

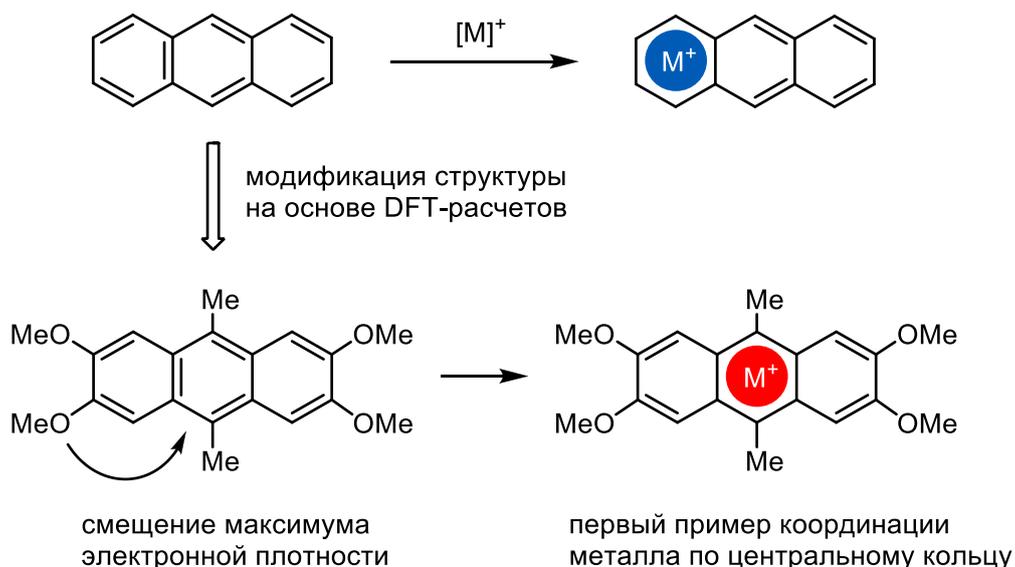
*Polymer*, 138 (2018) 255-266.

5. Разработан принципиально новый класс потенциальных противоопухолевых препаратов на основе пинцерных комплексов палладия, обладающих высокой цитотоксичностью по отношению к клеткам различных опухолевых линий человека. Преимуществами данных соединений являются легкость синтеза путем модульной сборки из широкого ряда доступных реагентов и возможность тонкого регулирования биологической активности за счет многочисленных направленных структурных модификаций. Показана возможность получения потенциальных лекарственных средств без использования токсичных органических растворителей в полном соответствии с современной концепцией «зеленой химии». Руководитель работы – д.х.н. В.А. Козлов; исп. – к.х.н. Д.В. Алексанян, к.х.н. С.Г. Чурусова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН), совместно с Российским онкологическим научным центром им. Н.Н. Блохина (к.б.н. Е.Ю. Рыбалкина).



*Inorg. Chem.* 56 (2017) 9834-9850.

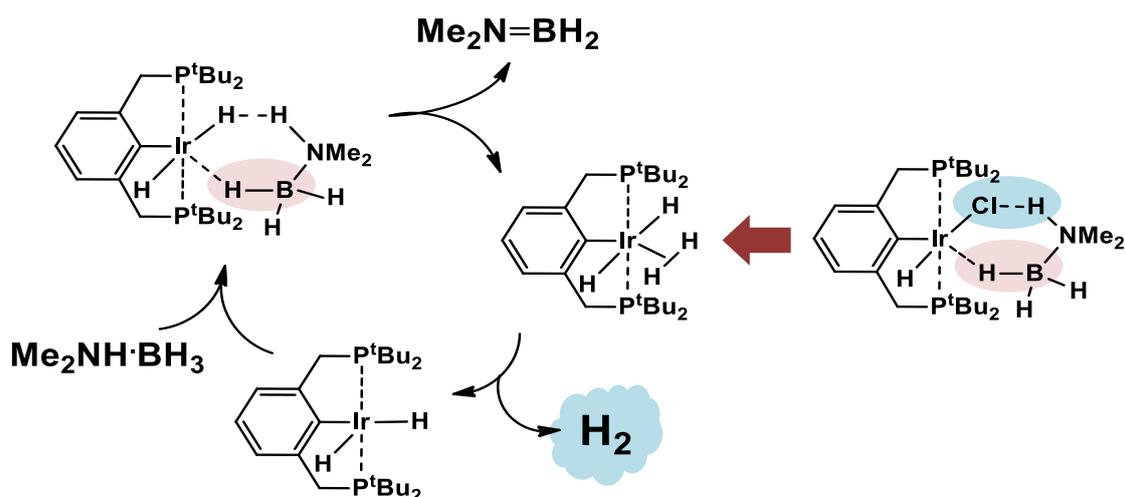
6. На основе квантово-химических расчетов впервые спланирован и осуществлен синтез комплексов переходных металлов с координацией по центральному кольцу полиароматической молекулы. Показано, что введение метокси-групп смещает максимум электронной плотности из периферийных колец антрацена в центральное, что изменяет тип координации металла. Предполагается, что такой подход позволит селективно изменять свойства полициклических ароматических молекул. Руководитель работы – д.х.н. Д.С. Перекалин; исп. – к.х.н. Э.Э. Карслян, А.О. Борисова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Angew. Chem. Int. Ed.* 56 (2017) 5584.

7. Спектральными методами зафиксированы интермедиаты реакции и в комбинации с данными DFT расчета предложен механизм активации катализатора и каталитического цикла дегидрирования амин-боранов в

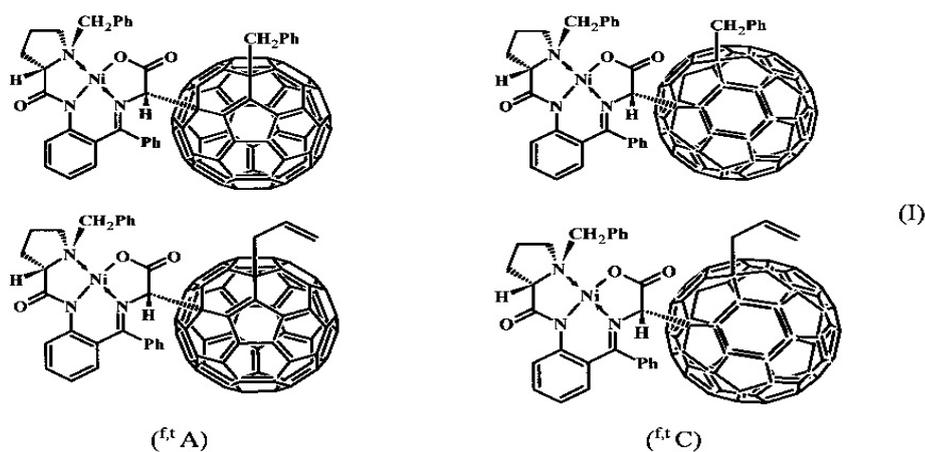
присутствии пинцерных комплексов иридия на примере (tBuPCP)IrH(Cl). Впервые показана ключевая роль нековалентных взаимодействий в координации субстрата, приводящей к одновременной активации В-Н и Ir-Cl связей. Руководители работы – д.х.н. Н.В. Белкова, профессор Е.С. Шубина; исп. – к.х.н. Е.М. Титова, Е.С. Осипова, к.х.н. А.А. Павлов, д.х.н. О.А. Филиппов, к.х.н. С.В. Сафронов (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*ACS Catal.*, 7 (2017) 2325-2333.

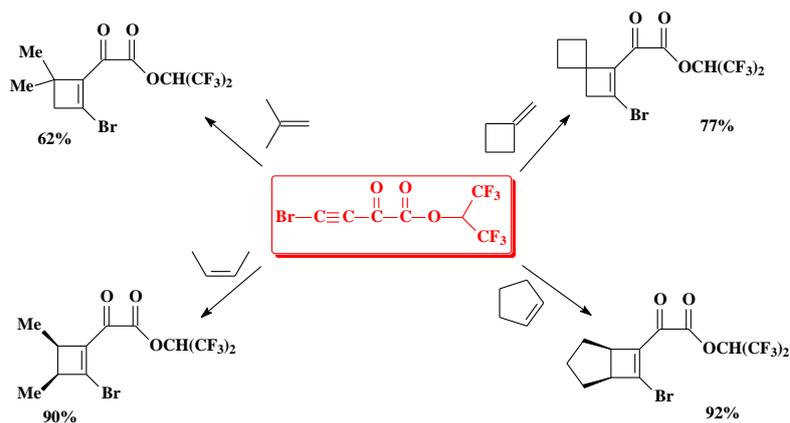
8. Разработан метод стереоселективного синтеза (*S*)- $\alpha$ -фуллеренилглицина, в котором  $\alpha$ -углеродный атом аминокислоты впервые напрямую связан с фуллереновым ядром, в форме комплекса Ni(II) основания Шиффа с хиральным лигандом в виде хиральных (f,t A) и (f,t C) 1,4-аддуктов формулы (I), который включает следующие стадии: а) модификация исходной аминокислоты введением ее основания Шиффа в комплекс никеля [(*S*)-ВРВ-Gly]Ni(II); б) депротонирование аминокислотного фрагмента полученного комплекса; в) стереоселективное взаимодействие депротонированного комплекса с фуллереном с образованием карбаниона фуллерена; г) взаимодействие карбаниона фуллерена с электрофилом с образованием диастереомерной смеси фуллереновых (f,tA) и (f,tC) 1,4-аддуктов, содержащих (*S*)- $\alpha$ -аминокислотный фрагмент, напрямую связанный с фуллереновым ядром через  $\alpha$ -углеродный атом, в виде основания Шиффа в координационной сфере Ni(II); д) выделение и хроматографическое

разделение продуктов с получением оптически чистых фуллереновых (f,tA) и (f,tC) 1,4-аддуктов, содержащих (S)- $\alpha$ -аминокислотный фрагмент в координационной сфере Ni(II). Руководители работы – д.х.н. К.А. Кочетков и д.х.н. Т.В. Магдесиева; исп. – д.х.н. Ю.К. Гришин, к.х.н. О.А. Левитский, О.О. Семивражская, к.х.н. А.А.Амбарцумян (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН совместно с химическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова).



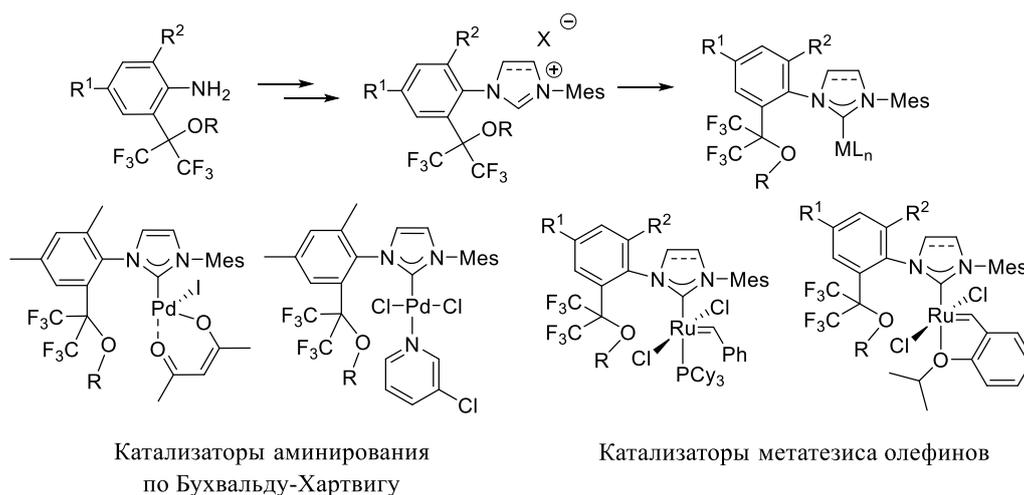
*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2017**, 56, 2704-2708.

9. Разработан простой метод синтеза ранее неизвестного бромзамещенного алкина, содержащего фрагмент полифторированного эфира пировиноградной кислоты. Этот алкин, по-видимому, является самым электрофильным из известных на данный момент производных ацетилена. В отсутствие фотооблучения и катализатора он вступает в орбитально запрещенные реакции [2+2]-циклоприсоединения с неактивированными алкенами. Образующиеся при этом производные циклобутена являются универсальными билдинг-блоками в органическом синтезе. Содержащийся в них структурный элемент  $\beta$ -галогенвинилкетон позволяет использовать их как гетероциклизирующие реагенты для получения конденсированных циклобутаногетероциклов, тогда как хорошая уходящая гексафторизопропильная группа открывает возможности для «пришивания» этих гетероциклов к аминокислотам, пептидам, сахарам и другим молекулам природного происхождения. Руководитель работы – д.х.н. А.Б. Колдобский (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



Изв. Академии наук, Сер. хим., (2017) 2345.

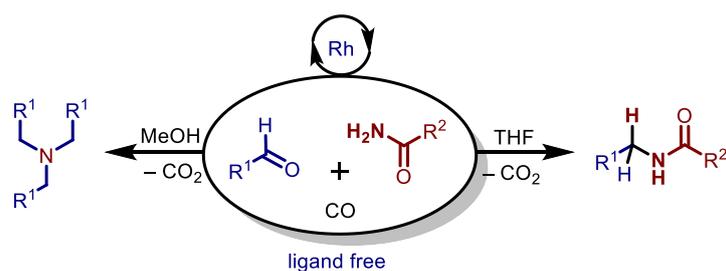
10. Разработаны удобные методы синтеза недоступных ранее предшественников несимметричных ННС-лигандов – имидазолиевых и дигидроимидазолиевых солей с *N*-арильными заместителями, один из которых содержит в *орто*-положении объемную гексафторизопропильную группу с дополнительным анионным центром. На их основе получена серия новых комплексов палладия и рутения, способных эффективно катализировать важные процессы образования новых С-*N* и С-С связей, включая реакции внутри- и межмолекулярного метатезиса олефинов. Руководитель – д.х.н. С.Н. Осипов (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Chem. Eur. J.* (2017) 6663; *J. Fluorine Chem.*, 200 (2017) 66.

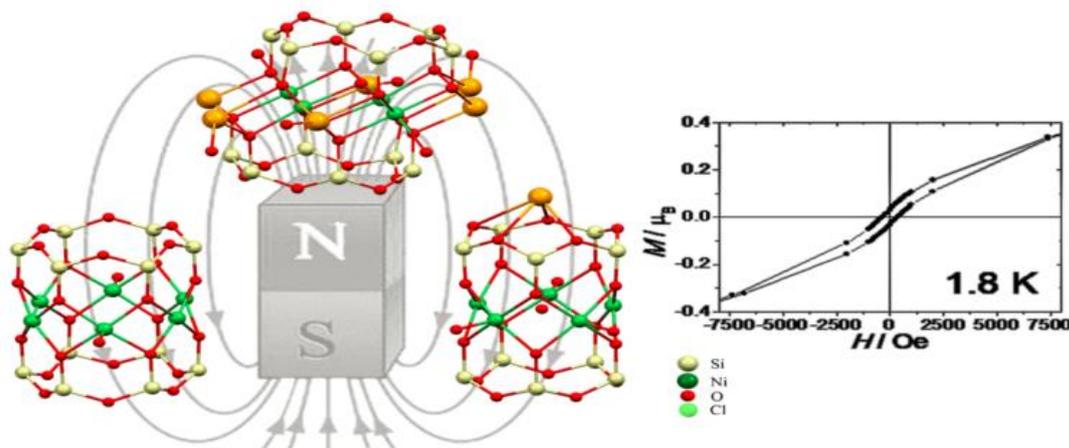
11. Впервые была проведена реакция восстановительного амидирования без внешнего источника водорода. В зависимости от растворителя процесс может приводить к амидам или аминам. Благодаря отсутствию внешнего

источника водорода реакция является высокоселективной и не затрагивает различные функциональные группы в молекуле амида и карбонильного соединения. Эта реакция открывает дешевый и атом-экономичный путь синтеза лекарственных средств, содержащих амидную группу, пептидомиметиков и лигандов для использования в катализе. Руководитель работы—Д.А. Чусов; исп. – П.Н. Колесников, К.М. Муратов, Д.Л. Усанов (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Org. Lett.*, 19(2017)  
5657–5660.

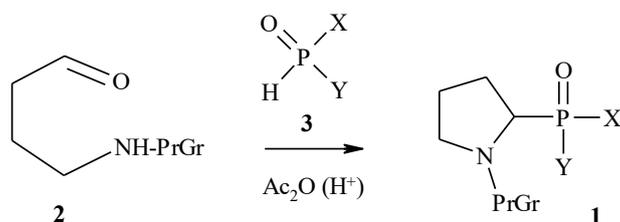
Получено новое семейство каркасных никельфенилсилоксанов с разнообразной молекулярной архитектурой. Установлена ферромагнитная организация спинов в ионах Ni(II), приводящая к появлению эффекта «магнитной памяти» на основе одиночных молекул с величиной коэрцитивной силы 200 – 350 эрстед. Руководители – к.х.н. М.М. Левицкий, д.х.н., проф. Е.С. Шубина, исполнители – к.х.н. А.Н. Биляченко, к.х.н. А.И. Ялымов, к.х.н. М.С. Дронова, д.х.н. А.А. Корлюков, к.х.н. А.В. Вологжанина (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Inorg. Chem.* 56 (2017) 12751-12763.

13. Разработан метод циклического амидоалкилирования гидрофосфорильных соединений путем совмещения карбонильного и

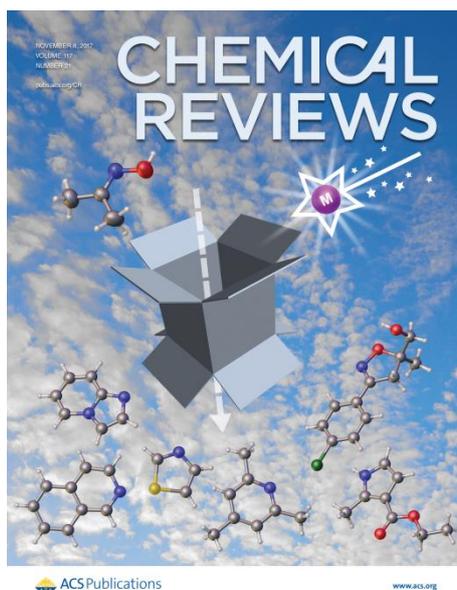
амидного реакционных центров в одной молекуле и последующего взаимодействия с различными гидрофосфорильными соединениями. Это позволило предложить и разработать общий one-pot метод синтеза фосфорильных аналогов пролина **1**. Использование фосфонистой компоненты, содержащей структурный изостер глицина или глутаминовой кислоты, позволило получить фосфоизостеры Pro-Gly и Pro-Glu, а также строительные блоки на их основе для последующего пептидного синтеза различных биологически активных фосфоизостеров пептидных лекарственных препаратов. Руководитель работы – д.х.н. В.В. Рагулин; отв. исп. – к.х.н. А.В. Винюков; исп. – к.х.н. М.Э. Дмитриев, А.Н. Яркевич (Институт физиологически активных веществ РАН)



a) X=Y=OH, b) X=Y=OEt, c) X=Me, Y=OH, d) X=CH<sub>2</sub>OH, Y=OH, e) X=Y=Ph

*ЖОХ*, 87 (2017) 2087-2090.

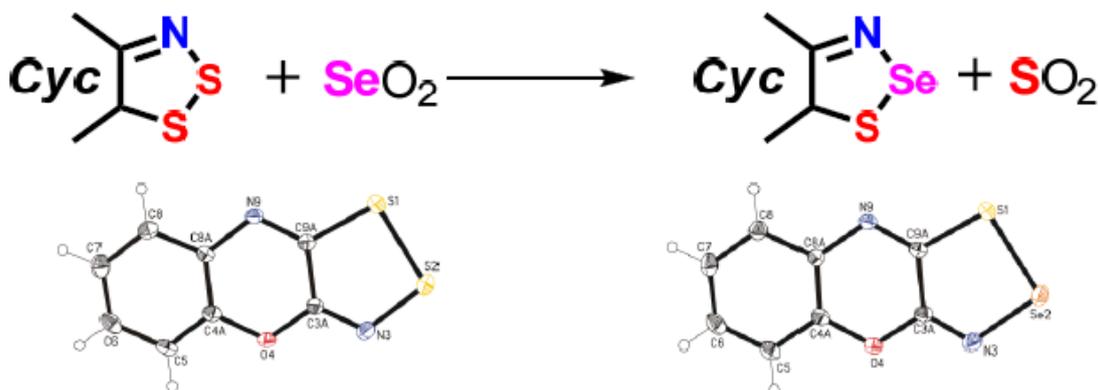
14. Опубликован обзор, в котором проанализировано около 600 публикаций за последнее 15 лет в области реакционной способности оксимов и их участия в разнообразных и металлопротированных превращениях. Особый акцент в обзоре был сделан на способах синтеза гетероциклов различного размера и с различным числом гетероатомов в циклах. Показано, каким образом участие металлов может изменить направление превращения оксимов, а также какие процессы с участием оксимов ускоряются в присутствии металлоцентров. Руководитель работы – чл.-корр. В.Ю. Кукушкин; исп. – д.х.н. Н.А. Бокач,



*Chem. Rev.*, **117** (2017)  
13039–13460

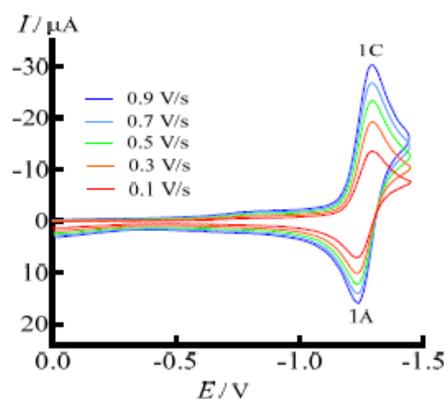
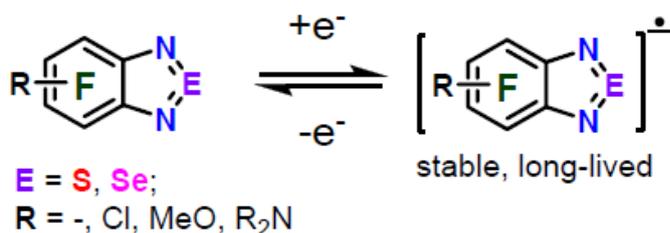
Д.С. Болотин, М.Я. Демакова (Санкт-Петербургский государственный университет).

15. Найдена новая химическая реакция: превращение 1,2,3-дитиазолов посредством селективного обмена халькогена в 1,2,3-тиаселеназолы – редкие 5-членные гетероциклы с тремя гетероатомами, два из которых – разные халькогены. Вещества представляют интерес для применения в материаловедении и биомедицине. Руководитель работ – д.х.н. А.В. Зибарев, отв. исп. – к.х.н. Н.А. Семенов, исп. – И.Ю. Багрянская, И.Г. Иртегова, Г.Е. Сальников (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН), в сотрудничестве с ИХКГ СО РАН (Е.А. Притчиной, Н.П. Грицан), ИОХ РАН (Л.С. Константиновой, И.В. Барановским, О.А. Ракитиным), ИНЭОС РАН (К.А. Лысенко) и ЮУрГУ (М.С. Михайловым).



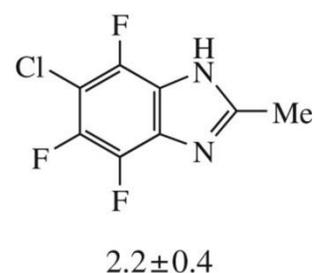
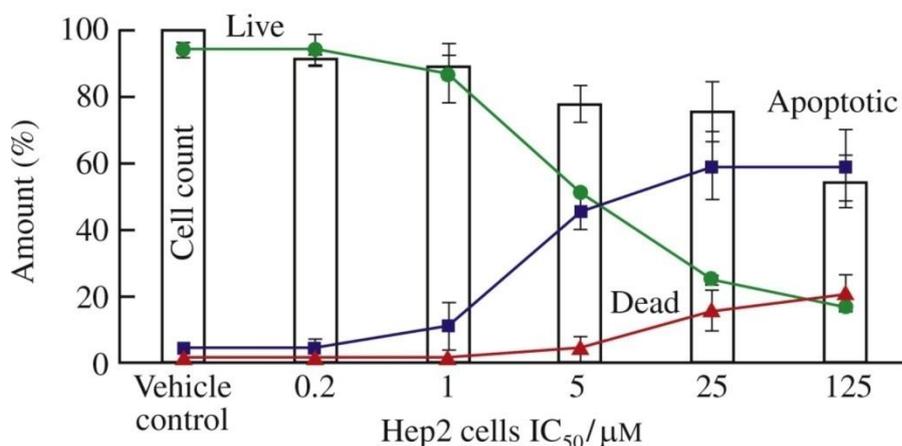
*Chem. Eur. J.*, 23 (2017) 17037-17047.

16. Показано, что перфтор- и хлорперфтор-2,1,3-бензотиа/селенадиазолы на первой стадии электрохимического восстановления (ЭХВ) в ДМФА образуют долгоживущие анион-радикалы, которые были охарактеризованы с помощью ЭПР и DFT-расчетов. На второй стадии ЭХВ проходит халькоген-зависимое дегалогенирование. Для родственных нефторированных (аза)ароматических соединений (бензолов, нафталинов, хиноксалинов) дегалогенирование является следствием неустойчивости их анион-радикалов. Руководители работ – д.х.н. Л.А. Шундрин и д.х.н. А.В. Зибарев; исп. – И.Г. Иртегова, П.А. Авроров, Т.Ф. Михайловская, А.Г. Макаров, А.Ю. Макаров (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



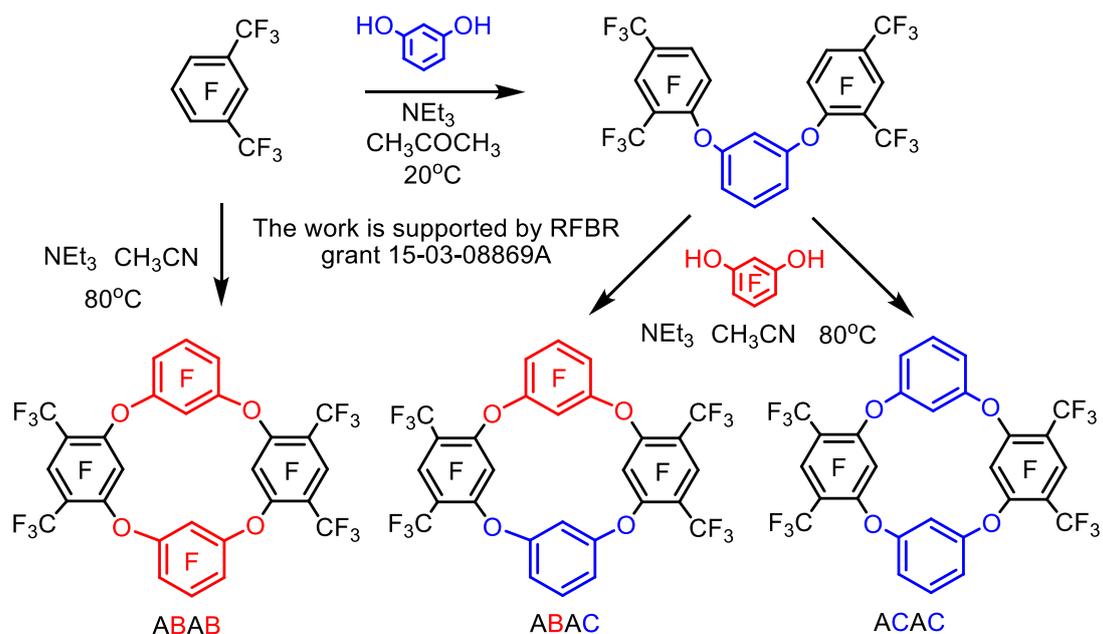
*Arkivoc* (2017) 166-180.

17. Обнаружена способность синтезированных впервые фторированных аза-гетероциклов в низких концентрациях эффективно вызывать апоптоз (программируемую смерть) раковых клеток. Нефторированные аналоги таким свойством не обладают. Руководитель работ – д.х.н. А.В. Зибарев; отв. исп. – д.х.н. А.Ю. Макаров; исп. – Д.О. Прима, А.Г. Макаров, Т.Ф. Михайловская, И.Ю. Багрянская (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН) в сотрудничестве с ИМББ СО РАН (Е.В. Воронцовой) и ТГУ (Ю.Г. Слижовым).



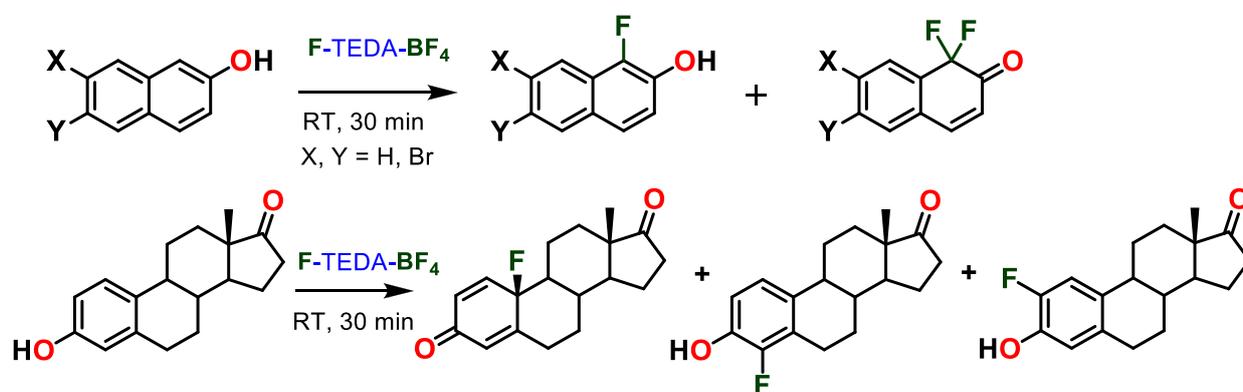
*Mendeleev Communications*, 27 (2017) 439–442

18. Изучены реакции перфтор-*m*-ксилола с резорцином и тетрафторрезорцином и разработан метод поэтапного синтеза поли- и перфторированных тетраоксакаликс[4]аренов заданного строения в «одном реакторе». Руководитель работы – профессор В.Е. Платонов; отв. исп. – к.х.н. В.Н. Ковтонюк (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



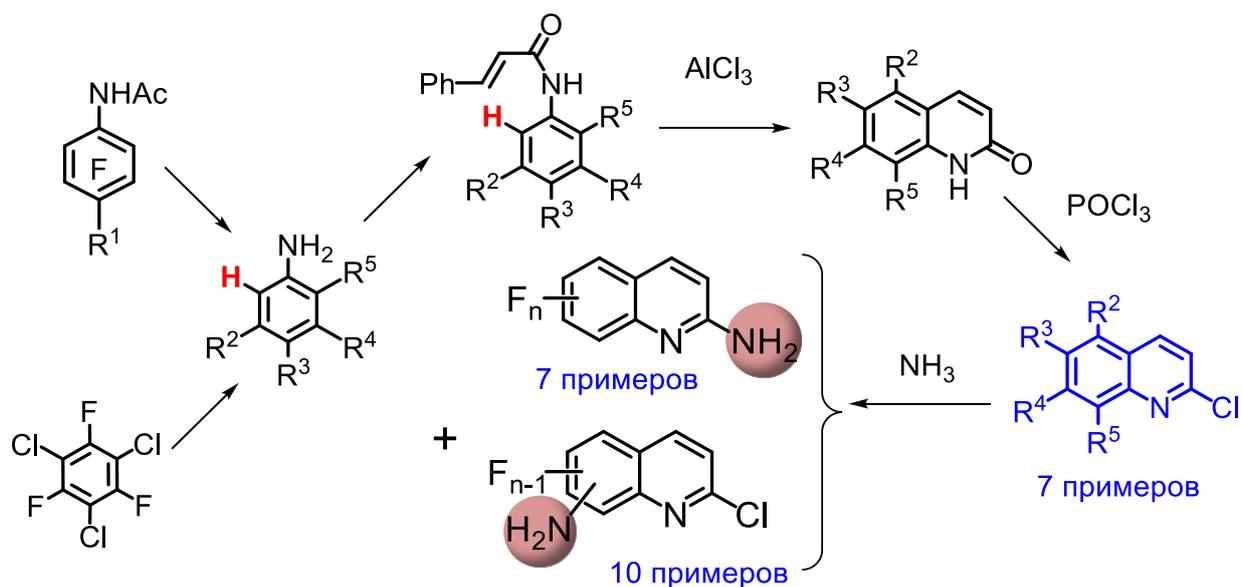
*J. Fluorine Chem.*, 199 (2017) 52-59

19. Коллективом авторов НИОХ СО РАН разработан метод фторирования донорных ароматических соединений реагентом F-TEDA без растворителя с последующей вакуумной сублимацией продукта из реакционной смеси. Метод позволяет получать фторированные продукты с высокой эффективностью и чистотой и характеризуется низким значением E-фактора (отношением массы отходов к массе продукта). С помощью термического анализа и сканирующей электронной микроскопии показано протекание процесса в твердой фазе, а не расплаве. Руководитель работ – д.х.н. В.Г. Шубин; отв. исп. – д.х.н. Г.И. Бородкин; исп. – П.А. Заикин, Дян Ок Тон, Д.В. Евтушок, А.Н. Усольцев, Е.В. Карпова (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).



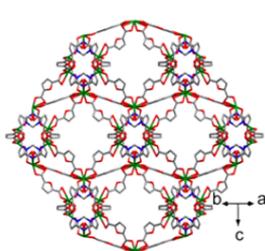
*Eur. J. Org. Chem.*, (2017) 2469–2474.

20. Разработаны новые подходы к синтезу полифторированных азгетероциклов аминохинолинов и 2,3-дигидрохинолинонов на основе полифторанилинов. Целевые соединения представляют универсальные платформы для направленного региоселективного синтеза гетероциклических соединений, обладающих биологической активностью. Руководитель работ – д.х.н. Е.В. Третьяков; отв. исп. – к.х.н. Г.А. Селиванова, Л.В. Политанская (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН).

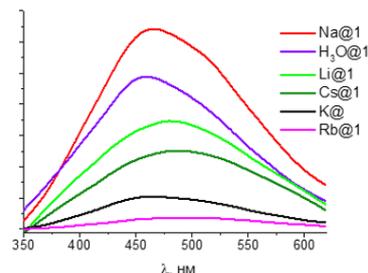
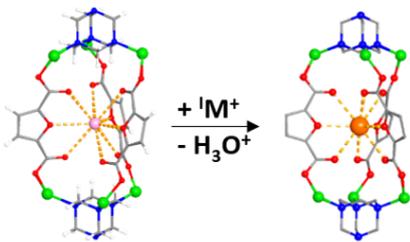


*Tetrahedron*, 73 (2017) 1219–1229.

21. На основе цинка(II), уротропина и 2,5-фурандикарбоновой кислоты получен пористый металл-органический координационный полимер, проявляющий различную селективность включения катионов металлов I группы за счёт наличия в его каркасной структуре специфических криптандоподобных полостей. Соединение проявляет различный люминесцентный отклик в зависимости от природы и от размера иона и является первым примером твердотельного люминесцентного сенсора на катионы щелочных металлов. Руководитель работы – чл.-к. РАН В.П. Федин; исп. - С.А. Сапченко, П.А. Демаков, Д.Г. Самсоненко, Д.Н. Дыбцев (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН) совместно с Институтом Манчестера, Великобритания (М. Шредер).



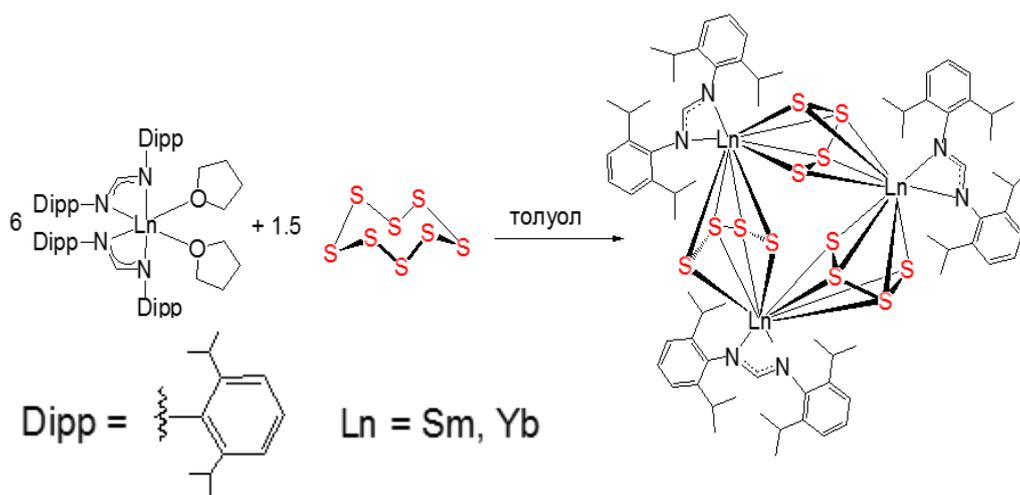
Полимер на основе Zn(II), уротропина и 2,5-фурандикарбоновой кислоты



Различный люминесцентный отклик в зависимости от природы и размера иона

*Chem. Eur. J.*, 23(10) 2017 2286-2289.

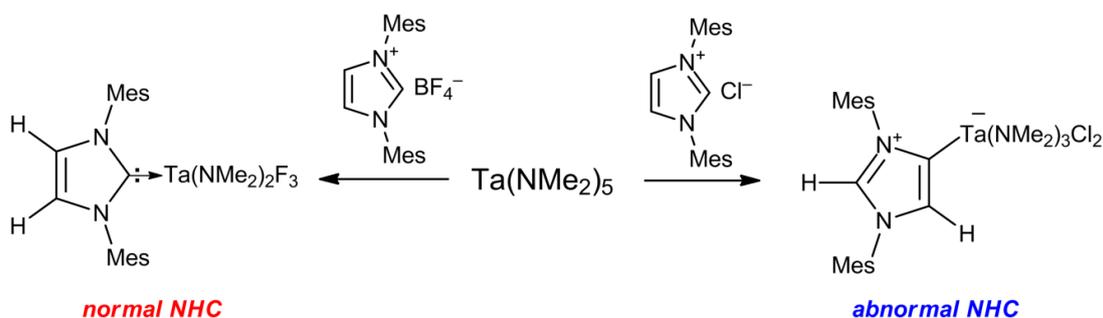
22. Восстановлением элементарной серы  $S_8$  комплексами Ln(II) с объемными органическими лигандами получены первые примеры полиядерных молекулярных комплексов лантаноидов с полисульфидным  $S_4^{2-}$  лигандом в координационной сфере –  $[Ln_3(dipp-form)_3S_{12}]$ . Синтетический подход позволяет осуществлять дизайн новых полихалькогенидных комплексов, подбирая сочетания иона лантаноида и объемного органического лиганда. Руководитель работы – д.х.н. С.Н. Конченко (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН), совместно с Институтом неорганической химии Технологического института Карлсруэ, Германия (профессор П.В. Роески).



*Angew. Chem. Int. Ed.*, 56 (2017) 13249–13252.

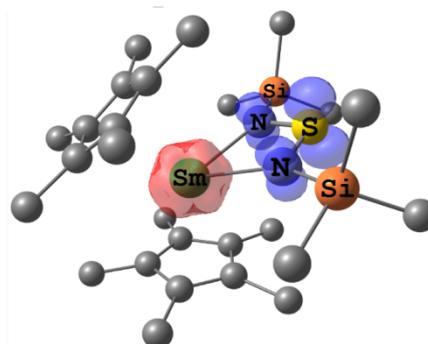
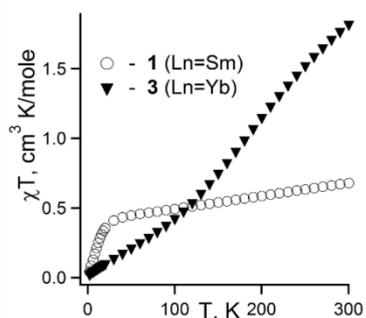
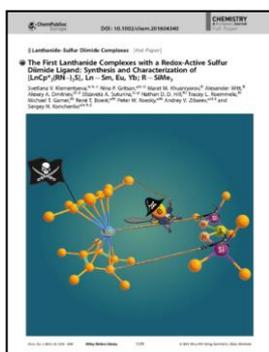
23. Комплексы N-гетероциклических карбенов (NHC) с поздними переходными металлами широко используются в гомогенном катализе; аналогичные комплексы ранних переходных металлов изучены мало. Обнаружено, что взаимодействие  $Ta(NMe_2)_5$  с ионными предшественниками

NHC приводит, в зависимости от противоаниона, к образованию карбеновых комплексов амидогалогенидов тантала с различным соотношением галоген-амид. Так получены  $[(\text{NHC})\text{TaF}_3(\text{NMe}_2)_2]$  и  $[(\text{aNHC})\text{TaCl}_2(\text{NMe}_2)_3]$ . Последний также может быть получен по реакции  $[\text{TaCl}_2(\text{NMe}_2)_3]_2$  со свободным карбеном и является первым примером абнормальной координации (т.е. через атом С4 имидазолинового гетероцикла в отличие от нормальной – через атом С2) N-гетероциклического карбена к раннему переходному металлу. Руководитель работ – д.х.н. М.Н. Соколов; исп. - П.А. Петров, Т.С. Сухих (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН).



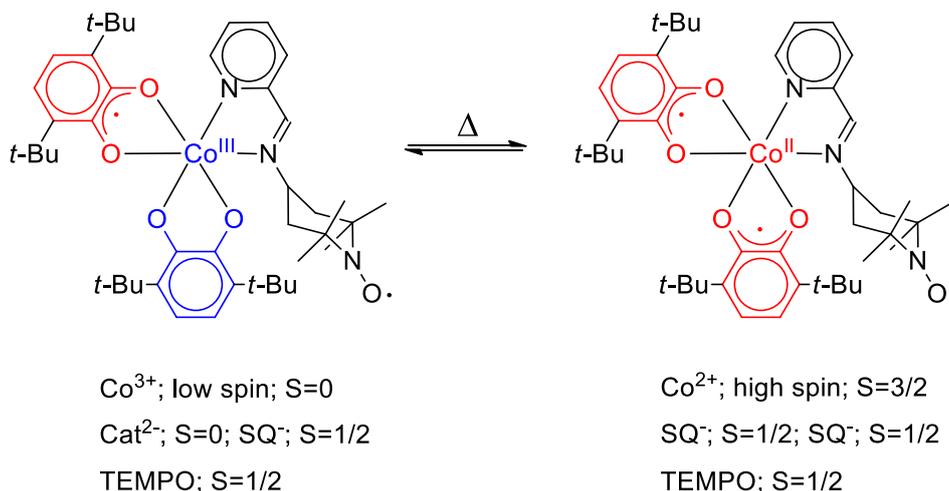
*Dalton Trans.*, 46 (2017) 4902-4906.

24. Редокс-активность тиодиимидов  $\text{R}-\text{N}=\text{S}=\text{N}-\text{R}$ , являющихся молекулярными аналогами полимера  $(\text{SN})_x$  – безметалльного проводника и сверхпроводника, долгое время предполагалась, но не была подтверждена. В данной работе удалось впервые выделить и с помощью экспериментальных методов (РСА, ЭПР, спектроскопия UV-Vis-NIR, SQUID-магнетометрия) и *ab initio* теоретических расчетов доказать, что в комплексах с лантаноидами (Sm, Eu, Yb) тиодиимид  $\text{Me}_3\text{Si}-\text{N}=\text{S}=\text{N}-\text{SiMe}_3$  присутствует в анион-радикальной форме. Открыт новый класс редокс-активных соединений, перспективных для молекулярных электронных устройств. Иллюстрация к статье помещена на внутреннюю обложку журнала. Исполнители работы – д.х.н. С.Н. Конченко (Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН) совместно с НГУ, ИМХ РАН, ИХКГ СО РАН, НИОХ СО РАН, Институтом неорганической химии Технологического института Карлсруэ (Германия).

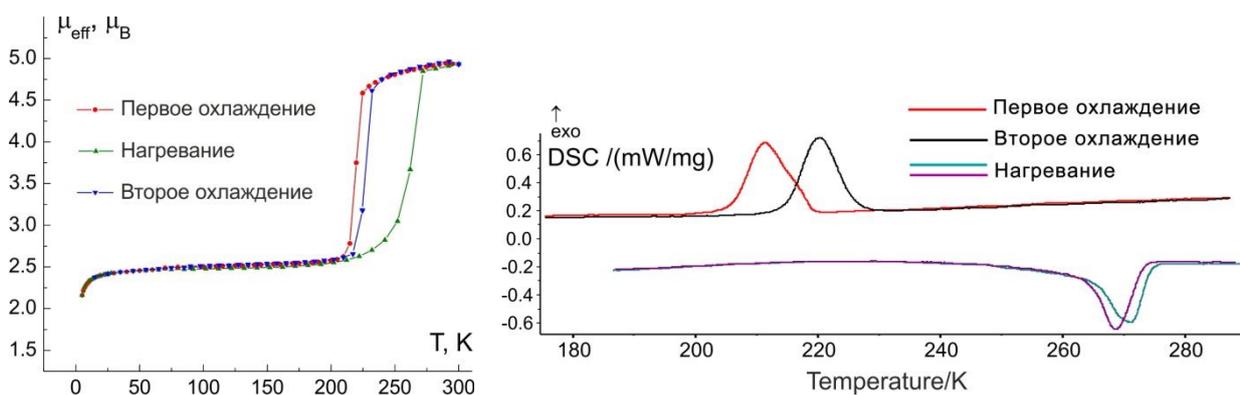


*Chem. Eur. J.*, 23 (2017) 1278–1290.

25. Синтезирован новый редокс-изомерный комплекс бис-о-семихинолят кобальта с функционализированными имино-пиридиновыми лигандами. Для комплекса характерны обратимый внутримолекулярный перенос электрона и спиновая конверсия в кристаллической фазе.

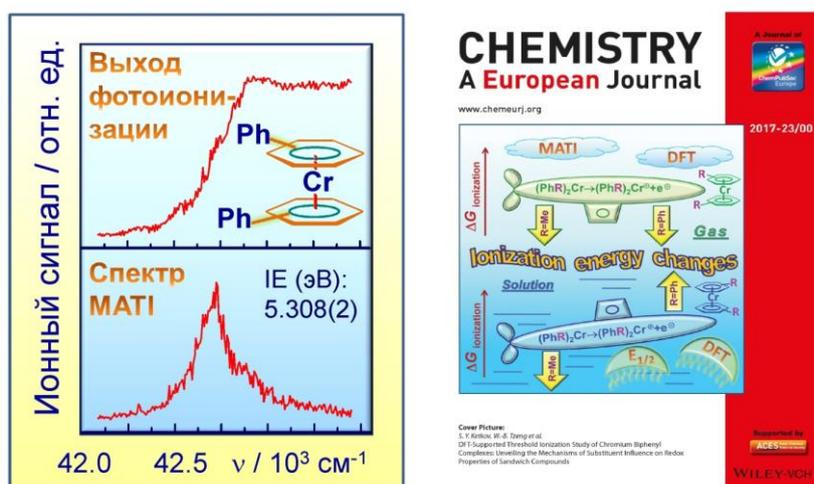


Температуры переходов при нагревании и охлаждении – разные (см. ниже). Это подтверждается дифференциальной сканирующей калориметрией и магнетохимией. На кривой температурной зависимости намагниченности наблюдается петля гистерезиса. Изменение молекулярной структуры, вызванное переносом электрона и сменой спинового состояния, провоцирует фазовый переход, который приводит к разрушению кристаллов. Таким образом, это уникальное соединение может лечь в основу создания материалов для электроники, в частности, для разработки элементов памяти. Руководитель работы - чл.-корр. РАН В.К.Черкасов; исп. - к.х.н. А.А. Золотухин, д.х.н. М.П. Бубнов (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН).



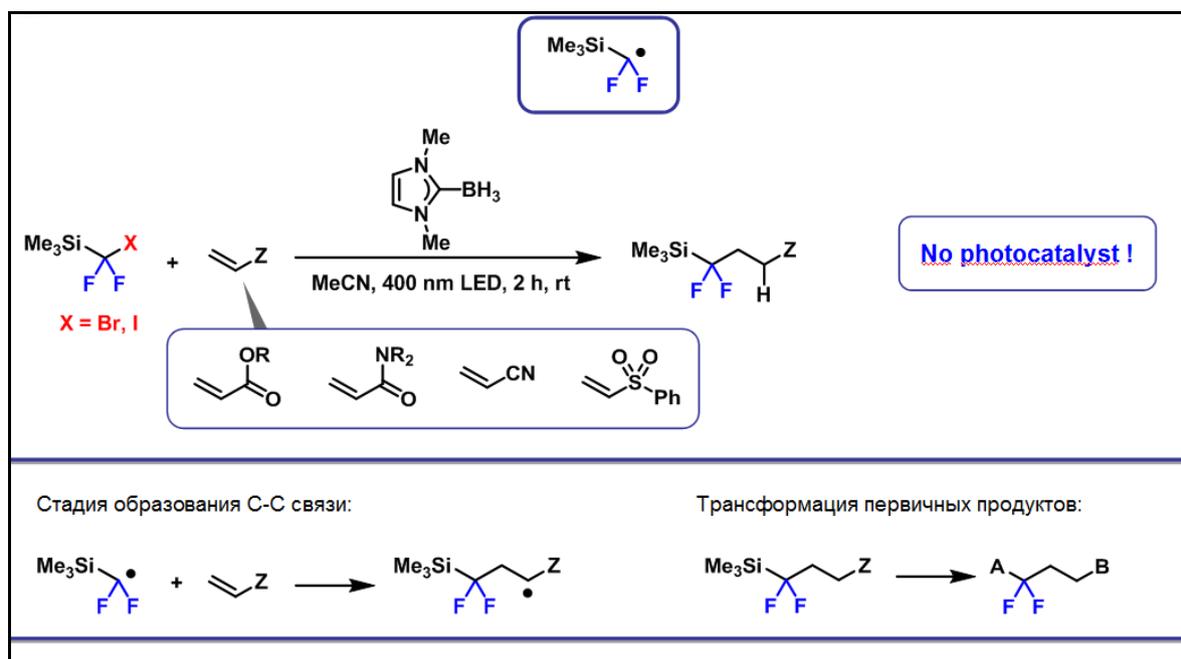
*Inorg. Chem.*, 56 (2017) 14751-14754.

26. С помощью квантовой химии и лазерной спектроскопии впервые установлено, что метильные и фенильные заместители одинаково изменяют потенциал ионизации бис(арен)хрома в газовой фазе, несмотря на различные механизмы такого влияния. Напротив, в растворе при введении Me и Ph групп в  $(Arene)_2Cr$  сдвиги энергии ионизации противоположны, что, как оказалось, обусловлено сольватацией, а не внутримолекулярным эффектом заместителя. Этим, в частности, определяются свойства редокс-пары  $(Ph)_2Cr^{+0}$ , рекомендованной ИЮПАК в качестве электрохимического стандарта в неводных растворах. Руководитель работы – д.х.н. С. Ю. Кетков, отв. исп. – к.х.н. Г. В. Маркин (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН) совместно с Институтом атомарных и молекулярных исследований Академии наук Тайваня (Institute of Atomic and Molecular Sciences, Academia Sinica, Taiwan).



*Chem. Eur. J.*, 23 (2017) 13669–13675 (Hot Paper).

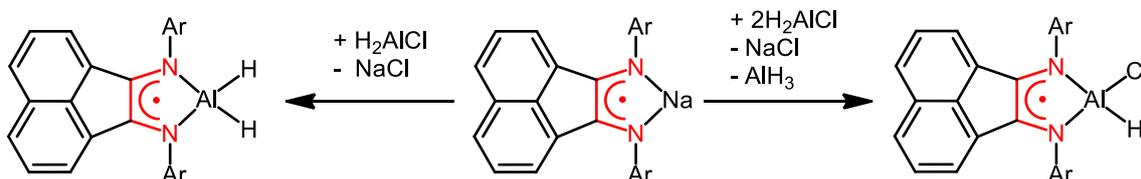
27. Разработаны эффективные подходы к получению дифторированных соединений по реакциям, проводимым при облучении видимым светом. Предложен метод генерации нового радикального интермедиата – триметилсилилдифторметильного радикала. Реализовано сочетание дифторзамещенных иодидов с силиленолями с образованием  $\beta,\beta$ -дифторкетонов. Руководитель работ — д.х.н., профессор РАН А.Д. Дильман, исполнители: к.х.н. В.И. Супранович, к.х.н. В.В. Левин. (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



*Org. Lett.* 2017, 19, 3215–3218

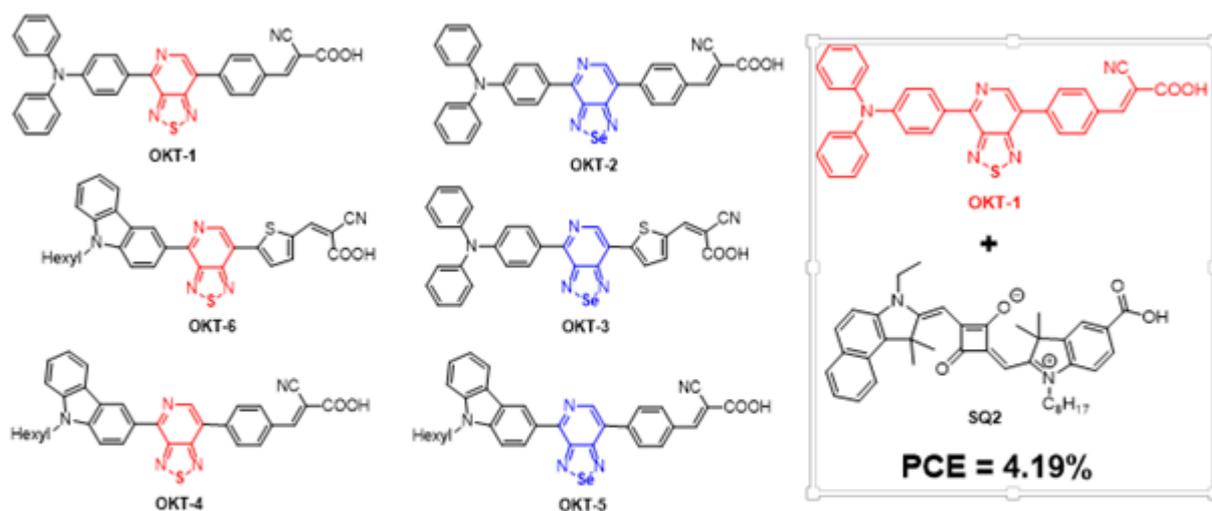
28. Впервые синтезированы и структурно охарактеризованы парамагнитные гидриды алюминия (dpp-bian)AlClH и (dpp-bian)AlH<sub>2</sub>, содержащие анион-радикальный аценафтен-1,2-дииминный лиганд. Полученные соединения являются первыми примерами парамагнитных гидридов алюминия, выделенных в индивидуальном состоянии. Синтезированные соединения представляют интерес с точки зрения развития современных фундаментальных знаний о природе химической связи, но и обладают несомненными перспективами как эффективные катализаторы реакций органического синтеза, в частности, гидрирования иминов смесью муравьиной кислоты с триэтиламинном, а также изомеризации окисей алкенов

в карбонильные соединения. Руководитель работы: чл.-корр. РАН И.Л. Федюшкин, исполнители: к.х.н. В.Г. Соколов, аспирант Т.С. Копцева (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН).



*Изв. АН. Сер. хим., 2017, 9, 1569–1579.*

29. Созданы новые подходы к конденсированным с карбоциклическими и гетероциклическими кольцами халькогеназолам, которые представляют интерес для создания широкого круга материалов, обладающих ценными физическими и биологическими свойствами – фотоэффектом, магнетосопротивлением, электропроводимостью и высокой противоспиновой активностью. Синтезированы две новые серии органических сенсibilizаторов (красителей для солнечных батарей) на основе [1,2,5]тиадиазоло- и [1,2,5]селенадиазоло-[3,4-с]пиридинов.

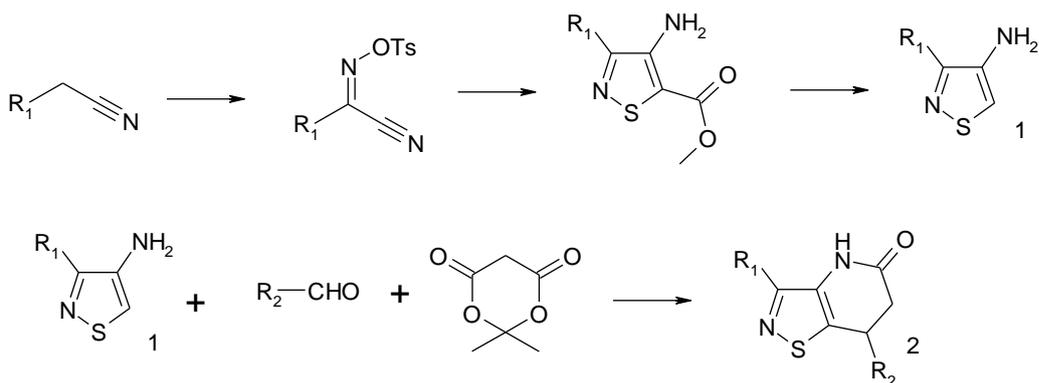


*Sol. Energy, 2017, 144, 134-143.*

Краситель, содержащий трифениламинный, тиадиазолопиридиновый, бензольный и цианакриловый фрагменты при добавлении скваранинового красителя показал значительное увеличение (до 35%) фотовольтаической эффективности солнечных батарей, основанных на индивидуальных

органических молекулах, которые по сравнению с широко используемыми кремниевыми аналогами обладают рядом неоспоримых преимуществ. Руководитель работы - профессор О.А. Ракитин (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН) совместно с Университетами г. Эдинбурга и г. Сент-Эндрюс (Великобритания), НИОХ СО РАН им. Н.Н. Ворожцова, ИНЭОС РАН им. Н.Н. Несмеянова, Новосибирским и Томским Государственными Университетами.

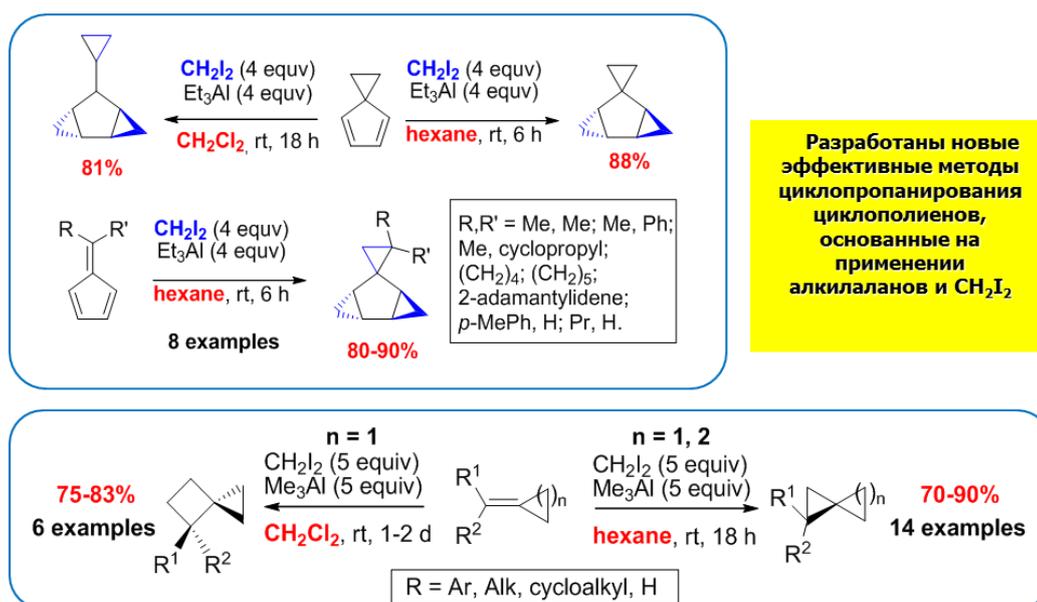
30. Систематически изучены многокомпонентные реакции с участием кислоты Мельдрума, приводящие к получению конденсированных гетероциклов. Осуществлен синтез широкой гаммы замещенных 6,7-дигидро-4Н-изотиазоло[4,5-*b*]пиридинов-5 и исследована их антимиотическая активность на культурах раковых клеток и зародышах морских ежей. Продемонстрировано, что полученные соединения эффективно ингибируют деление раковых клеток, неуязвимых к другим видам химиотерапии. Руководитель работы - профессор М.М. Краюшкин; отв. исп. - д.х.н. В.В. Семенов (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН) совместно с Институтом биологии развития им. Н.К.Кольцова РАН.



*Eur. J. Med. Chem.*, 2017, V. 125, p. 573-585

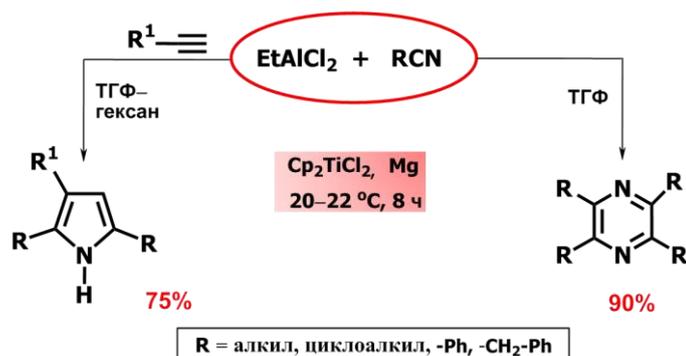
31. Разработан промышленно перспективный метод синтеза важных циклопропанов, основанный на взаимодействии спиро[2.4]гепта-4,6-диенов, фульвенов, алкилиденциклоалканов с карбеноидами алюминия, образующихся *in situ* при смешивании эквимольных количеств триалкилаланов с  $\text{CH}_2\text{I}_2$  в растворе гексана при комнатной температуре. С

использованием  $\text{CD}_2\text{I}_2$  изучен механизм данной реакции. Высокие выходы циклопропанов, доступность исходных мономеров и реагентов, технологичность осуществления указанных выше реакций делает эти методы исключительно перспективными для внедрения, как в лабораторной практике, так и в промышленности. Руководитель работы – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. - д.х.н. И.Р. Рамазанов, к.х.н. А.В. Ярославова (Институт нефтехимии и катализа РАН).

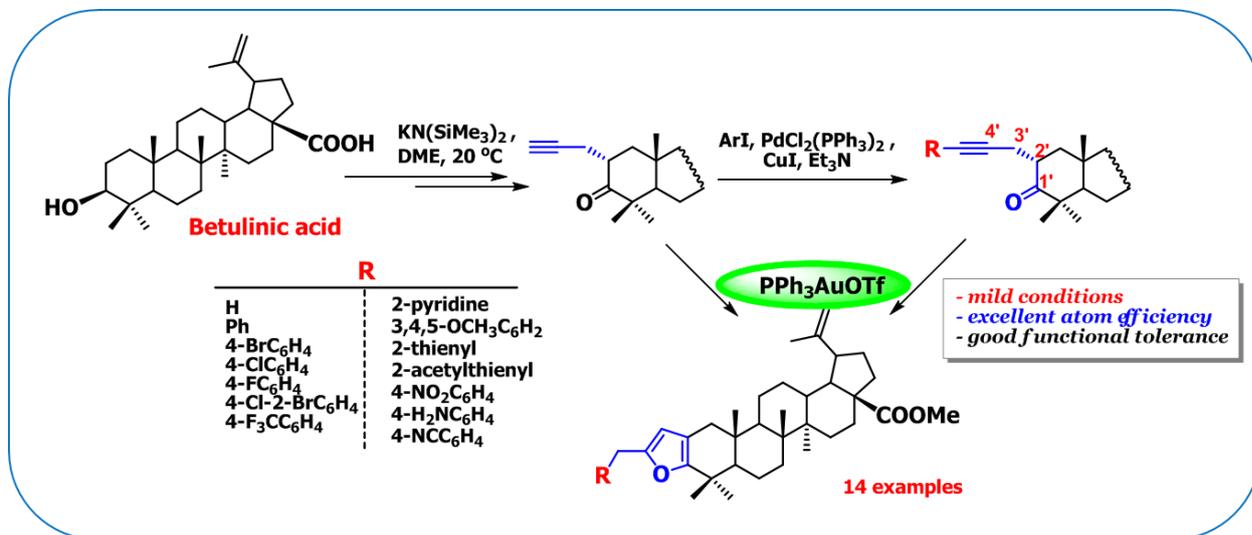


*Eur. J. Org. Chem.*, 2018, DOI: 10.1002/ejoc.201700991.

32. В развитие фундаментальных и прикладных исследований в области синтеза практически важных гетероциклических соединений разработан новый одnoreакторный метод конструирования замещенных пирролов и пиразинов с выходами более 70%, основанный на применении разработанной авторами многокомпонентной реакции терминальных ацетиленов с  $\text{EtAlCl}_2$  и органическими нитрилами под действием катализатора  $\text{Cr}_2\text{TiCl}_2$  (10 мол%) в условиях реакции (20 °С, тетрагидрофуран-растворитель, 8 ч). Доступность исходных мономеров и реагентов, простота осуществления данного метода, высокие выходы целевых пирролов и пиразинов, универсальность способа создают реальные предпосылки для использования предложенного метода как в лабораторной практике, так и химической промышленности. Руководитель работы – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. - к.х.н. Л.О. Хафизова, к.х.н. М.Г. Шайбакова (Институт нефтехимии и катализа РАН).



33. Разработан прямой и атомэкономичный подход к синтезу нового класса [3,2-b] фуран конденсированных пентациклических тритерпеноидов с использованием золото-катализируемой 5-экзо-диг-гетероциклизации 2-алкинильных производных биологически активных природных пентациклических тритерпеновых кислот. Функционально толерантные условия каталитической реакции позволили вовлечь в гетероциклизацию тритерпены лупанового, урсанового и олеанового ряда, содержащие при С-2 позиции кольца А терминальные или внутренние тройные связи, замещенные функциями, чувствительными к действию “жестких” кислот и оснований.

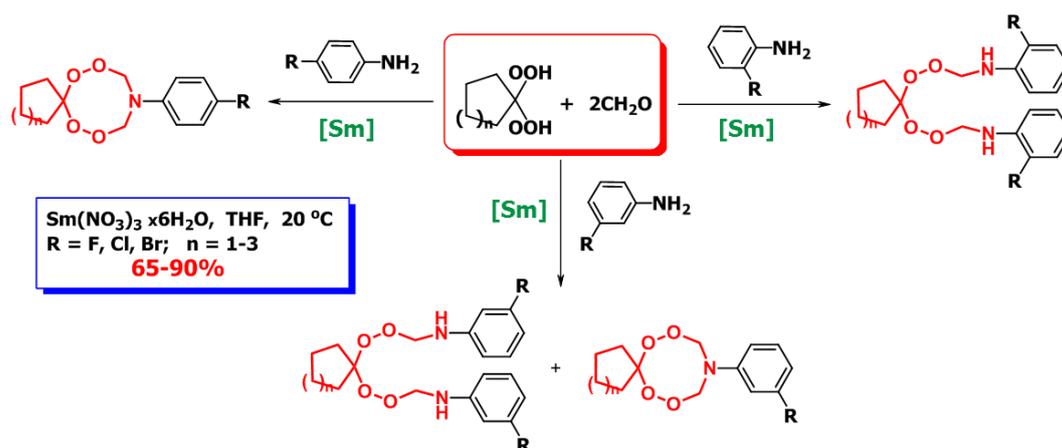


*Tetrahedron*, 2018, DOI: 10.1016/j.tet.2018.02.056

Внутримолекулярная циклизация 4-пентин-1-он фрагмента в кольцо А терпена, по-видимому, реализуется через каталитический цикл, который инициируется координацией Au(I)-катализатора с ацетиленовой связью. Образование комплекса золота промотирует нуклеофильную атаку атомом кислорода на активированную тройную связь. В результате образуется золото-содержащий цвиттерионный интермедиат, протодаурирование

которого приводит к высвобождению катализатора и образованию целевого соединения. Руководитель работы – д.х.н. В.Н. Одинокоев; исп. - к.х.н. А.Ю. Спивак, к.х.н. Р.Р. Губайдуллин (Институт нефтехимии и катализа РАН).

34. Разработан эффективный метод синтеза ациклических и циклических азадипероксидов реакцией 1,1-бис(гидроперокси)циклоалканов с формальдегидом и первичными ариламинами с участием Sm-содержащих катализаторов ( $\text{SmCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SmCl}_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ). Обнаружено, что добавление раствора ароматического амина в ТГФ при температуре 15-20°C в течение 2-3 минут к смеси 1,1-бис(гидроперокси)циклоалкана и формальдегида в присутствии каталитических количеств  $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (5 мол.%) приводит к образованию аминодипероксидов. Направление реакции зависит от положения заместителя (F, Cl) в фенильном кольце в исходных ариламины. При взаимодействии *орто*-арил(хлорфенил, фторфенил)аминов с формальдегидом и 1,1-бис-(гидроперокси)циклоалканами образуются ациклические 1,1-бис-[*N*-(пероксиметил)-*N*-ариламино]циклоалканые выходами 65-75%. Реакция *пара*-арил(хлорфенил, фторфенил)аминов с 1,1-бис-(гидроперокси)циклоалканами приводит к циклическим тетраоксазаспироалканамс выходами 75-85%.

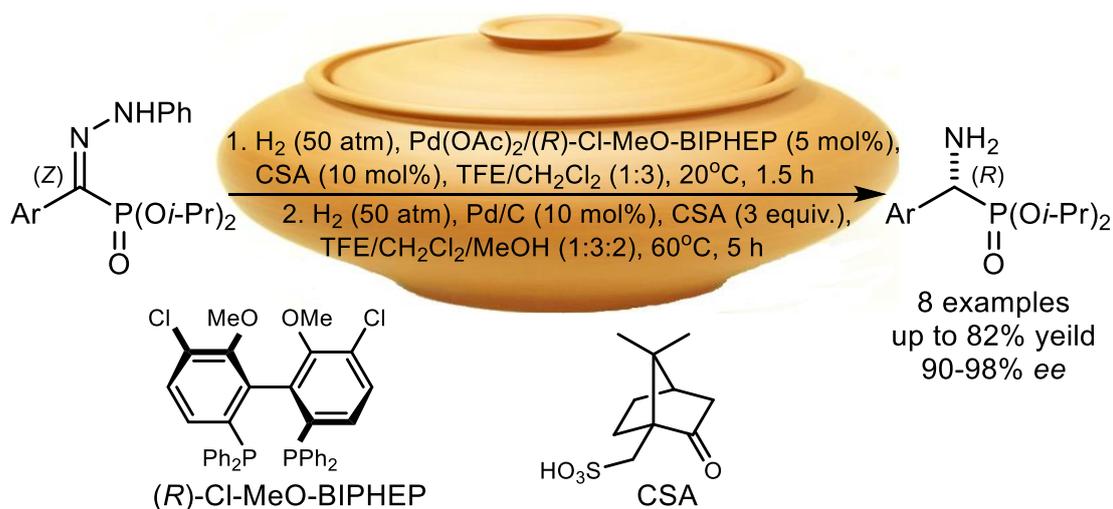


*Tetrahedron*, 2018, DOI: 10.1016/j.tet.2018.01.045

В разработанных условиях трехкомпонентная конденсация с участием *мета*-арил(хлорфенил, фторфенил)аминов приводит к смеси ациклических и циклических аминопероксидов в соотношении 1 : 1. Ациклические

диаминодипероксиды обладают антималярийной, противораковой, антигельминтной активностью. Руководитель работ – чл.-корр. РАН У.М. Джемилев; исп. - д.х.н. А.Г. Ибрагимов, к.х.н. Н.Н. Махмудиярова, асп. Г.М. Киямутдинова (Институт нефтехимии и катализа РАН).

35. Разработана эффективная и удобная методика стереоселективного каталитического синтеза замещенных в кольце amino(фенил)метилфосфонатов путем энантиоселективного гидрирования соответствующих легкодоступных гидразонофосфонатов в присутствии ацетата палладия, хирального дифосфинового лиганда (*R*)-Cl-MeO-BIPHEP и активатора - (*1S*)-(+)-10-камфорсульфоновой кислоты. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – к.х.н. Н.С. Гулюкина, И.А. Шергольд (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



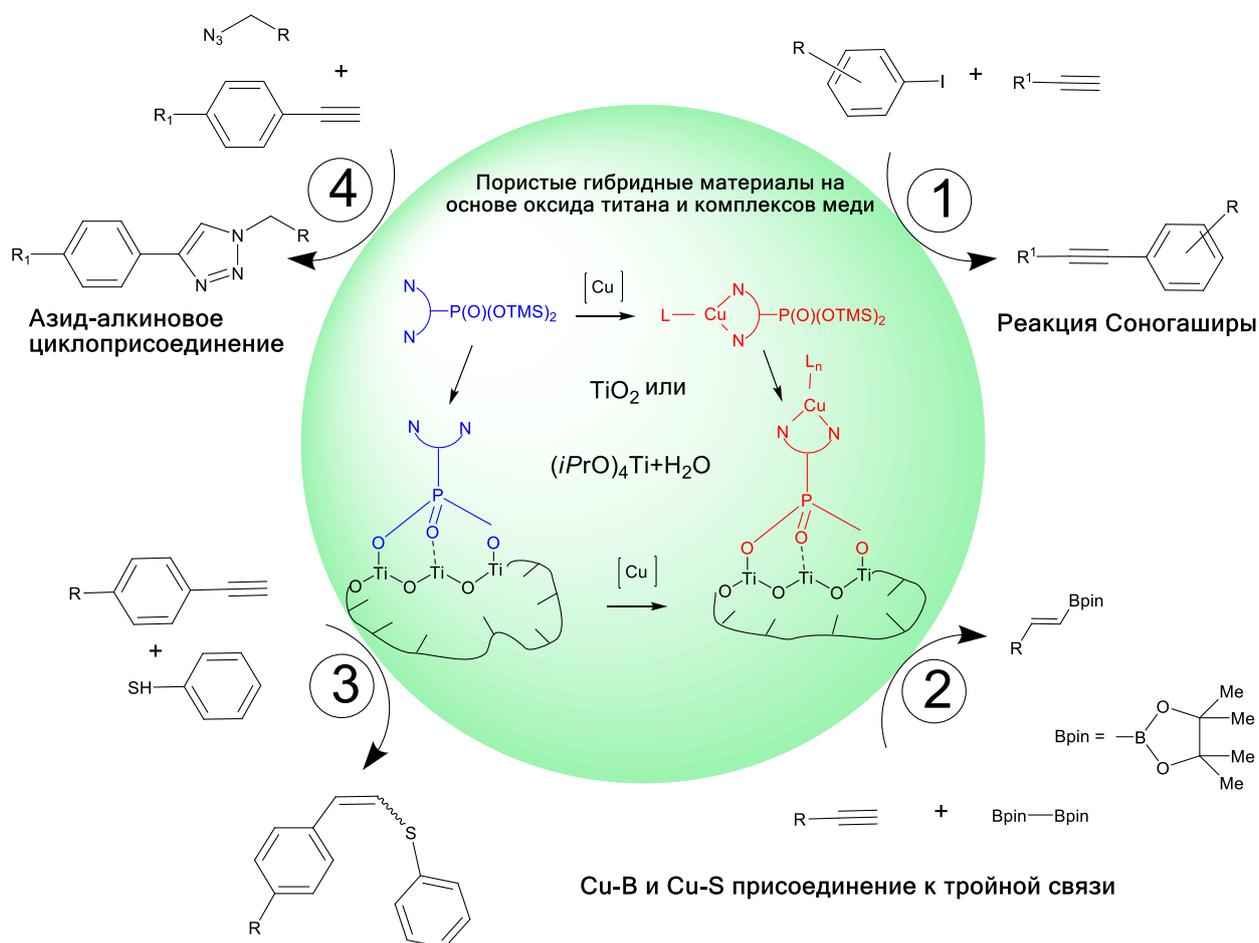
*Adv. Synth. Catal.* 359 (2017) 153-162.

36. Найдено, что наночастицы меди (CuNPs) на различных твердых подложках на основе металлов TiO<sub>2</sub>, МК-10, ZrO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также на углеродных подложках (активированный уголь и графен) имеют малый размер (1-2 нм), а их каталитическая активность в значительной степени обусловлена природой подложки. Успешно проведены сочетания в условиях реакции Соногаширы, а также сочетание с тиоалами и азолами в присутствии иммобилизованных катализаторов. Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – к.х.н. А.Ю. Митрофанов, А.В. Мурашкина (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



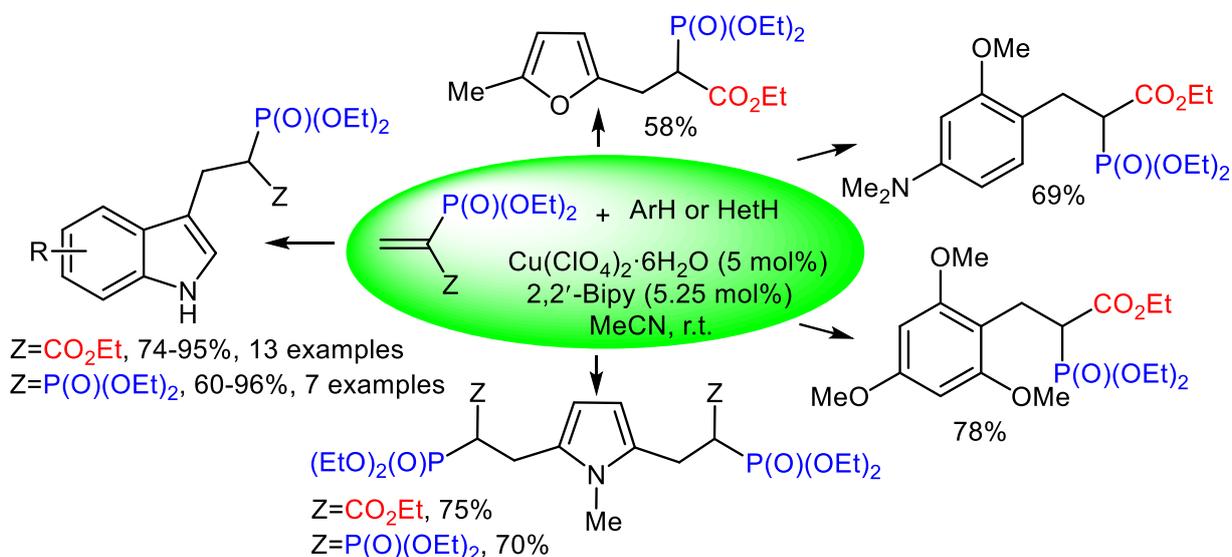
*Catal. Sci. Tech.*,  
7 (2017) 4401-4412.

37. Осуществлена иммобилизация комплекса на мезопористый оксид титана постадийной сборкой металлокомплексов из материала с поверхностно привитым лигандом. Полученный материал использован в качестве гетерогенного катализатора в реакциях двух типов: в реакции замещения на примере реакции Соногаширы и в реакции присоединения на примере взаимодействия бис(дипинаколил)диборана, тиолов и реакций органических азидов с фенилацетиленом (алкинами). Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – к.х.н. А.Ю. Митрофанов, к.х.н. А. Лемен. (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



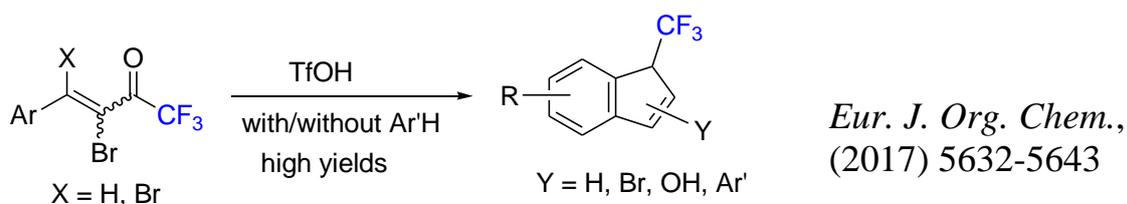
*J. Mater. Chem. A*, 5 (2017) 12216-12235.

38. Осуществлено катализируемое кислотами Льюиса алкилирование индола фосфорзамещенными акцепторными алкенами на примере незамещённого индола с этил 2-(диэтоксифосфорил)акрилатом в присутствии трифлатов меди, магния, цинка, никеля скандия, иттербия, в присутствии и отсутствии лигандов, и при использовании в качестве катализатора комплекса  $\text{Cu}(\text{OTf})_2$  или  $\text{Cu}(\text{ClO}_4)_2$  с 1,10-фенантролином (Phen). Руководитель работы – академик И.П. Белецкая; исп. – к.х.н. Е.А. Тарасенко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

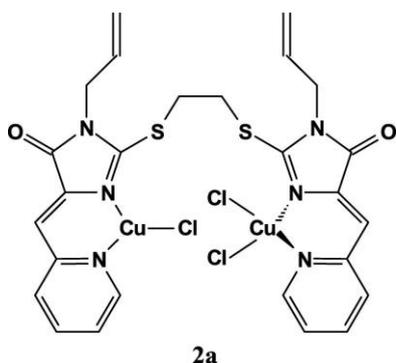


*Synthesis*, 49 (2017) 1689-1701.

39. Изучены реакции 3-бром- и 3,4-дибром- $\text{CF}_3$ -енонов с суперкислотами. Протонирование этих  $\text{CF}_3$ -енонов с  $\text{FSO}_3\text{H}$  приводит к образованию катионных интермедиатов, которые циклизуются в соответствующие моно- и диброминденолы с выходами до 98%. Протонирование полученных инденолов при комнатной температуре с помощью трифторметансульфоновой кислоты позволяет получать высокоэлектрофильные трифторметилированные инденильные катионы. Последующая реакция с различными аренами открывает доступ к  $\text{CF}_3$ -замещенным инденам с выходами до 84%. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет) и профессор А.В. Васильев (СПбГУ).

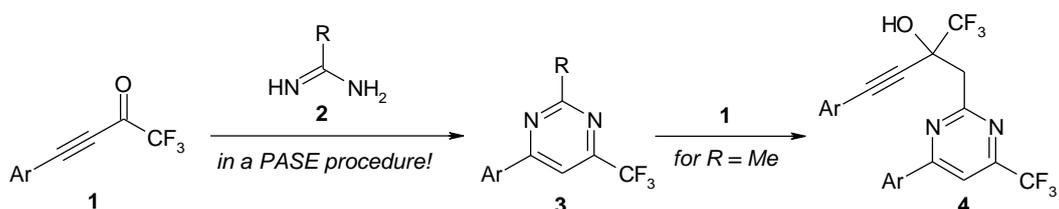


40. Синтезированы медные комплексы тиогидантоинов в качестве потенциальных противоопухолевых препаратов с высокой цитотоксичностью. Показана высокая устойчивость модельных координационных соединений. Изучено связывание полученных металлокомплексов с ДНК и БСА; показано связывание с ДНК путем интеркаляции с высокой константой связывания. Руководители работы – профессор Е.К Белоглазкина., профессор А.Г. Мажуга, профессор Н.В. Зык (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



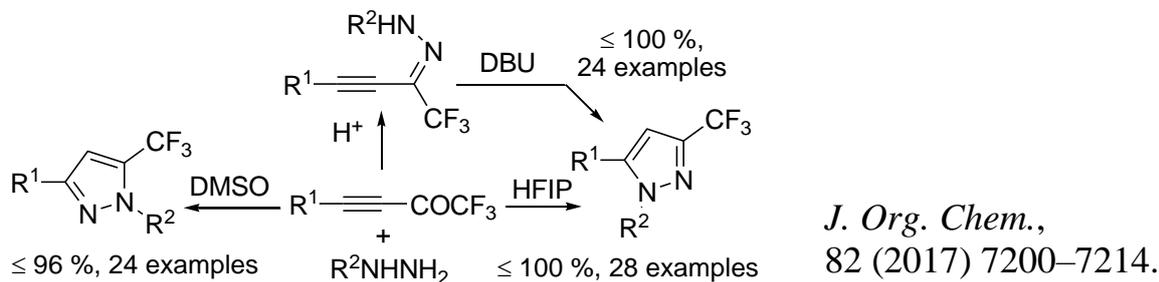
*J. Inorg. Biochem.*, 175 (2017) 190-197.

41. Разработан высокоэффективный синтез 6-трифторметилованных пиримидинов на основе реакции CF<sub>3</sub>-инонов с N,N-1,3-бинуклеофилами. Однокомпонентная сборка пиримидинового ядра протекает по каскадному маршруту через реакцию аза-Михаэля - внутримолекулярную циклизацию - дегидратацию, дающую целевые гетероциклы с выходами до 97%. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет) и д.х.н. А.Ю. Рулев (Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского).



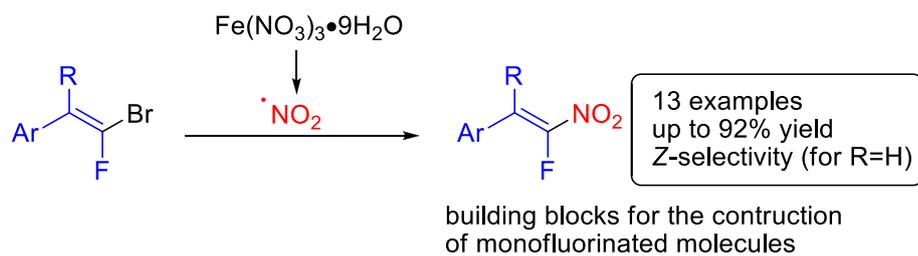
*Eur. J. Org. Chem.*, (2017) 4121-4129

42. Проведено детальное исследование реакции трифторацетилированных ацетиленов и арил (алкил) гидразинов с целью разработки региоселективного синтеза 3- или 5-трифторметилированных пиразолов. Обнаружено, что региоселективность реакции существенно зависит от природы растворителя. Высокополярные протонные растворители (гексафторизопропанол) способствуют образованию 3-трифторметилпиразолов. В противоположность этому, реакция в ДМСО происходит с образованием 5-CF<sub>3</sub>-замещенных изомеров. Альтернативно, региоселективная сборка 3-CF<sub>3</sub>-замещенных пиразолов может быть выполнена на основе гидразинов, которые трансформируются в 3-CF<sub>3</sub>-пиразолы обработкой основанием. Этот подход был использован для синтеза важных лекарств (Celebrex и SC-560), а также их изомеров. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет) и д.х.н. А.Ю. Рулев (Иркутский институт химии имени А.Е. Фаворского).



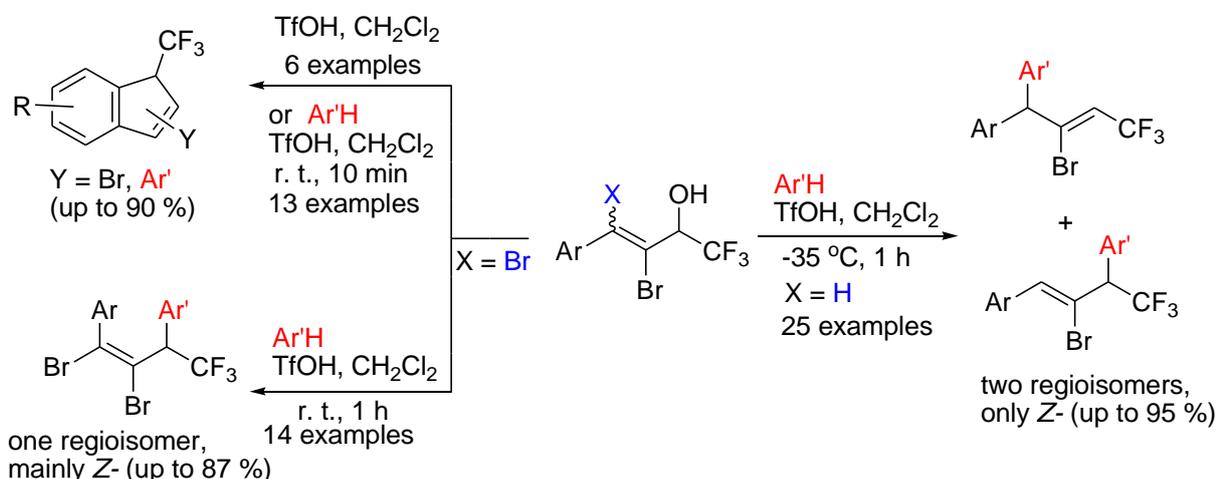
43. Разработан новый высокоэффективный метод синтеза 2-фтор-2-нитростиролов. Радикальное нитрование легкодоступных 2-бром-2-фторстиролов с нитратом железа приводит к образованию соответствующих α-фтор-нитроалкенов с выходами до 92%. Реакция протекает как последовательность нитрования-дебромирования, стереоселективно давая α-фтор-нитроалкены в качестве Z-изомеров. Продемонстрирован широкий синтетический потенциал этого метода. Показано, что монофторированные алкены являются универсальными строительными блоками для синтеза различных фторированных продуктов. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический

факультет) и к.х.н. А.А. Таболин (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



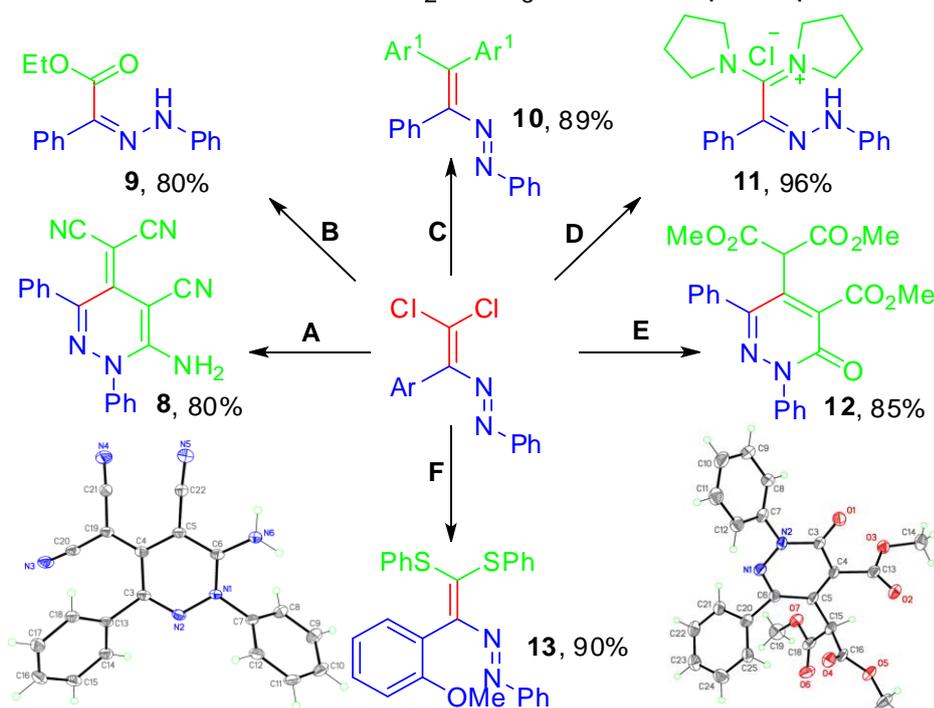
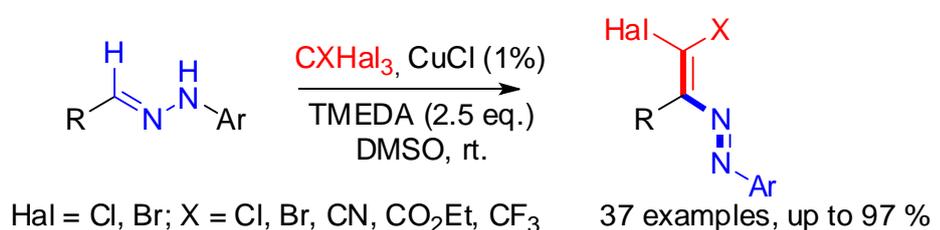
*J. Org. Chem.*, 82  
(2017) 5274–5284.

44. Изучена суперкислотная активация  $\text{CF}_3$ -замещенных аллиловых спиртов с одним или двумя атомами брома при двойной связи. Обнаружено, что при активации трифторметансульфоновой кислотой эти бромированные спирты ведут себя как высокореактивные многоцентровые электрофилы. Протонирование дибромопроизводных приводит к образованию трифторметилированных инденов и / или индан-1-онов с выходами до 90%. Реакция дибромозамещенных  $\text{CF}_3$ -аллиловых спиртов с аренами в присутствии TfOH приводит к образованию либо  $\text{CF}_3$ -алкенов (формальное замещение гидроксила арильной группой), либо  $\text{CF}_3$ -инденов в зависимости от нуклеофильности исходных аренов. Реакция монобромированных аллиловых спиртов с аренами в TfOH дает с выходами до 95% региоизомерные  $\text{CF}_3$ -алкены, которые могут эффективно превращаться в трифторметилированные аллены (KOH в этаноле) с выходами до 92%. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет) и профессор А.В. Васильев (СПбГУ).



*Org. Chem. Front.*, 2017, 4, 255-265.

45. Разработана новая медь-катализируемая реакция N-замещенных гидразонов альдегидов с  $\text{CCl}_4$ , это превращение позволяет конструировать новую C-C связь и эффективно получать 4,4-дихлор-1,2-диазабута-1,3-диены. Доказано, что эта каскадная реакция протекает путем присоединения трихлорметильного радикала к C=N-связи гидразона с последующим элиминированием HCl. Обнаружено, что реакция имеет общий характер и в ней могут использоваться как гидразоны, имеющие самые разные заместители, так и разнообразные полигалогенированные соединения ( $\text{CCl}_3\text{Br}$ ,  $\text{CBr}_4$ ,  $\text{CCl}_3\text{CN}$ ,  $\text{CCl}_3\text{COOEt}$ ,  $\text{CCl}_3\text{CF}_3$ ,  $\text{CBr}_3\text{CF}_3$ ).



*ACS Catal.*, 7  
(2017) 205–209.

В результате было получено целое семейство функционализированных 1,2-диазабута-1,3-диенов. Продемонстрировано, что эти гетеродиены являются универсальными строительными блоками для эффективной сборки ценных

ациклических и гетероциклических молекул. Руководитель работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко; исп. д.х.н. А.В. Шастин, к.х.н. В.М. Музалевский, к.х.н. С.В. Шорунов, д.х.н. В.Н. Хрусталеv, к.х.н. П.В. Дороватовский, В.М. Горбачев, А.И. Лукьянова (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

## Достижения в области химии супрамолекулярных систем

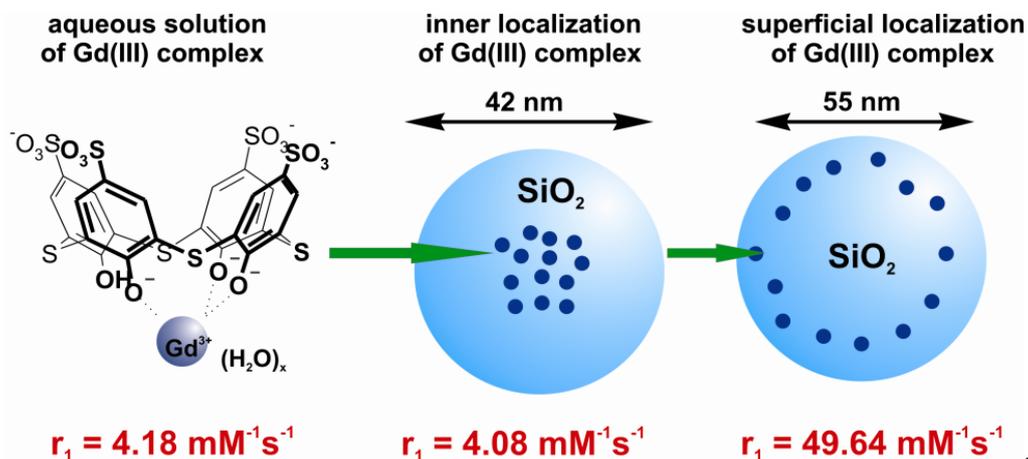
1. Впервые разработаны липидные наноконтейнеры для кватернизованных оксимов, способные преодолевать гематоэнцефалический барьер. Благодаря высокой эффективности инкапсулирования лекарственного препарата - прапидоксим хлорида достигнута 15% реактивация ацетилхолинэстеразы головного мозга, что позволяет в два раза увеличить выживаемость лабораторных крыс после отравления летальной дозой широко используемого в мире пестицида - параоксона. Это один из первых успешных результатов в мировой науке, посвященных терапии отравлений фосфорорганическими ингибиторами холинэстераз с применением наноконтейнеров. Руководитель работы – академик О.Г. Синяшин; отв. исп. – профессор Л.Я. Захарова; исп. – к.х.н. Т.Н. Паширова, И.В. Зуева, к.х.н. В.М. Бабаев, к.х.н. И.Х. Ризванов, к.б.н. Петров (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



*ACS Appl. Mater. Interfaces.*, 9 (2017) 16922-16932.  
*Curr. Nanosci.*, 12 (2016) 598-604.

2. Впервые получены силикатные наночастицы (диаметром 55 нм), допированные комплексами гадолиния, которые обеспечивают эффективное контрастирование изображений в медицинском ЯМР-томографе при нулевой цитотоксичности по отношению к лимфоцитам крови человека. По параметру релаксивности, коррелирующему с контрастностью томографического изображения, данные наночастицы в 8-12 раз превосходят

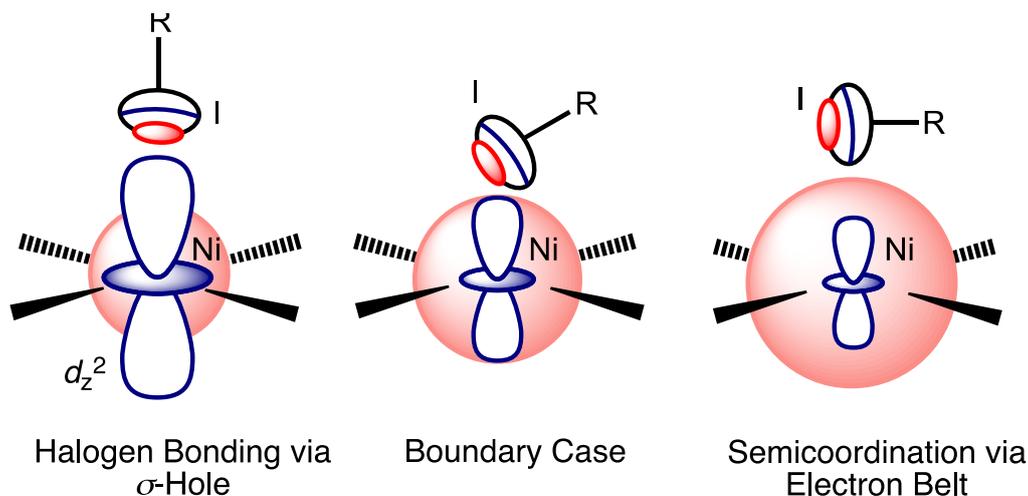
коммерческие контрастные агенты. Руководитель работы – д.х.н. А.Р. Мустафина, исп. – к.х.н. С.В. Федоренко, С.Л. Гречкина, к.х.н. М.К. Кадиров, к.х.н. А.С. Степанов, к.х.н. К.В. Холин, к.х.н. И.Р. Низамеев, д.х.н. С.Е. Соловьева (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



*Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 149 (2017) 243-249.

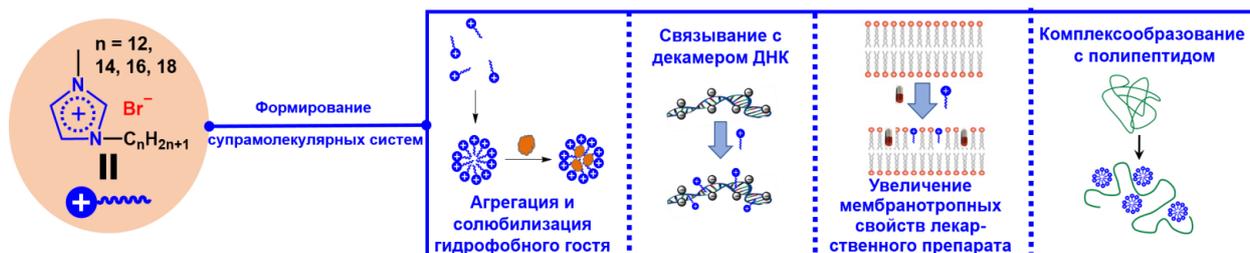
3. Впервые было зафиксировано проявление электрофильно-нуклеофильного дуализма металла в составе комплексного соединения по отношению к слабым нековалентным взаимодействиям. На основании собственных экспериментов, включающих синтетическую работу, квантово-химические расчёты и анализ данных рентгеноструктурного анализа при различных температурах, а также анализа Кембриджской кристаллографической базы данных органических соединений, было показано, что никель в составе его соединений способен выступать как в роли донора электронной плотности, участвуя в образовании галогенных связей, так и акцептора электронной плотности, образуя семикоординационную связь. Результаты исследования вносят вклад в развитие фундаментальных представлений о природе слабых взаимодействий и ведут к пониманию условий образования подобных контактов, а значит, к возможности управления полезными свойствами соединений и материалов за счёт образования и разрушения слабых межмолекулярных взаимодействий. Руководитель работы – чл.-корр. В.Ю. Кукушкин; исп. – д.х.н. Н.А. Бокач,

З.М. Бикбаева, Д.М. Иванов, А.С. Новиков, И.В. Ананьев (Санкт-Петербургский государственный университет).



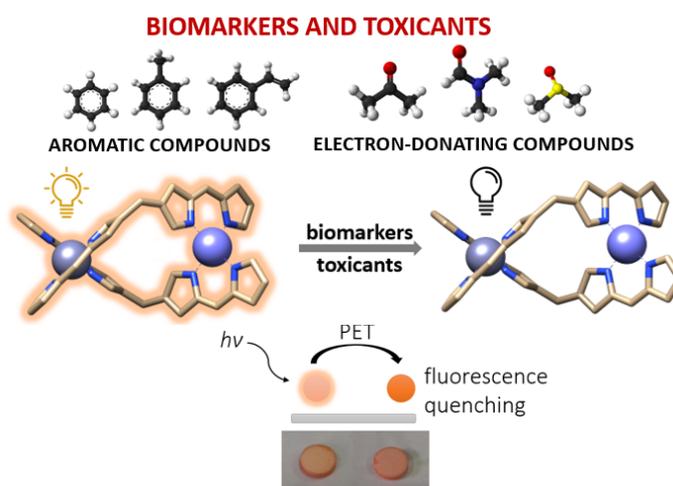
*Inorg. Chem.*, **56** (2017)13562–13578

4. Впервые для гомологической серии имидазолиевых ПАВ установлен неклассический механизм влияния фактора гидрофобности на функциональную активность, отличающийся от типичного поведения растворов ПАВ (корреляция свойств с длиной алкильного радикала). Наблюдается количественное связывание декамера ДНК всеми гомологами, нивелирование влияния гидрофобности на сольубилизационную емкость мицелл, а также способность только низших гомологов интегрироваться в липидный бислой, увеличивая его проницаемость для лекарственных веществ. Полученные результаты увеличивают биотехнологический потенциал супрамолекулярных систем. Руководитель работы – профессор Л.Я. Захарова; исп. – к.х.н. Д.Р. Габдрахманов, Д.А. Самаркина, к.х.н. С.С. Лукашенко (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН)



*Colloids Surf. A-Physicochem. Eng. Asp.*, 529 (2017) 990-997; *ЖОХ*, 87 (2017) 2009-2016.

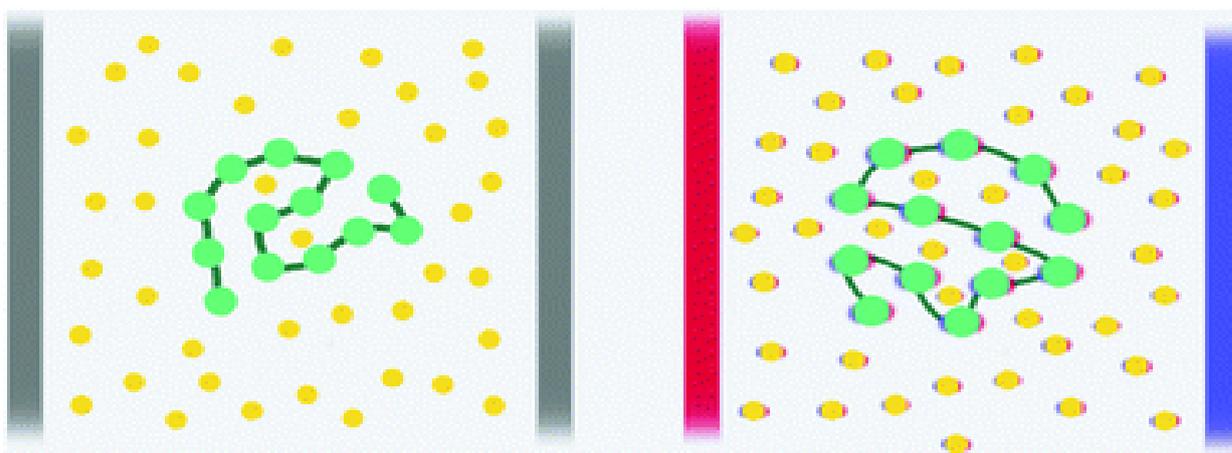
5. На основе дипиррометеновых координационных соединений разработаны новые флуоресцентные «On-Off» сенсоры и гибридные полимерные композиты, потенциально перспективные для неинвазивной диагностики специфических арильных соединений-биомаркеров на ранних стадиях ряда онкологических заболеваний и для аналитико-экологического мониторинга ароматических и электронодонорных токсикантов. Преимущество сенсоров и композиционных материалов заключается в мгновенном и селективном оптическом отклике дипиррометенового люминофора на конкретный ароматический и электронодонорный биомаркер или токсикант за счет высокой эффективности супрамолекулярного комплексообразования между ними по типу  $\pi$ - $\pi$ -стекинга или дополнительной координации; высокой скорости диффузии летучих биомаркеров в высокопористые полимерные матрицы на основе целлюлозы; простоте методики и низкой себестоимости материала-сенсора по сравнению с известными аналогами. Руководитель работы - профессор А. И. Вьюгин; исп. - профессор Е.В. Антина, д.х.н. М.Б. Березин, к.х.н. Г.Б. Гусева., А.А. Ксенофонтов. (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).



*Sens. Actuators B*, 251 (2017) 858–868; *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 173 (2016) 222-227.

6. Разработан теоретический подход, основанный на формализме обобщенных термодинамических потенциалов для описания конформационного многообразия диэлектрических полимеров в

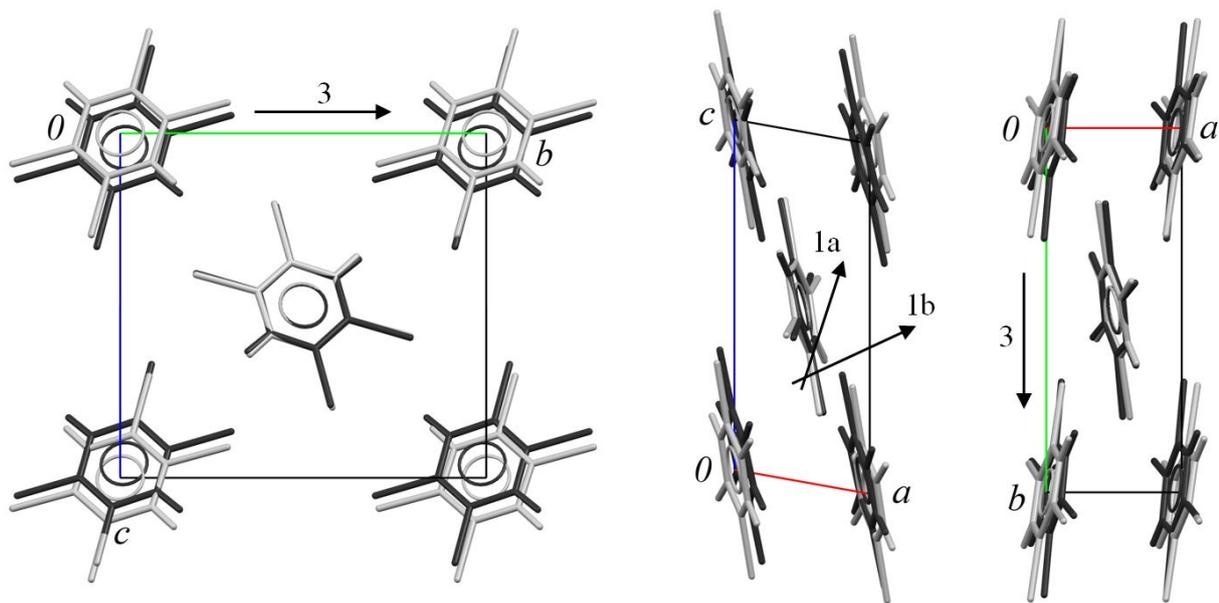
растворителе под действием внешнего электрического поля. В отличие от ранее предложенных теорий, настоящий подход позволяет описывать конформационные состояния полимерных макромолекул, находящихся под влиянием различных внешних воздействий, таких как давление, влияние соразтворителя, электрическое поле и т.д. В работе показана и обоснована принципиальная возможность контроля импрегнации диэлектрических полимерных клубков поляризуемыми диэлектрическими частицами целевого соединения изменением внешнего электрического поля в среде жидкого диэлектрика. Полученные результаты создают теоретическую базу для создания новой технологии адресной доставки лекарств и создания лекарственных препаратов пролонгированного действия. Руководители работы - д.х.н. М.Г. Киселев и к.х.н. Ю.А. Будков (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).



*Soft Matter*, 13 (2017) 4401-4401.

7. Изучены механические свойства кристаллов 1,2,4,5-тетрабромбензола, и бромида окситропия, в которых наблюдается термомеханический эффект при фазовом переходе, проявляющийся в виде прыжков или разрушения кристалла. Обнаружено, что при нагревании 1,2,4,5-тетрабромбензола происходит увеличение коэффициентов термического расширения вблизи точки фазового перехода, сопровождающегося термомеханическим эффектом, причем как для низкотемпературной  $\beta$ -, так и для высокотемпературной  $\gamma$ -фазы. Установлено, что при фазовом переходе в двух исследованных объектах именно в направлениях, наиболее жестких при

сжатии, структура претерпевает значительную деформацию, сопровождающуюся термомеханическим эффектом. Это приводит к значительному выделению энергии, которая может быть преобразована в механическую работу – прыжок или разрушение кристалла. На рисунке ниже показано наложение фрагментов кристаллических структур 1,2,4,5-тетрабромбензола при нормальном давлении (светло-серый цвет) и 3.7 ГПа (темно-серый цвет). Стрелки показывают наиболее легко деформируемое (главная ось 1) и наиболее жесткое (главная ось 3) направления в кристаллической структуре. Направления 1a и 1b соответствуют направлениям деформации структуры при увеличении давления до 0.4 ГПа и до 3.7 ГПа, соответственно. Руководитель работы — к.х.н. Б.А. Захаров (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирский государственный университет).

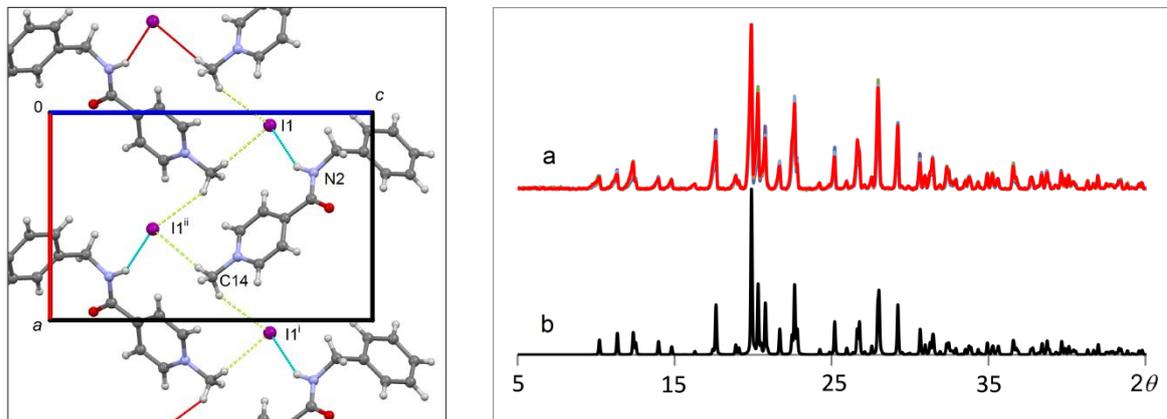


*РССР, (2018), в печати*

8. Изучена кристаллическая структура фармацевтической субстанции N-метил-4-бензилкарбамидопиридиния йодида (МБИ), лежащей в основе эффективного мультимодального противовирусного препарата. Проведен скрининг на предмет возможного полиморфизма образцов, полученных различными методами перекристаллизации с использованием разных растворителей (ДМСО, вода, метанол, ацетонитрил, ацетон, ДМФА, этанол,

изопропиловый спирт). Образцы были получены в Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН. В работе использовались методы рентгено-структурного и рентгено-фазового анализа. Эксперименты проводились на монокристалльном дифрактометре Gemini R Ultra фирмы Rigaku Oxford diffraction и на порошковом дифрактометре Stadi MP фирмы Stoe (Германия). Определена кристаллическая структура МБИ. Соединение кристаллизуется в ромбической сингонии, в пространственной группе симметрии  $P2_12_12_1$ . Параметры элементарной ячейки:  $a = 9,2867(2) \text{ \AA}$ ;  $b = 10,8741(2) \text{ \AA}$ ;  $c = 14,3038(3) \text{ \AA}$ ;  $V = 1444,46(5) \text{ \AA}^3$ ;  $Z = 4$ . В независимой части элементарной ячейки находятся один катион органической молекулы и один анион йода. Фрагмент структуры показан на рисунке 1. Катион и анион образуют ионную пару, связанную сильной водородной связью N–H...I. Кроме сильной водородной связи N–H...I в структуре можно выделить две слабые связи C–H...I. Ионные пары посредством связывания этими слабыми водородными связями образуют бесконечные ленты вдоль направления кристаллографической оси  $a$ . Между лентами водородных связей нет. Результаты порошковой дифрактометрии показали, что все образцы имеют одну и ту же кристаллическую структуру, которая была определена по монокристалльным данным, и не имеют примесей каких-либо других кристаллических фаз (в пределах точности метода РФА). При перекристаллизации МБИ восемью способами из различных растворителей (ДМСО, вода, метанол, ацетонитрил, ацетон, ДМФА, этанол, изопропиловый спирт) возникновения новых полиморфных форм не наблюдалось. На рисунках ниже показано: слева - фрагмент кристаллической структуры МБИ в проекции вдоль кристаллографической оси  $b$ , водородные связи показаны пунктирной линией; справа - порошковые дифрактограммы разных образцов в сравнении с расчетной: а) наложение восьми экспериментальных дифрактограмм, б) расчетная дифрактограмма МБИ, сделанная по монокристалльным данным. Руководитель работы - профессор Е.В.

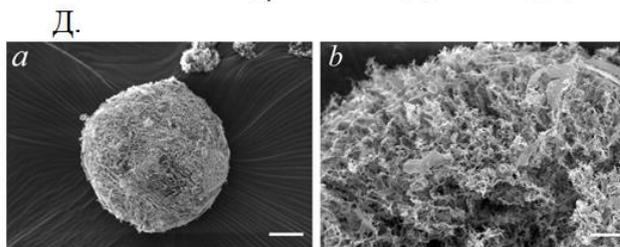
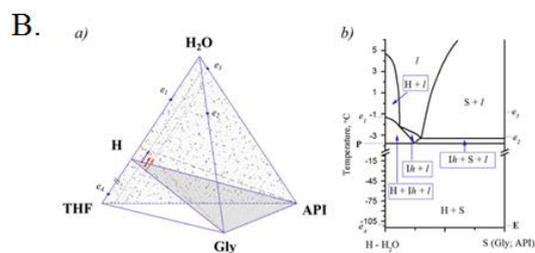
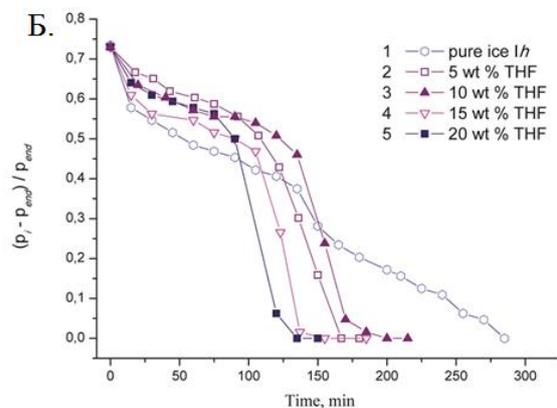
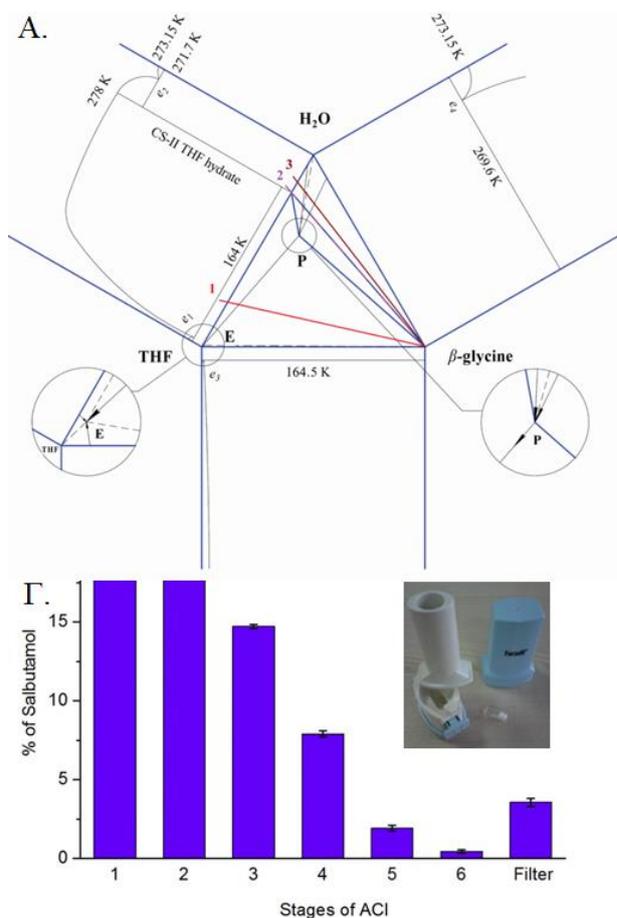
Болдырева; исп. - к.х.н. Т.Н. Дребущак (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).



*Acta Cryst.*, (2017) E73,967-970.

9. В рамках исследований, направленных на перевод плохо растворимых лекарственных веществ в биодоступную форму с применением криогенных методов, изучена стабильность клатратного гидрата тетрагидрофурана в тройных системах. Для системы «вода-ТГФ-глицин» методами РФА и ДСК показано, что добавление третьего компонента приводит к изменению характера плавления клатратного гидрата ТГФ (двойная система «вода-ТГФ»: конгруэнтное плавление (+4,5°C); тройная система «вода-ТГФ-глицин»: инконгруэнтное плавление (-3,9°C):  $H_{(тв.)} + \text{глицин}_{(тв.)} = \text{лед } I_{h(тв.)} + l$  ( $H$  – гидрат ТГФ,  $l$  – жидкость)). При замораживании фаза/фазы растворенных веществ вытесняются в пространство между растущими кристаллитами гидрата тетрагидрофурана. Данный метод позволяет получать твердые дисперсные системы, в которых плохо растворимое лекарственное вещество распределено в пористой легко растворимой матрице вещества-носителя. Созданные по предложенному способу фармацевтические композиции сальбутамола и будесонида характеризуются высокими значениями респираторной фракции и пригодны для приготовления лекарственных форм в виде порошков для вдыхания. На рисунке ниже показано: А - Т-х<sub>1</sub>-х<sub>2</sub> проекция фазовой диаграммы тройной системы «вода – ТГФ – β-глицин» с разверткой; Б - зависимость скорости снижения давления в камере от

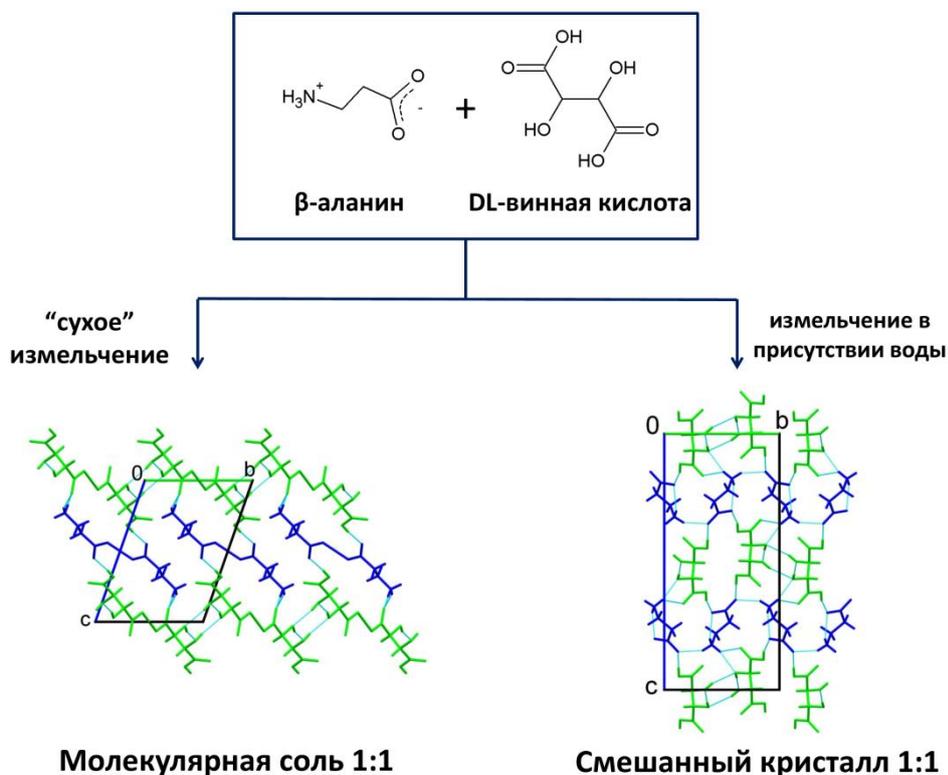
концентрации ТГФ в растворе при сушке 5% -ого раствора глицина в растворителе ТГФ-вода. Температура полки -5 °С; В - иллюстрация выбора температурного режима сушки; Г - результаты определения респирательной фракции композиции салбутамол-глицин с использованием капсульного ингалятора и каскадного импактора Андерсена; Д - снимки СЭМ порошков салбутамол-глицин для использования в порошковых ингаляторах. Руководитель работ - профессор Е.В. Болдырева (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).



*J. Therm. Analys. Calorim.*, 127 (2017) 1593-1604;  
*Eur. J. Pharm. Sci.*, 110 (2017) 148-156.

10. Исследован процесс получения бинарных молекулярных кристаллов на основе гомологичных аминокислот (глицин, β-аланин, γ-аминобутировая кислота, DL-α-аминобутировая кислота) с карбоновой кислотой (DL-винная кислота) при помощи различных методов, включая кристаллизацию медленным испарением, совместную механохимическую обработку и кристаллизацию при помощи осаждения. Впервые в мире удалось получить

для одного и того же состава и стехиометрии компонентов как соль, так и со-кристалл (для системы «β-аланин – DL-винная кислота»). При этом были найдены условия, позволяющие воспроизводимо управлять этим процессом, получая фазово чистые образцы как в виде монокристаллов, так и порошков.

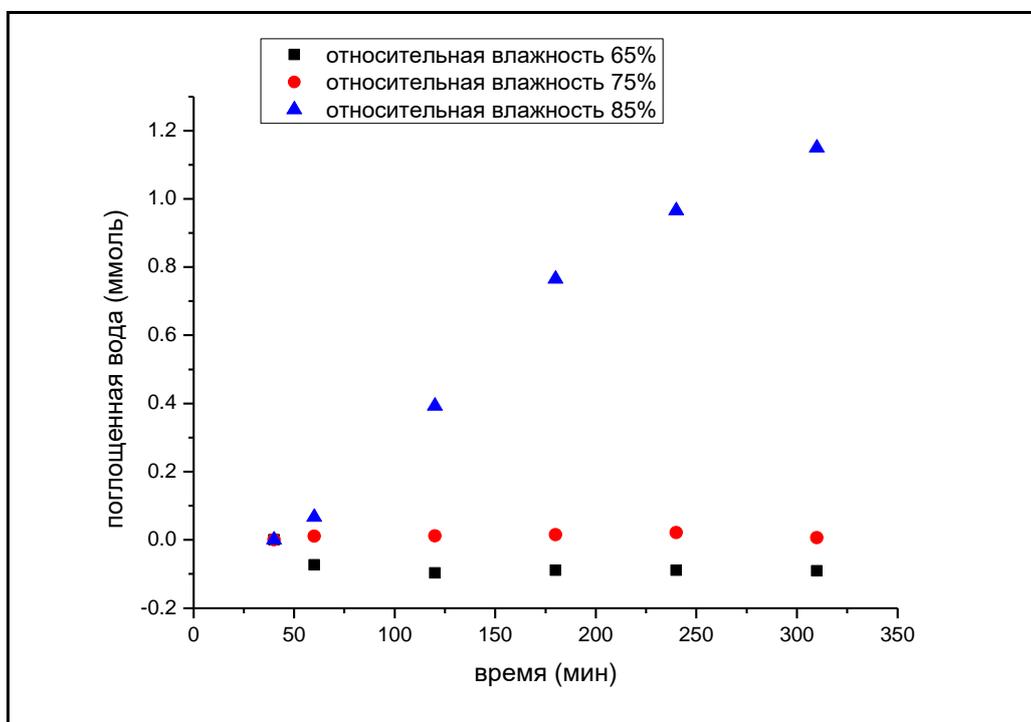


*Acta Cryst.*  
C74, (2018)  
В печати

Исследована относительная устойчивость соли и со-кристалла одного и того же состава и найдено объяснение тому, что термодинамически более устойчивой является менее плотная структура. Проанализирована упаковка аминокислот и карбоновых кислот в полученных соединениях. Впервые получены структуры с двойными катионами и анионами одновременно. Показано, что в случае со-кристалла «β-аланин – DL-винная кислота» цвиттер-ионы β-аланина формируют бесконечные цепочки по типу «голова к хвосту», тогда как в молекулярных солях «β-аланин – DL-винная кислота», «γ-аминобутировая кислота - DL-винная кислота», «DL-α-аминобутировая кислота - DL-винная кислота» аминокислоты образуют изолированные димерные катионы. Обнаружена корреляция между температурой плавления двухкомпонентного кристалла типа «аминокислота – карбоновая кислота» и строением аминокислоты, которая входит в его состав. Руководитель работы

- к.х.н. Е.А. Лосев (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, Новосибирский государственный университет).

11. Изучено влияние паров воды на механохимические превращения в системе «глицин-малоновая кислота», вызывающее наблюдаемые ранее эффекты вязкости в смеси сухих порошков при механической обработке. Проведено исследование гигроскопичности компонентов системы по отдельности – глицин, малоновая кислота и кислый малонат глициния (продукт реакции) – и в стехиометрической смеси порошков. Замечена более выраженная гигроскопичность малоновой кислоты по сравнению с глицином и солью. Показано, что смесь порошков глицина и малоновой кислоты поглощает существенные количества воды (10% мол.) даже при относительной влажности ниже, чем гигроскопические точки малоновой кислоты и глицина. При этом поглощенная вода через небольшой промежуток времени (1-2 ч) испаряется, пока образец находится в тех же условиях.

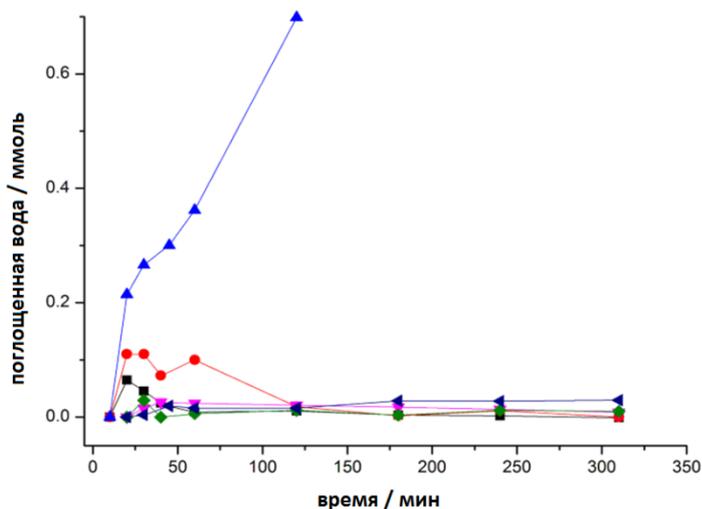


*ДАН, 472 (2017) 292–294.*

Предложен механизм взаимодействия кристаллических глицина и малоновой кислоты в смеси порошков при нормальных условиях,

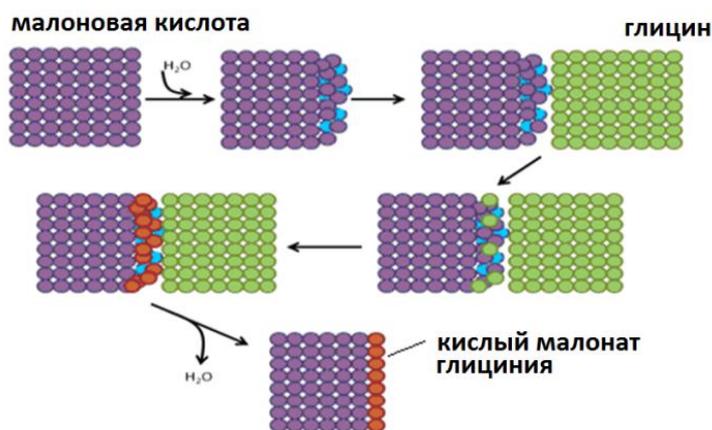
основанный на адсорбции паров воды точками контакта частиц реагентов. На рисунке ниже показана зависимость количества поглощенной влаги (ммоль) смесью глицина и малоновой кислоты (1:1) от времени при различной относительной влажности воздуха. Руководитель работы - академик РАН В.В. Болдырев; исп. - профессор Е.В. Болдырева, к.х.н. А.А. Политов (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН) совместно с Новосибирским государственным университетом (И.А. Туманов, А. Михальчук).

12. Проведено углубленное исследование системы «глицин – малоновая кислота», направленное на выявление роли поглощения паров воды реакционной смесью перед началом и в процессе механохимической реакции. Показано, что «сухая» механохимическая реакция молекулярных кристаллических веществ может оказаться не совсем сухой. Проведение механохимических экспериментов со смесями глицина и малоновой кислоты с поглощающим влагу эксипиентом – поливинилпирролидоном, показало, что присутствие воды в каком-либо виде необходимо для образования продукта, а механическая обработка действительно сухих реагентов не приводит к их взаимодействию. С другой стороны, свободный доступ атмосферной влаги к реакционной смеси на всем протяжении механохимической реакции приводит к существенной вязкости образца, что способно предотвратить дальнейшую механическую обработку.



Поглощение паров воды смесью реагентов и продуктом реакции при разных значениях относительной влажности: ▲ – смесь при 85% отн.вл., ● – смесь при 75% отн.вл., ■ – смесь при 65% отн.вл., ◀, ◆, ▼ – продукт при 85%, 75%, и 65% отн.вл., соответственно.

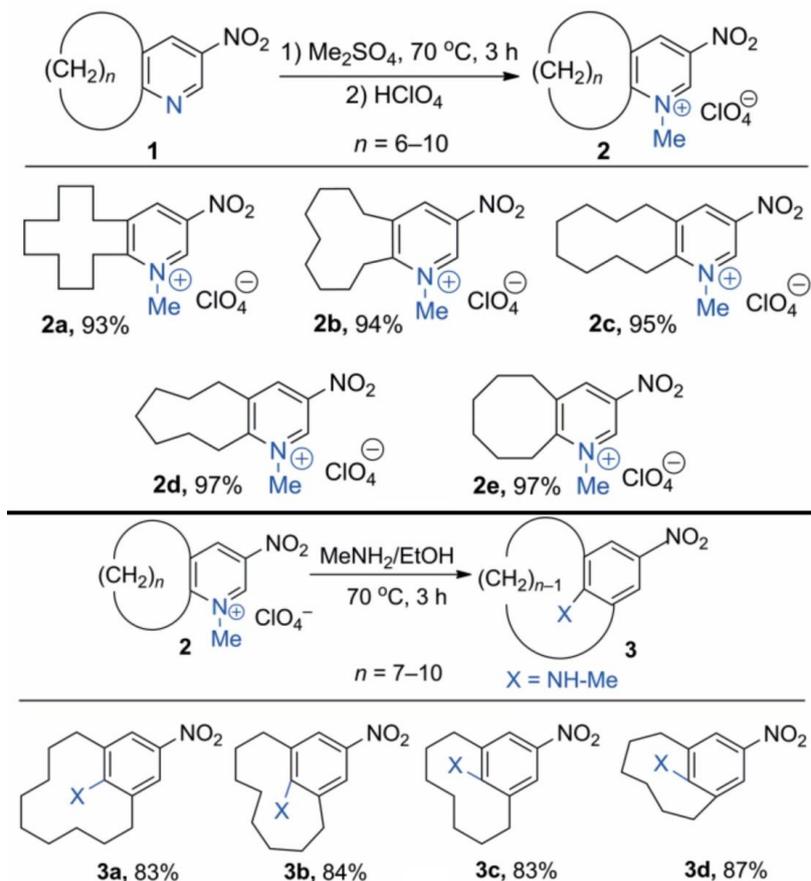
Такое явление можно назвать «истирание, затрудненное жидкостью». На рисунке ниже показано схематическое представление взаимодействия паров воды с малоновой кислотой и глицином, приводящее к образованию поверхностного слоя кислого малоната глициния. Руководитель работы - академик РАН В.В. Болдырев; исп. - профессор Е.В. Болдырева, к.х.н. А.А. Политов (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН) совместно с Новосибирским государственным университетом (И.А. Туманов, А. Михальчук).



*CrystEngComm*,  
19 (2017) 2830–2835

13. Было проведено рентгеноструктурное исследование ряда метациклофанов с целью прецизионного исследования внутримолекулярной геометрии. Коллегами из Омска был предложен новый метод синтеза метациклофанов, который включает синтез нитропиримидиновой соли **2a-e** (см. схему) с последующей перегруппировкой в соответствующие метациклофаны **3a-d**. Эффективность и простота синтеза позволяют использовать [6]-[9]метациклофаны в качестве доступных предшественников при синтезе ретиноидов, индолофанов и карбазолофанов. Наиболее важными геометрическими параметрами ароматических систем является наличие эквивалентных длин С-С связей и плоскости, в которой лежат все атомы углерода ароматической системы. Однако эти критерии выполняются не во всех ароматических соединениях. Первым примером таких отклонений выявил Дональд Крам, который в 1961 году синтезировал [8]парацicloфан, в котором наблюдается батохромный сдвиг и потеря тонкой структуры в УФ

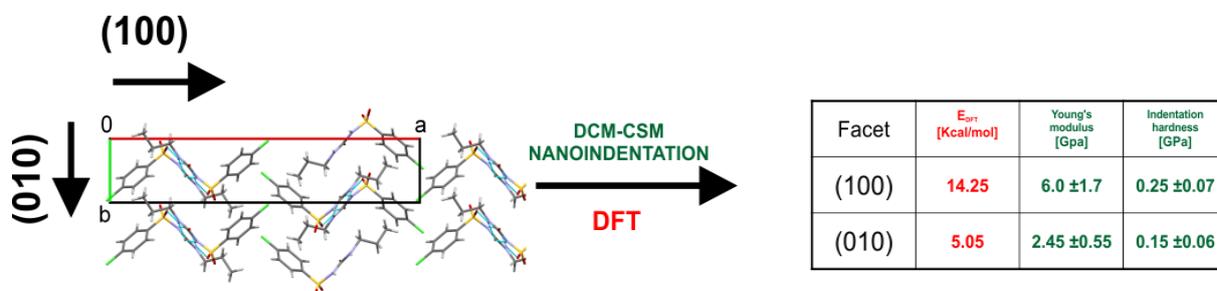
спектрах, что говорит о сгибе бензольного кольца. Методами рентгеноструктурного анализа, ЯМР- и ИК- спектроскопии в нашей работе была показана ароматичность и изгиб бензольных колец [6]-[8] метациклофанов. Руководитель работы - профессор Е.В. Болдырева (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).



*Eur. J. Org. Chem.*,  
2017(36), 5410-5416

14. Исследованы механические свойства  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  конформационных полиморфных модификаций хлопропамида. Анизотропия механических свойств  $\alpha$ -формы хлопропамида подтверждена путём наноиндентирования различных граней монокристалла при пластическом характере деформации. Показана корреляция между модулями Юнга и энергией взаимодействия между слоями молекул хлопропамида. Интерпретация результатов проведена с помощью DFT расчётов, которые показали корреляцию между энергией взаимодействия между слоями вдоль направления векторов элементарной ячейки и экспериментально полученными результатами наноиндентирования. Выдвинуто предположение о том, что энергия межслоевого взаимодействия может быть принята за один из основных

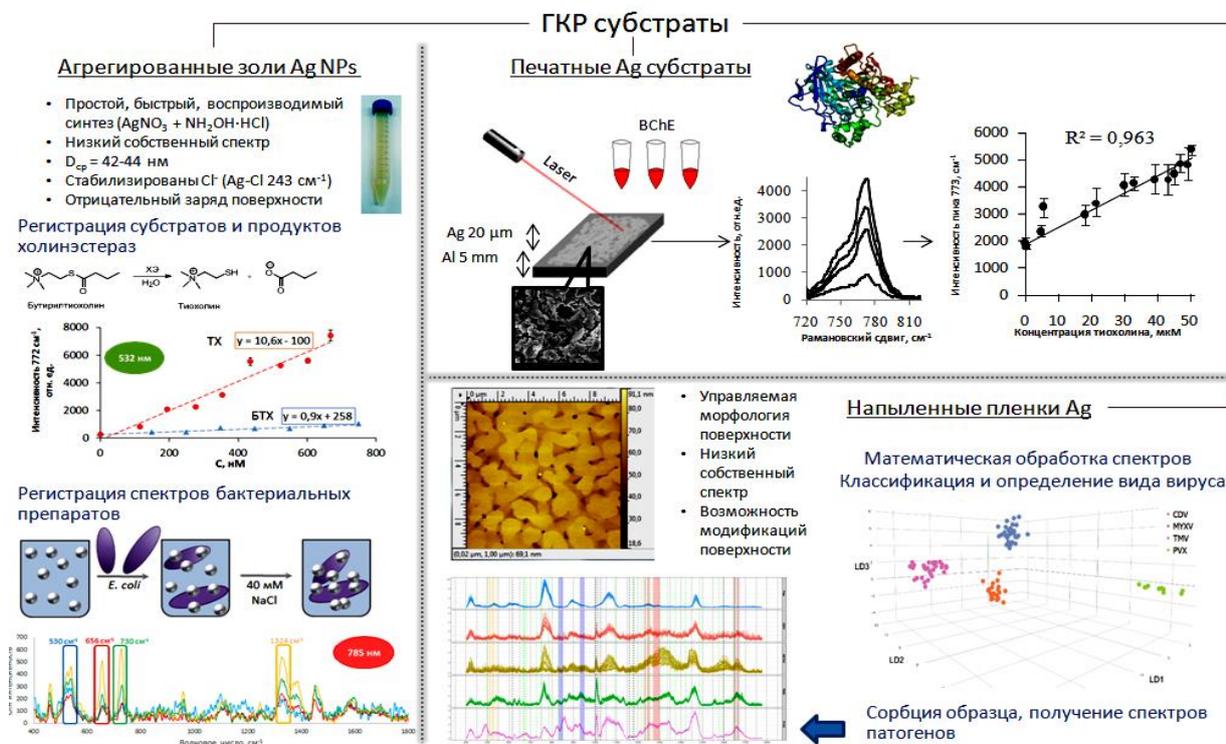
параметров для оценки механических свойств кристаллических фармацевтических веществ. Данное исследование подтвердило практическую обоснованность применения  $\alpha$ -хлорпропамида для изготовления таблетированных форм методом прямого сжатия вследствие значительного уровня её пластичности. На рисунке ниже показана корреляция между наномеханическими свойствами  $\alpha$ -полиморфной модификации хлорпропамида и DFT расчётами. Руководитель работы - профессор Е.В. Болдырева; исп. - Е. Лосев, В. Земцова (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН), совместно с Новосибирским государственным университетом, и университетом Любляны (В. Janković, Т. Joksimović, S. Srčić).



*Eur. J. Pharm. Sci.*, 110 (2017) 109-116.

15. Проведены исследования по оптимизации структуры новых метаматериалов, обеспечивающих селективное усиление сигналов гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) на выбранной частоте, что позволяет создавать высоко-специфические сенсорные структуры для требуемых классов молекулярных структур. Исследованы возможности применения новых метаматериалов для высокочувствительного анализа нейротоксинов, белковых токсинов бактериального происхождения, онкомаркеров, маркеров сердечно-сосудистых заболеваний в ультранизких количествах. Развитые в ИБХФ РАН методы ГКР спектроскопии на основе новых метаматериалов позволяют создать прорывной потенциал в области новых методов биомедицинского анализа, молекулярной диагностики и получить в среднесрочной и долгосрочной перспективе практически значимые научно-технические результаты мирового и опережающего уровня.

Руководитель работы - профессор И.Н. Курочкин; отв. исп. - А.В. Еременко; исп. – И. Будашов, Н.Н. Дурманов, Р.Р. Гулиев, Н. Нечаева (Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН), совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова и ИТПЭ РАН.

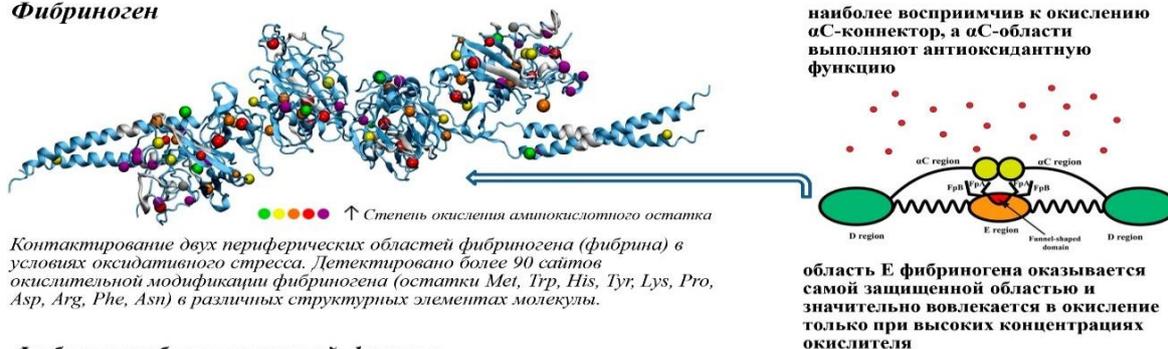


*Sens. Actuators B*, 257 (2018) 37-47.

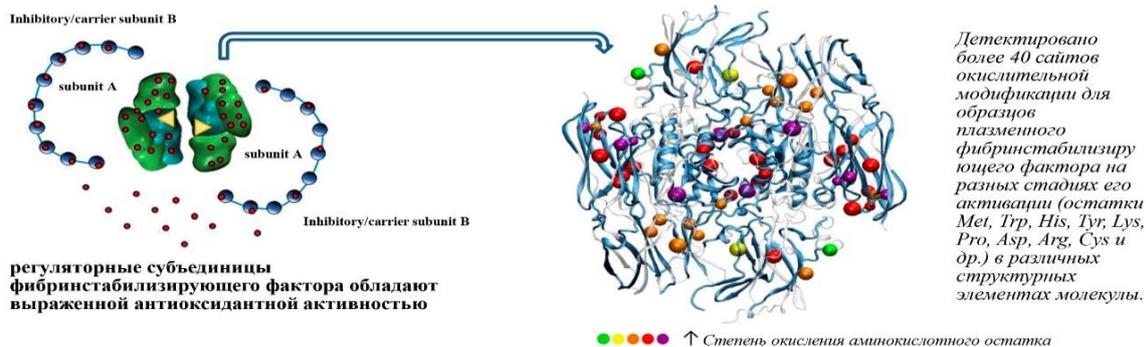
16. Предложена принципиальная новая концепция программного окисления белков. Согласно постулируемой концепции, пространственная структура белков эволюционно была адаптирована к действию активных форм кислорода (АФК). Некоторые из структурных элементов в белках (домены, субдомены, отдельные полипептидные цепи или их фрагменты) наделены антиоксидантными свойствами, т.е. действуют как перехватчики АФК, обеспечивая тем самым сохранение у белков способности к функционированию в условиях постоянной генерации АФК. Результаты проведенного цикла исследований по идентификации окислительных сайтов в молекулах фибриногена, фибрина и фибриостабилизирующего фактора при их индуцированном окислении полностью согласуются с предложенной концепцией. На основе разработанных подходов могут быть созданы диагностикумы нового поколения для выявления окислительного стресса в

организме на самых ранних стадиях развития заболеваний. Руководитель работы - профессор М.А. Розенфельд; отв. исп. – к.б.н. А.В. Бычкова; исп. – А.Д. Васильева, Л.В. Юрина, А.Е. Бугрова, М.И. Индейкина, А.С. Кононихин (Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН).

### Фибриноген



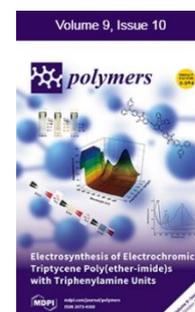
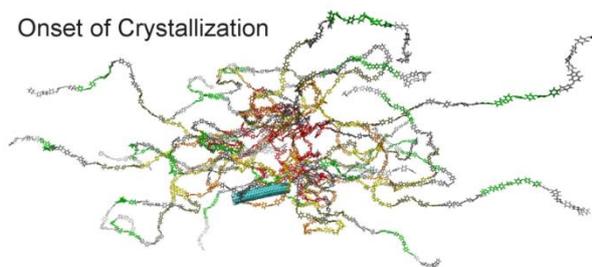
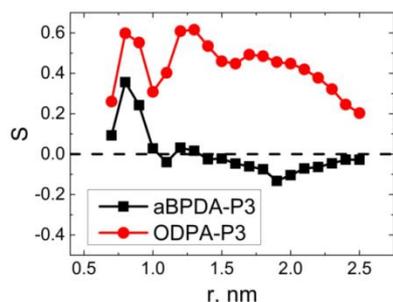
### Фибринстабилизирующий фактор



*Free Rad. Res.*, 52 (2018), 14-38.

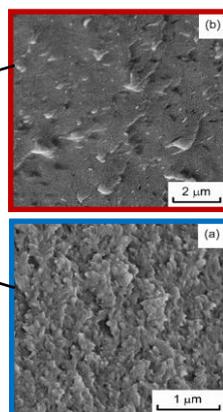
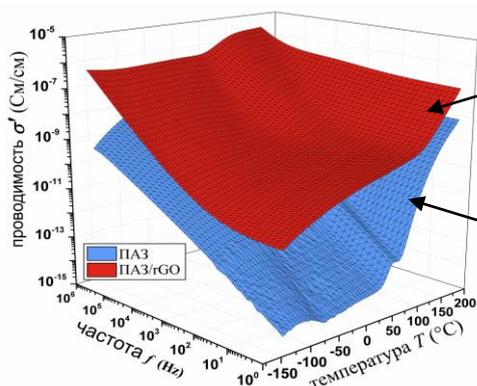
17. С помощью моделирования на микросекундном масштабе времен методом полноатомной молекулярной динамики наноконструктов на основе различных полиимидов и углеродных нанонаполнителей установлено формирование упорядоченных структур в полиимидах, соответствующее начальным этапам кристаллизации. Показано, что углеродные нанотрубки и графен могут инициировать кристаллизацию не только кристаллизующихся, но и аморфных полимеров, что хорошо согласуется с имеющимися экспериментальными данными. На основе анализа результатов моделирования установлено, что начальные этапы кристаллизации обусловлены, в первую очередь,  $\pi$ - $\pi$  взаимодействиями между ароматическими фрагментами полиимидов и поверхностью углеродных наполнителей, а не пространственными ограничениями. На иллюстрации ниже показана зависимость параметра порядка  $S$  плоских фрагментов

полиимидов aBPDA-P3 и ODPA-P3 от расстояния от оси углеродной нанотрубки (слева) и мгновенная конфигурация нанокомпозита на основе ODPA-P3 и углеродных нанотрубок. Руководитель работы – Dr. J. Kenny; отв. исп. – д.ф-м.н. С.В. Люлин; исп. – к.ф-м.н. С.В. Ларин, к.ф-м.н. В.М. Назарычев (Институт высокомолекулярных соединений РАН).



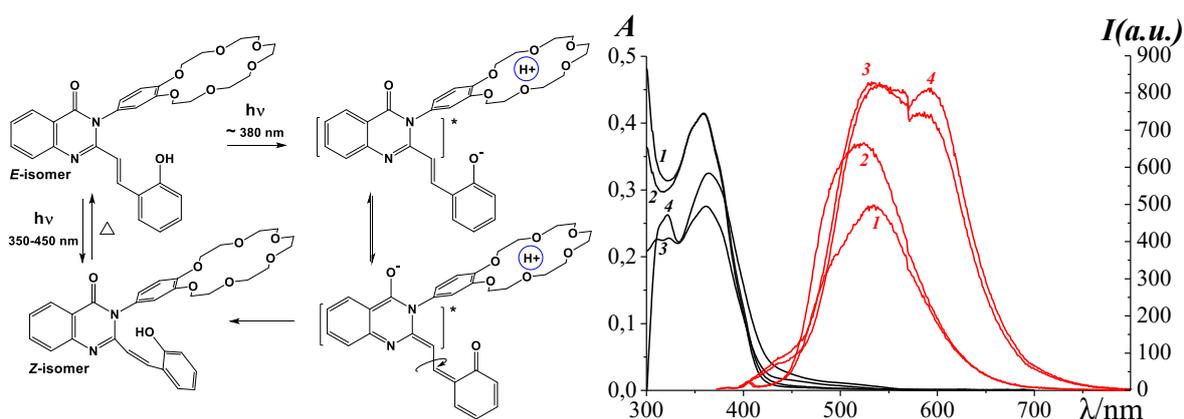
*Polymers*, 9 (2017) 548-568.

18. Получены нанокомпозиты на основе полиазометина (ПАЗ) и наночастиц восстановленного оксида графена (ВОГ) с содержанием ВОГ до 2 масс%. Методом диэлектрической спектроскопии исследованы зависимости диэлектрической проницаемости и электропроводности ПАЗ и ПАЗ/ВОГ от частоты и температуры. Показано, что электропроводность ПАЗ/ВОГ (2 масс% в ОГ) при 20 °С и частоте 1 Гц на 4 порядка выше по сравнению с ПАЗ:  $4.2 \times 10^{-9}$  и  $9.2 \times 10^{-13}$  См/см, что свидетельствует о возможности использования полученных нанокомпозитов как электропроводящих материалов. Руководитель работы – д.х.н. А.В. Якиманский, отв. исп. – д.ф-м.н. С.В. Бронников, исп. – к.ф-м.н. С.В. Костромин (Институт высокомолекулярных соединений РАН).



*Eur. Polym. J.*, 96 (2017) 119-133; *J. Polym. Res.*, 24 (2017) 1-11.

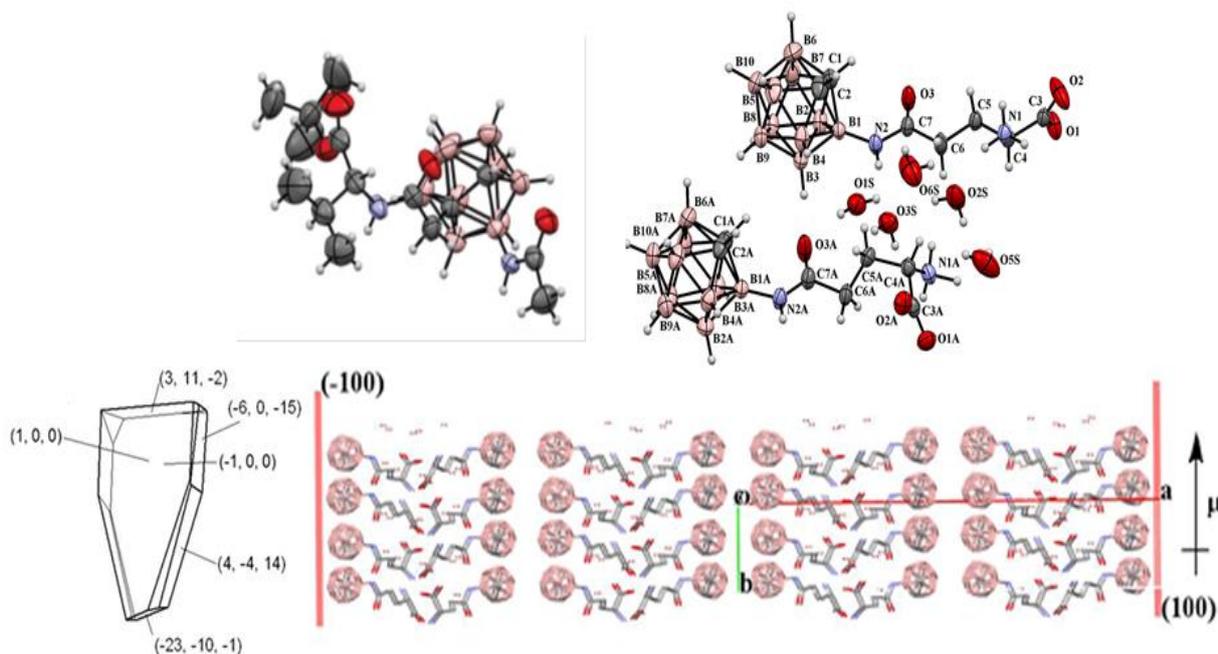
19. Разработан новый тип фотопереклюателей среди (*E*)-гидроксистирилхиназолинон-содержащих бензо-краун эфиров с обратимой фото/термической *E*—*Z* изомеризацией в растворах DMF и Et<sub>3</sub>N, которые демонстрируют двойную эмиссию в 400 – 700 нм диапазоне длин волн, связанную с ICT- и ESIPT-механизмами. Синтезированные ESIPT-люминофоры реализуют редкий тип реакции переноса протона в возбужденном состоянии без стандартного образования псевдоциклической хромофорной системы. Результаты исследования позволяют рассматривать эти соединения как потенциальные компоненты для супрамолекулярных ионных устройств и «white light-emitting» органических материалов в области молекулярной ионки. Руководитель работы - академик В.Н. Чарушин; отв. исп. – к.х.н. И.Г. Овчинникова, Г.А. Ким, к.х.н. Г.Л. Русинов (Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского).



*Photochem. Photobiol. A: Chemistry*, 351 (2018) 16–28.

20. Синтезированы новые планарно-хиральные производные (*S*)-аминокислот, содержащие фрагменты 1,2-дикарба-κ-озо-додекаборана (*орто*-карборана). Разработаны методы получения индивидуальных стереоизомеров. Современными физико-химическими методами проведено комплексное исследование морфологических, кристаллографических и пьезоэлектрических свойств монокристаллов новых производных *орто*-карборана. Установлено, что некоторые соединения обладают высокой пьезоэлектрической активностью, сопоставимой с пьезоактивностью современных неорганических материалов. Ниже показана молекулярная

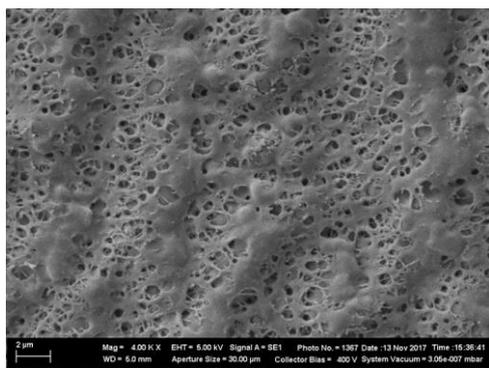
структура и кристаллическая упаковка пьезоактивных карборанил-аминокислот (по данным рентгеноструктурного анализа). Руководитель работы – д.х.н. В.П. Краснов; отв. исп. – к.х.н. Д.А. Груздев, к.х.н. Е.Н. Чулаков, Л.Ш. Садретдинова, В.О. Устинова; исп. – к.х.н. П.А. Слепухин (Института органического синтеза им. И.Я. Постовского) совместно с УЦКП «Современные нанотехнологии», г. Екатеринбург.



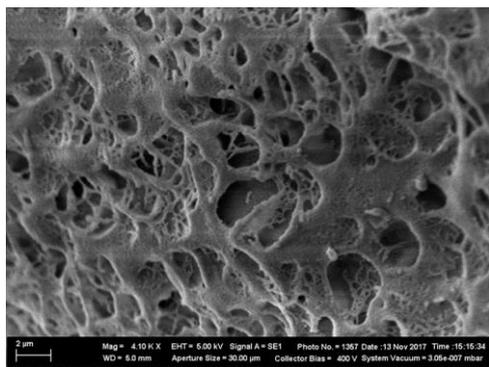
*Ferroelectrics*, 509 (2017) 113-123.

21. Впервые методом биомиметической минерализации полисахаридов глицеролатами кремния получена серия новых уникальных биологически активных кремнийполисахаридных глицерогидрогелей, перспективных как в качестве самостоятельных лекарственных средств топического применения, так и в качестве систем адресной доставки лекарственных средств. Комплексом современных физических методов выявлены структурные особенности гидрогелей. Установлено, что гидролиз и последующая конденсация прекурсоров в избытке полиола (золь-гель процесс) приводит к образованию наноразмерной гибридной взаимопроникающей структуры, состоящей из полимерной кремнийсодержащей сетки, внутри которой находятся нековалентно связанные с ней молекулы полисахарида, выполняющего роль темплата. Ниже показаны микрофотографии

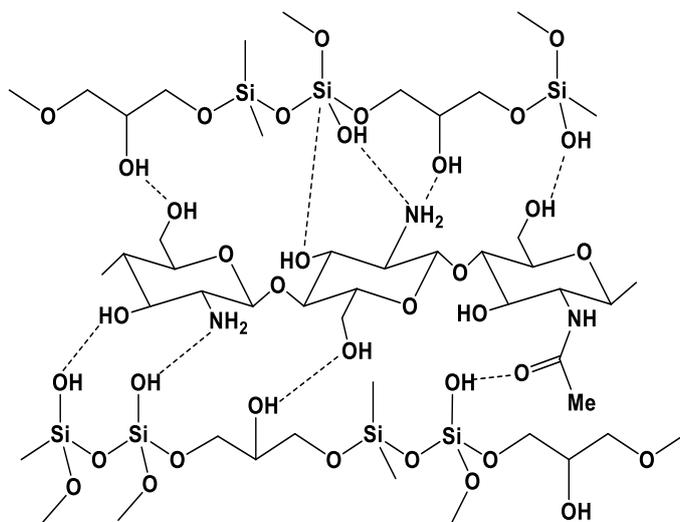
кремнийгидроксиэтилцеллюлозного (а) и кремнийксантансодержащего (б) глицеро-гидрогелей, полученных визуализацией образцов методом сканирующей крио-электронной микроскопии, и гипотетическая схема межмолекулярных взаимодействий на примере кремнийхитозансодержащего гидрогеля. Руководитель работы – д.х.н. Т.Г. Хонина; отв. исп. – к.х.н. Е.Ю. Ларченко, к.х.н. М.В. Иваненко, к.х.н. Е.В. Шадрин. (Института органического синтеза им. И.Я. Пастера).



(а)



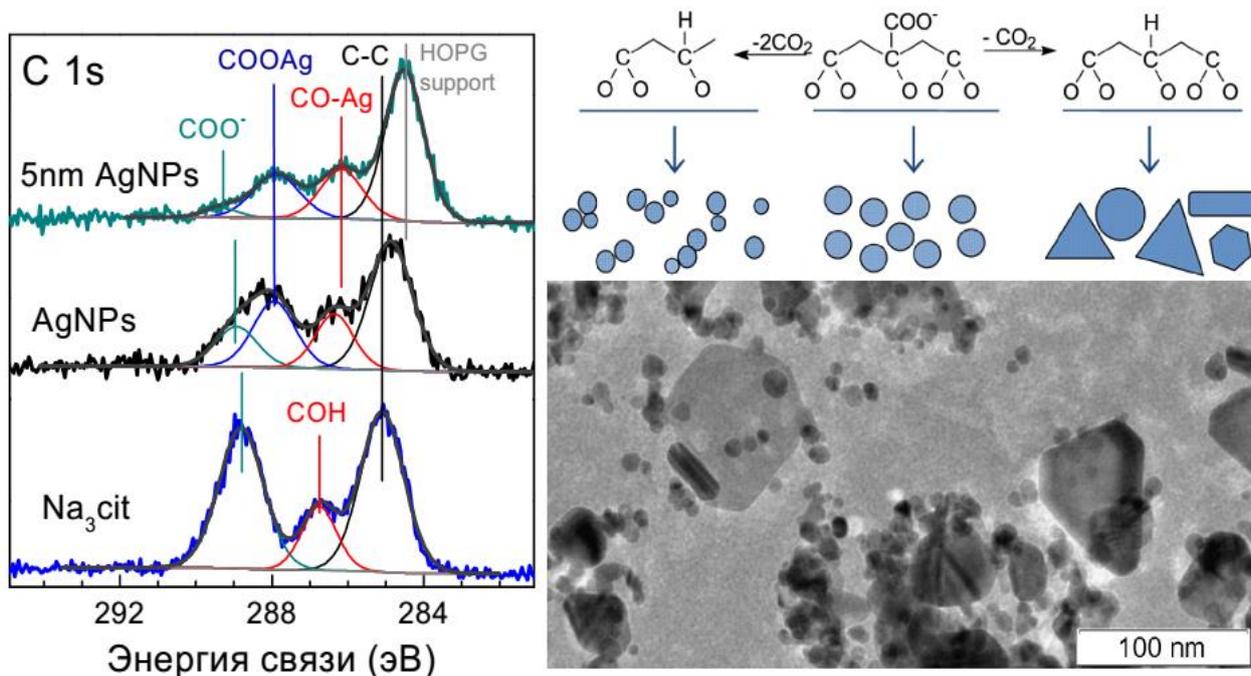
(б)



*Advances in Chemistry Research / New York: Nova Science Publishers, 2017, P. 193-226.*

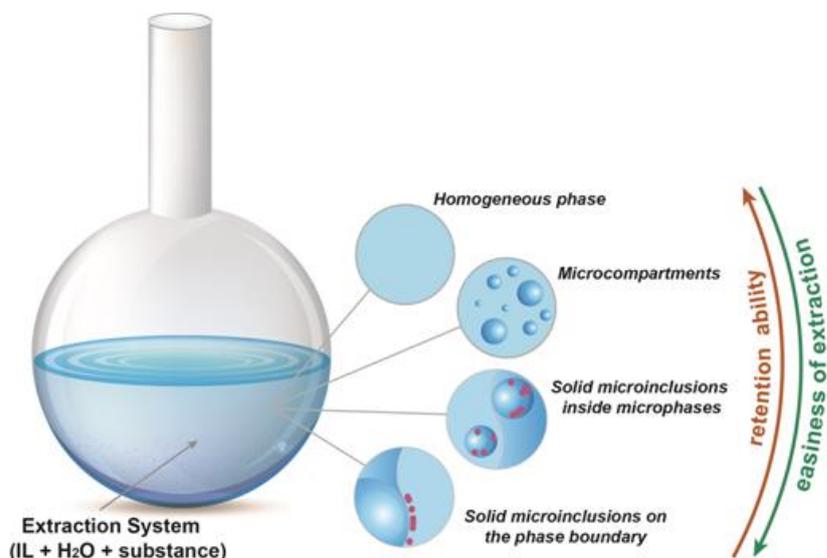
22. Методами РФЭС, XANES, DLS, ПЭМ и др. установлено, что на наночастицах серебра, полученных восстановлением ионов серебра  $\text{Ag}^+$  ионами железа  $\text{Fe}^{2+}$  в присутствии цитрата (метод Carey Lea) лиганды являются продуктами разложения цитрат-ионов (содержат, не 3, а 2 или 1 группы  $\text{COO}^-$  и спиртовую группу, связанные с  $\text{Ag}$ ; кетонная группа отсутствует), а также различаются на наночастицах разного размера и формы, т.е. влияют на рост частиц. Результаты предполагают, что полимодальность наночастиц обеспечивает необычную (до 0,5 М  $\text{Ag}$ ), агрегативную устойчивость золь, а нарушения биохимического окисления цитрата могут быть одной из причин бактерицидного действия наночастиц серебра. Руководитель работы – д.х.н. Ю.Л. Михлин; исп. - к.х.н. Воробьев

С.А., к.х.н. Вишнякова Е.А., д.х.н. Сайкова С.В., к.х.н. А.С. Романченко, д.ф.м.н. С.М. Жарков, к.х.н. Ю.В. Ларичев (Институт химии и химической технологии СО РАН и Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН Красноярский НЦ СО РАН, Сибирский Федеральный Университет, Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН).



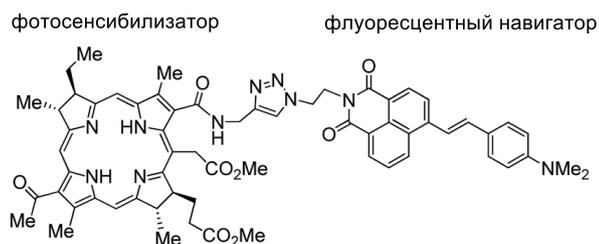
*Appl. Surf. Sci.*, 427 (2018) 687-694.

23. Методом сканирующей электронной микроскопии впервые обнаружены самоорганизующиеся наноразмерные структуры в жидкой фазе в процессе химической реакции и при последующей экстракции продуктов реакции. Фундаментальное механистическое исследование позволило усовершенствовать процедуру разделения биологически активных соединений в практически важной системе на основе ионных жидкостей. Проведенная работа является первым примером такого рода по видеофиксации ключевых микроструктур в растворе в режиме реального времени. Результаты исследования опубликованы в серии статей в высокорейтинговых международных журналах. Развернутая концепция работы опубликована в высокорейтинговом международном журнале *Chemical Reviews* в формате обзора. Руководитель работ — чл.-корр. РАН В.П. Анаников (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).

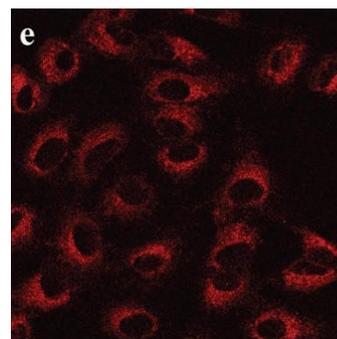


*Chem. Rev.*, 117 (2017) 7132.

24. Проводились работы по получению и исследованию фотофизических и фармакологических свойств конъюгатов производных хлорофилла с нафталимидными красителями с целью создания препаратов для комбинированной флуоресцентной диагностики (ФД) и фотодинамической терапии (ФДТ) рака. Для этой цели был разработан конъюгат фотосенсибилизатора (бактериохлорин) и флуоресцентного навигатора (производное нафталимида). Присутствие фотосенсибилизатора обеспечивает высокую активность конъюгата по отношению к раковым клеткам саркомы легкого A549 (гибель 90% клеток при концентрации  $0.33 \pm 0.05 \mu\text{M}$ ). Область облучения определяется по интенсивному свечению флуоресцирующего навигатора нафталимида. Руководитель работы – профессор О.А. Фёдорова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).

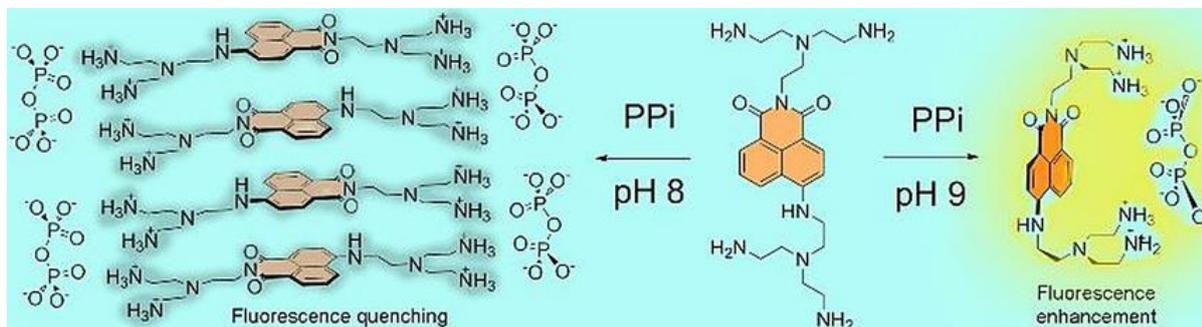


Изображение раковых клеток с адсорбированными конъюгатами, полученное конфокальным флуоресцентным микроскопом.



*Phys. Chem. Chem. Phys.*, 19 (2017) 30195-30206.

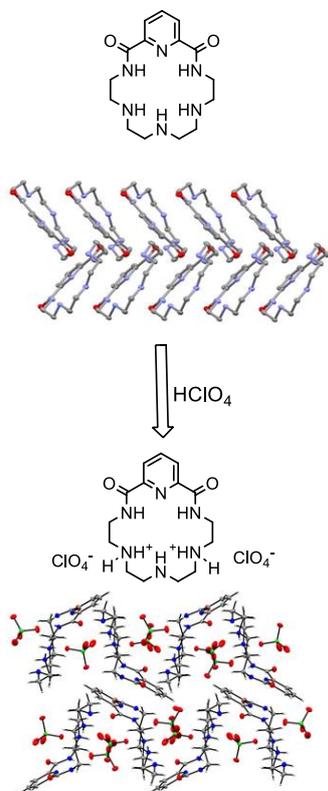
25. В последнее время большое внимание уделяется разработке методов анализа анионов в организме, поскольку анионы играют важную роль в процессах транспорта, распознавания и катализа. Одним из актуальных направлений является разработка флуоресцентных рецепторов на анионы, позволяющая с помощью подходящей аппаратуры флуоресцентного анализа проводить скрининг распространения и мониторинг концентрации анионов в организме. В данной работе были предложены рецепторы на основе 4-полиаминопроизводных нафталимидов, способных к селективному связыванию пирофосфат-анионов. В зависимости от pH среды наблюдается различные типы связывания аниона. Координация аниона приводит в зависимости от типа структур к разгоранию или тушению флуоресценции. В литературе имеются единичные примеры флуоресцентных рецепторов на анионные частицы. Руководитель работы – профессор О.А. Фёдорова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Chem. Eur. J.*, 23 (2017) 9657–9665.

26. Противоопухолевая терапия – крайне актуальная область науки и практики, связанная с разработкой новых подходов и методов, обладающих большей селективностью, активностью при минимальных побочных эффектах и вреде для организма в целом. Одним из методов терапии рака является радиотерапия. Среди актуальных проблем в этой области рассматриваются проблемы создания новых препаратов, в которых связывание радионуклидов происходит с высокими константами, комплексы образуются достаточно быстро и обладают высокой устойчивостью в организме. В настоящей работе предложены новые пиридин-содержащие комплексоны для катионов металла. Наиболее высокие константы

наблюдаются для катионов висмута и меди, имеющих значение для создания радиофармпрепаратов. Руководитель работы – профессор О.А. Фёдорова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



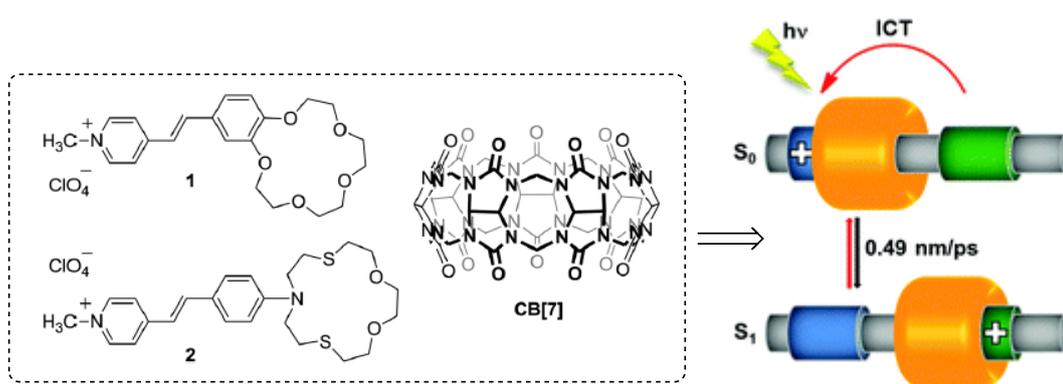
Константы устойчивости комплексов лигандов с катионами металлов

Катион	log K				
Ni <sup>2+</sup>	5.5	6.0	9.5	14.3	6.5
Cu <sup>2+</sup>	8.8	10.8	11.2	15.8	8.9
Zn <sup>2+</sup>	3.9	4.1	11.5	12.6	-
Cd <sup>2+</sup>	3.6	4.2	7.3	11.7	-
Pb <sup>2+</sup>	-	4.9	8.7	14.1	4.9
Y <sup>3+</sup>	-	-	7.0	6.9	-
Eu <sup>3+</sup>	-	-	7.1	8.2	-
Ac <sup>3+</sup>	-	-	6.6	7.4	-
Bi <sup>3+</sup>	12.5	14.4	16.4	21.3	15.0

*Polyhedron*. 124 (2017) 229–236.

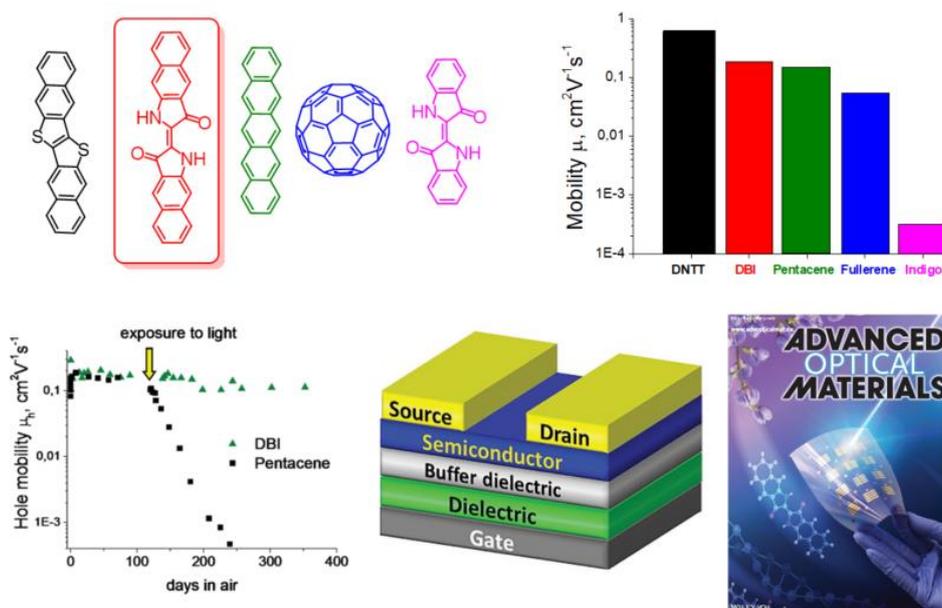
27. Комбинация фотоактивных стирилпиридиневых красителей и кукурбитурила[7] в супрамолекулярном ансамбле позволила создать молекулярную машину, в которой наблюдается фотоиндуцированное перемещение стироловой молекулы в полости кукурбитурила. Движущей силой передвижения является перемещение заряда с фрагмента пиридина на фенильный фрагмент в возбужденном состоянии при облучении светом красителя. Стационарные и время-разрешенные флуоресцентные исследования совместно с DFT кваново-химическими расчетами однозначно доказывают изменение расположения молекулы кукурбитурила с пиридинового на фенильный фрагмент. Наблюдаемый процесс протекает в пикосекундном диапазоне и его скорость зависит от силы донорного заместителя в фенильном ядре красителя. Руководитель работы – профессор

О.А. Фёдорова (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН).



*Phys. Chem. Chem. Phys.*, 19 (2017) 25834–25839.

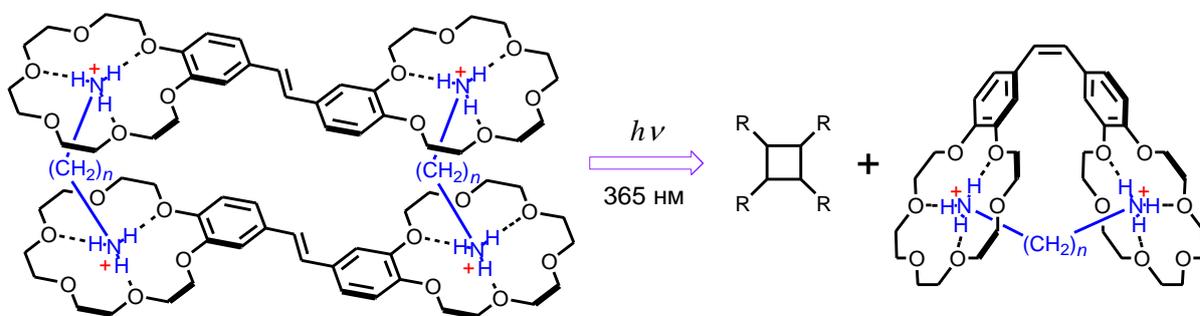
28. Разработан новый функциональный материал - дибензоиндиго, демонстрирующий высокие подвижности носителей зарядов, сопоставимые с характеристиками лучших органических полупроводниковых материалов, известных на сегодняшний день. Транзисторы на основе дибензоиндиго стабильно работают на свету и на воздухе без изменения своих характеристик в течение более года. Продемонстрирована высокая биосовместимость дибензоиндиго: клетки фибробластов легкого эмбриона человека растут и развиваются в контакте с этим материалом даже лучше, чем в биологических планшетах. Обнаружены выраженные цитопротекторная и антиапоптотическая активности дибензоиндиго.



*Adv. Opt. Mater.* 5 (2017) 1601033

Полученные результаты открывают широкие возможности для дальнейшей разработки биосовместимых функциональных наноматериалов для нового поколения молекулярной биоэлектроники. Руководитель работы – к.х.н. П.А. Трошин; исп. Л. И. Лешанская, И. В. Климович, Д. Д. Дашицыренова Л. А. Фролова, С. В. Костюк, К.А. Лысенко (Институт проблем химической физики РАН).

29. Обнаружено образование бис(18-краун-6)стильбеном с ионами алкандиаммония  $\text{H}_3\text{N}^+(\text{CH}_2)_n\text{NH}_3^+$  необычных биспсевдосэндвичевых комплексов состава 2:2, что инициирует стереоселективную реакцию [2+2]-фотоциклоприсоединения (ФЦП), дающую преимущественно *rcitt*-изомер тетракис(бензо-18-краун-6)циклобутана. Количественное исследование фотохимических свойств этих комплексов показало, что с уменьшением длины полиметиленовой цепи в ионе алкандиаммония квантовый выход ФЦП значительно возрастает, а квантовый выход конкурирующей *E-Z*-фотоизомеризации снижается. Установлено, что (*Z*)-бис(18-краун-6)стильбен способен связывать ионы  $\text{H}_3\text{N}^+(\text{CH}_2)_n\text{NH}_3^+$  с образованием бис(катион-“накрытых”) комплексов состава 1:1 благодаря сближенности двух краун-эфирных фрагментов. Необычные спектральные свойства этих комплексов объясняются большими углами вокруг одинарных связей этилен-бензокраун. Руководитель работы - чл.-корр. РАН С. П. Громов; отв. исп. – д.х.н. Е. Н. Ушаков и к.х.н. А. И. Ведерников; исп. к.х.н. Т. П. Мартьянов (Центр фотохимии РАН ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН)

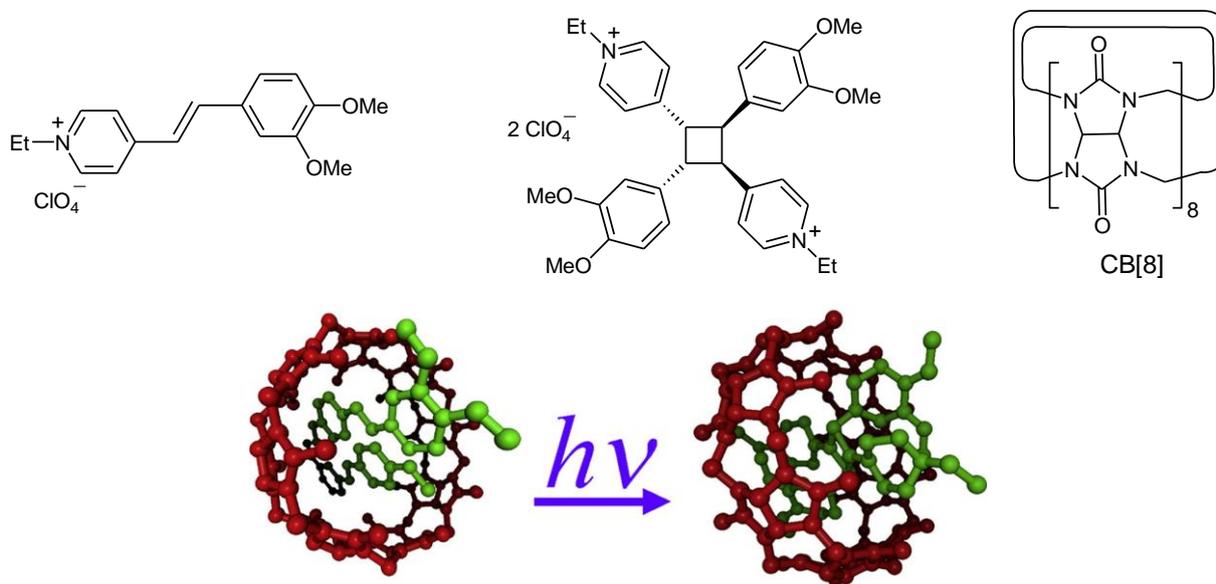


$\text{R} + \text{R} = \text{два бензо-18-краун-6-эфирных остатка} + \text{H}_3\text{N}(\text{CH}_2)_n\text{NH}_3^+$

$\Phi_{\text{ФЦП}}$  варьирует от 0.02 ( $n = 6$ ) до 0.27 ( $n = 2$ );  $\Phi_{E-Z}$  изменяется от 0.12 ( $n = 6$ ) до 0.06 ( $n = 2$ )

*J. Photochem. Photobiol. A.* 340 (2017) 80-87.

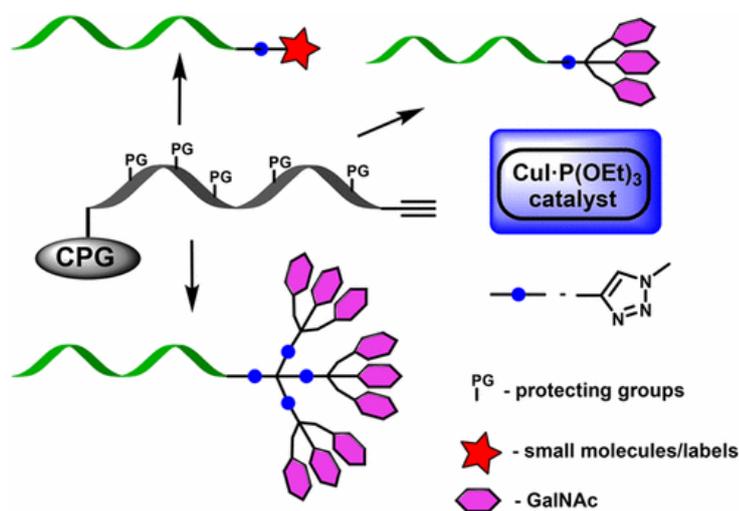
30. Механизм функционирования супрамолекулярного ассемблера в основе которого лежит реакция [2+2]-фотоциклоприсоединения (ФЦП) стирилового красителя в составе комплекса включения стехиометрии 1 : 2 с кукурбит[8]урилом (CB[8]) с образованием циклобутана был изучен методом фемтосекундной апконверсии. Времена жизни флуоресценции, которые составляют для красителя 14.5 пс и для его комплекса 3.8 пс были получены из анализа кинетики затухания флуоресценции. Расчеты показали, что невозбужденные пары молекул красителя внутри полости CB[8] не соответствуют топохимическим требованиям для реакции ФЦП. Поэтому необходимо поступательное механическое смещение молекул красителя навстречу друг другу для создания предорганизованной к реакции ФЦП структуры. Экспериментально было найдено, что время предорганизации составляет около 4 пс. Руководители работы - акад. РАН М. В. Алфимов и чл.-корр. РАН С.П. Громов; отв. исп. – к.ф.-м.н. Н.Х. Петров; исп. - Д.А. Иванов и к.х.н. Н.А. Лобова (Центр фотохимии РАН ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН).



*Chem. Phys. Lett.*, 673 (2017) 99-102.

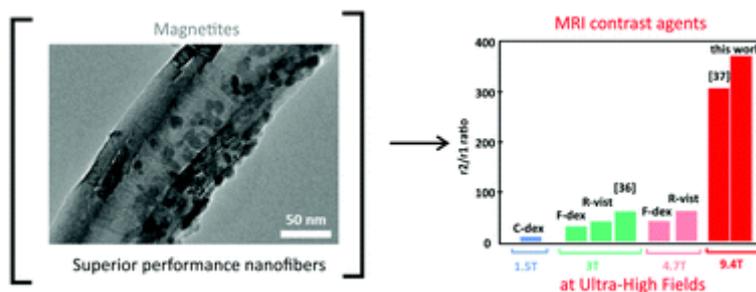
31. Разработан новый метод конъюгации олигонуклеотидов с различными алкилазидами, такими как флуоресцентные красители, биотин, холестерин, N-ацетилгалактозамин (GalNAc) и др. с использованием медь-

катализируемого азид-алкинового циклоприсоединения на твердой фазе с  $\text{CuI}\cdot\text{P}(\text{OEt})_3$  в качестве катализатора. Руководитель работы – профессор А.Г. Мажуга (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).



*Bioconj. Chem.*,  
 28 (2017) 2599–2607.

32. Разработана новая высокоэффективная одноступенчатая методика синтеза магнитно-функциональных углеродных нановолокон, в качестве «отрицательного» контрастного агента МРТ с превосходной поперечной релаксацией ( $r_2$ ) ( $268 \pm 13$ )  $\text{mM s}^{-1}$ , превосходящей текущие коммерческие материалы и новейшие магнитные наноразмерные платформы для контрастной МРТ. Руководитель работы – профессор А.Г. Мажуга (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

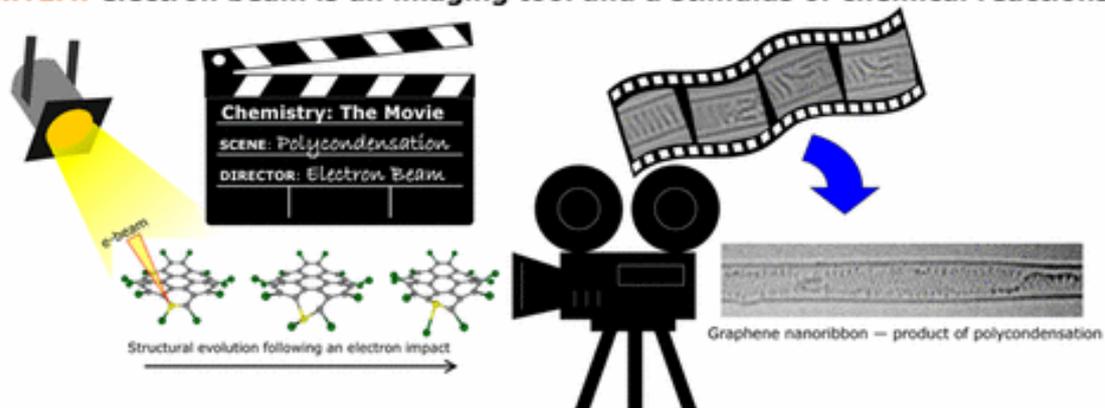


*J. Mater. Chem. C*, 5 (2017) 2167-2174.

33. Разработан подход, названный chemTEM, для исследования химических превращений на мономолекулярном уровне электронным пучком просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ), используемым и как настраиваемый источник энергии, и как зонд. Метод позволяет изучать мономолекулярные превращения на уровне одной молекулы в реальном времени. Руководители работы – профессор РАН В.Г. Ненайденко и

профессор А.Г. Мажуга (МГУ имени М.В. Ломоносова, Химический факультет).

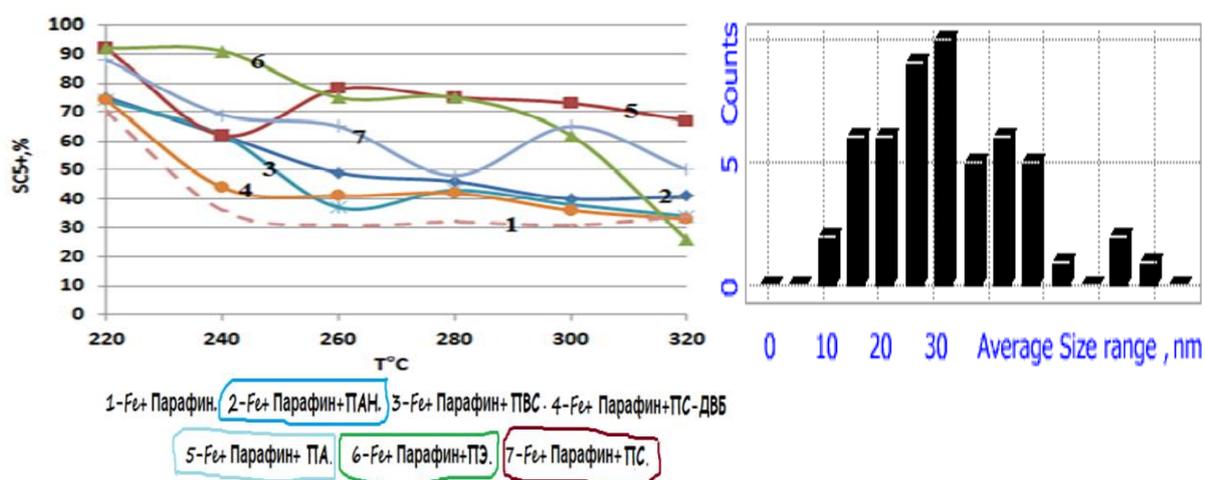
**ChemTEM:** electron beam is an imaging tool and a stimulus of chemical reactions



*ACS Nano*, 11 (2017) 2509-2520.

## Достижения в области прикладных исследований

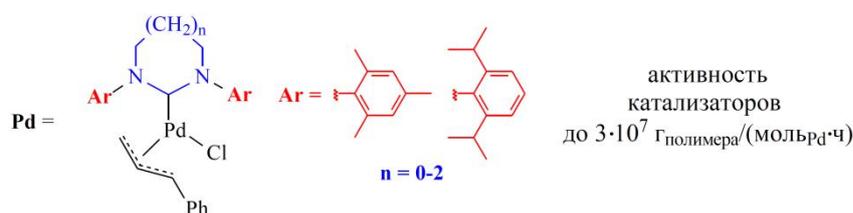
1. Предложен новый подход к созданию катализаторов процесса Фишера-Тропша в трехфазной системе, включающий синтез железосодержащих суспензий с добавками полимеров различной природы. Установлено, что введение полимеров в состав дисперсионной среды приводит к значительному уменьшению размера частиц активного компонента суспензий до 40-120 нм, обеспечивает их стабилизацию, существенно увеличивает выход углеводородов  $C_{5+}$  и позволяет регулировать селективность процесса. Показано, что наногетерогенные каталитические системы, синтезированные с использованием полиакрилонитрила, обеспечивают двукратное повышение отношения олефин/парафин в продуктах реакции с малой длиной углеводородной цепи ( $C_5-C_6$ ). Системы, полученные при применении добавок ПВС и ПС-ДВБ, демонстрируют двукратное увеличение селективности по жидким углеводородам  $C_{5+}$ . Руководитель работы - академик С.Н. Хаджиев; отв. исп. – к.х.н. М.В. Куликова, исп. – к.х.н. М.В. Чудакова, к.х.н. О.С. Дементьева. (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН).



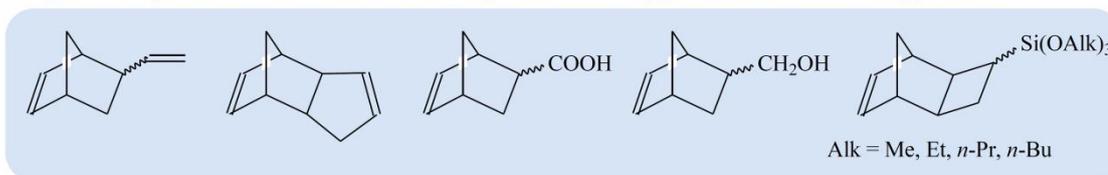
*Наногетерогенный катализ, 2 (2017) 150-157.*

2. Разработаны эффективные каталитические системы на основе N-гетероциклических карбеновых Pd-комплексов для селективной аддитивной полимеризации норборненовых мономеров с различными функциональными группами. Их использование обеспечивает проведение

полимеризации с участием только эндоциклической двойной связи и сохранением функциональных групп. Полимеризация протекает при беспрецедентно высоких мольных соотношениях мономер/катализатор (до  $3 \cdot 10^6/1$ ), что позволяет получать полимеры с низким содержанием металла в полимере, высокими выходами и заданными молекулярными массами. Руководители работы – д.х.н. М.В. Бермешев и профессор РАН М.С. Нечаев; отв. исп. – Д.А. Алентьев, А.Ф. Асаченко, Е.В. Бермешева, А.И. Возняк (Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН).



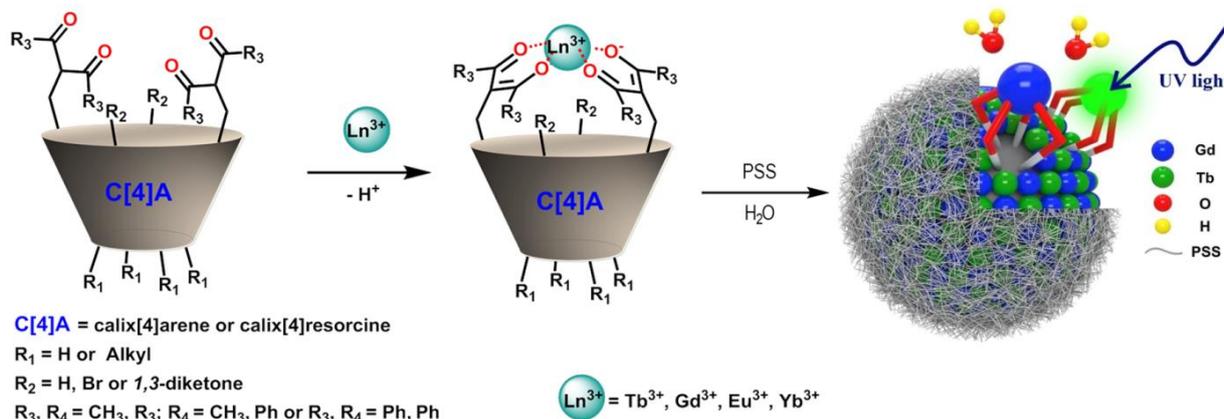
**Катализаторы толерантны по отношению к различным функциональным группам:**



*Mendeleev Commun.*, 2017, 27, 618-620; подана заявка на патент.

3. Впервые на основе бис-хелатных комплексов тербия и гадолиния с новыми ди- и тетра-1,3-дикетонатами каликс[4]аренов синтезированы гидрофильные бифункциональные (люминесцентные и парамагнитные) наночастицы размером 2-5 нм, коллоидно стабилизированные полиэлектролитами. Данные наночастицы характеризуются низкой цитотоксичностью и тромбогенностью, эффективно взаимодействуют с клеточной мембраной, что обуславливает их высокий потенциал в качестве клеточных маркеров в флуоресцентной и конфокальной микроскопии и

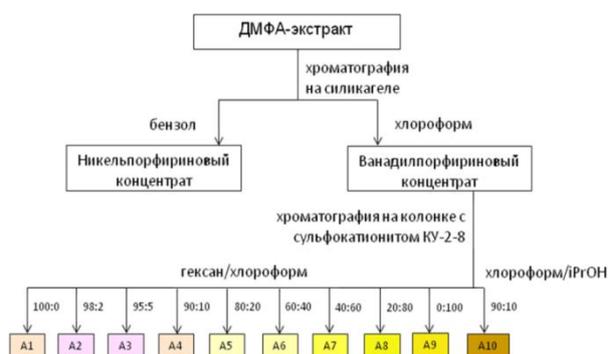
контрастных агентов в ядерной магнитной томографии. Руководитель работ - д.х.н. А.Р. Мустафина; исп. – к.х.н. С.Н. Подъячев, к.х.н. Р.Р. Заиров, к.х.н. С.Н. Судакова, Г.Ш. Гимазетдинова, к.х.н. В.В. Сякаев, к.х.н. Н.А. Шамсутдинова, к.х.н. И.Р. Низамеев, д.х.н. А.Т. Губайдуллин (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



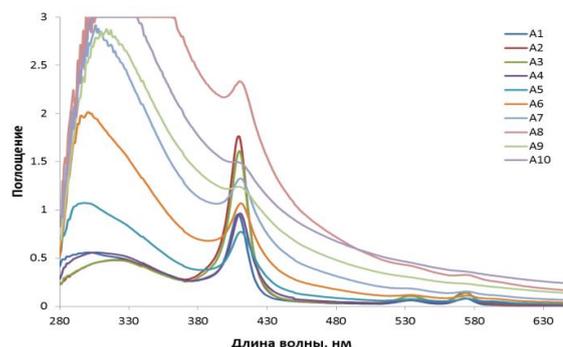
*Sci. Rep.*, 7 (2017) 40486; *New. J. Chem.*, 41 (2017) 1526-1537; *Tetrahedron*, 73 (2017) 5397-5407; *ЖОХ*, 87 (2017) 1958–1968.

4. Впервые доказана возможность получения концентратов ванадилпорфиринов высокой спектральной чистоты из асфальтенов и смол тяжелых нефтей. Разработан оригинальный метод с использованием последовательной хроматографии на силикагеле и градиентного элюирования через модифицированный сульфокатионит, позволяющий извлечь до 70% ванадилпорфиринов. Для тяжелых нефтей различных месторождений в полученных концентратах ванадилпорфиринов идентифицированы гомологи  $C_{28}$  –  $C_{42}$  двух типов – этио- и дезоксофиллоэритроэтиопорфирина. На рисунке ниже показаны: а - схема получения первичного ванадилпорфиринового концентрата на колонке с силикагелем и его последующее фракционирование методом градиентного элюирования через сульфокатионит; б - Количественное распределение ванадилпорфиринов по фракциям А1-А10. Руководитель работы - к.х.н. М.Р. Якубов; отв. исп. – к.х.н. Д.Н. Борисов; исп. - К.О. Синяшин, Г.Р. Абилова, к.х.н. Э.Г. Тазеева, к.х.н. С.Г. Якубова, Н.А. Миронов, к.х.н. Ю.Ю. Борисова,

к.х.н. Д.В. Милордов., к.х.н. П.И. Грязнов (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН)



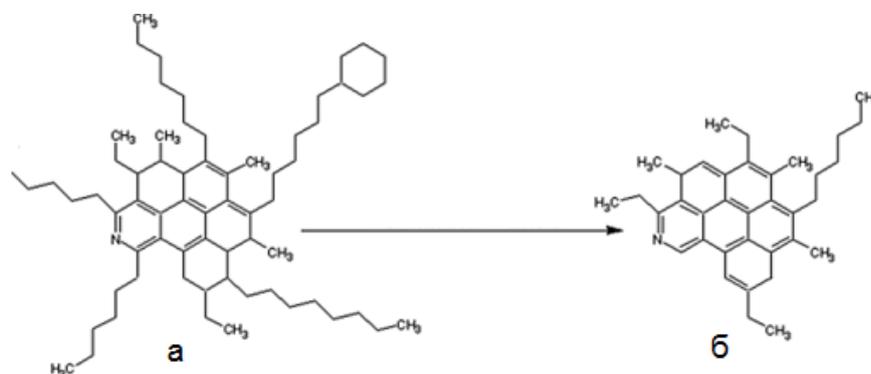
а



б

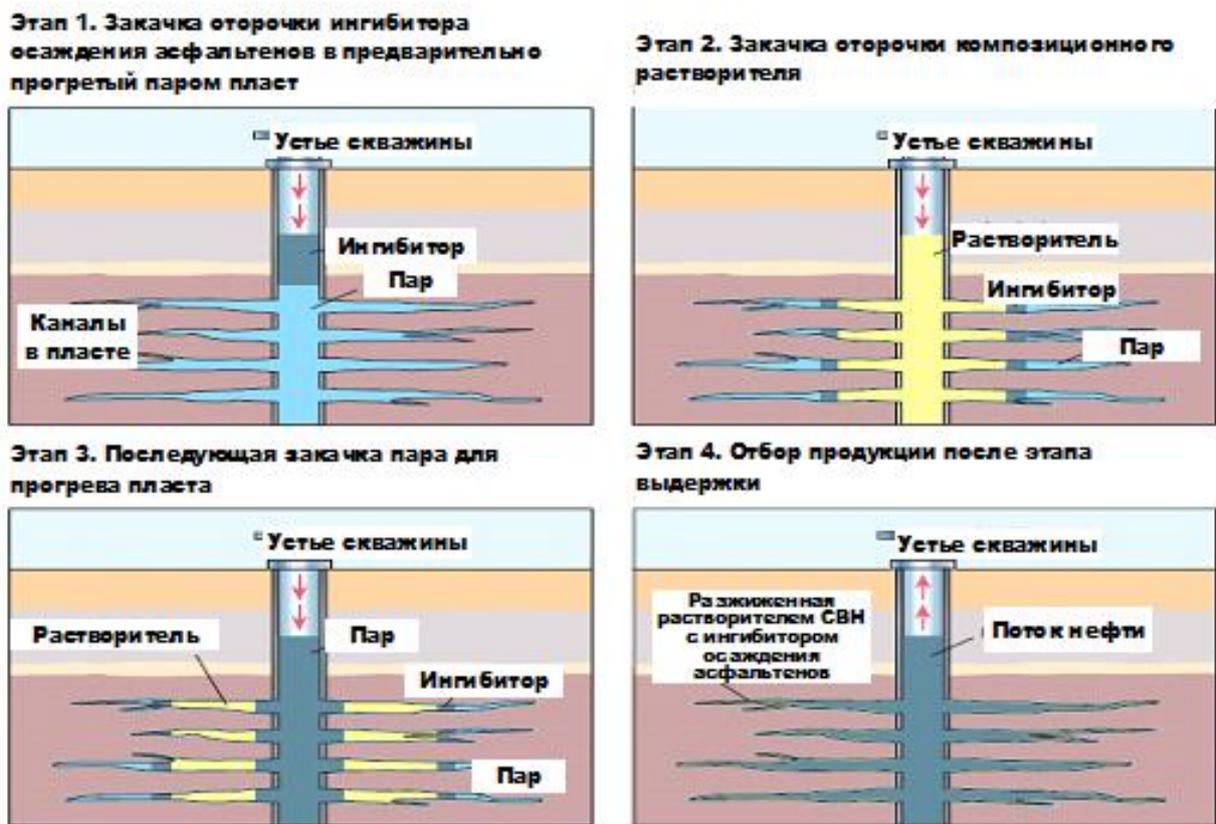
*Petrol. Chem.* 57 (2017) 849–854; *Изв. АН. Сер. хим.*, (2017) 1450-1455; *Нефтегазохимия*, (2017) 13-16; *Petrol. Sci. Technol.*, (2017) DOI: 10.1080/10916466.2017.1344708.

5. Впервые экспериментально зафиксировано преобразование нефтяных асфальтенов до карбено-карбоидных соединений (ККС) под действием природных и техногенных факторов. ККС остаются в нефтяной системе или выпадают из нее в зависимости от PVT условий. Их распределение в нефтяной залежи использовано в качестве индикатора процессов формирования залежи или степени техногенного воздействия на нефтяной пласт. На рисунке ниже показаны усредненные структуры молекул асфальтенов (а) и ККС (б). Руководитель работы – д.х.н. Ю.М. Ганеева; отв. исп. - д.х.н. Г.П. Каюкова; исп. – профессор Т.Н. Юсупова, д.х.н. А.Т. Губайдуллин, к.х.н. Л.Е. Фосс, к.х.н. Е.Е. Барская, д.х.н. Г.В. Романов (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН).



*Petrol. Chem.*, 57 (2017) 198-202, 657–665; *Chem. Technol. Fuels Oils.*, 53 (2017) 173-180; *J. Therm. Anal. Calorim.*, 7 (2017) 10.1007/s10973-017-6712-7

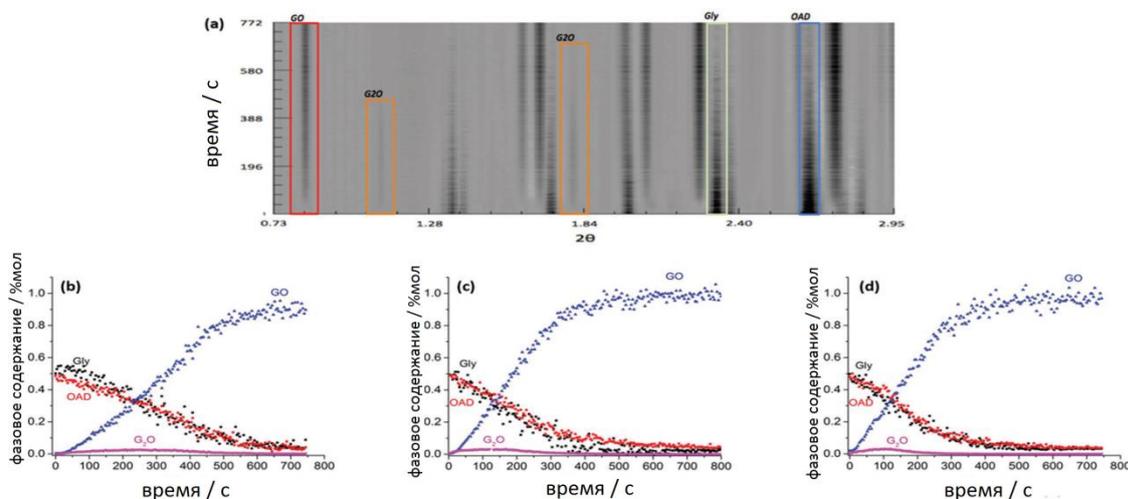
6. Разработан новый состав композиционного растворителя на основе легких алканов  $C_3-C_6$  с добавками ингибиторов осаждения асфальтенов, в качестве которых могут использоваться ароматические  $C_7-C_8$  углеводороды, синтетические (алкилфенолы) или природные (нефтяные смолы) компоненты, для интенсификации добычи сверхвязких нефтей. Состав растворителя может быть оптимизирован в зависимости от характеристик добываемой нефти и основных параметров технологии его применения. Руководитель работы – к.х.н. М.Р. Якубов; исп. - к.х.н. Д.Н. Борисов, К.О. Синяшин., к.х.н. С.Г. Якубова, к.х.н. Д.В. Милордов (Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН), совместно с ПАО «Татнефть» (М.И. Амерханов, Р.С. Хисамов).



*J. Pet. Sci. Eng.*, 154 (2017) 457-461; *Oil Ind.*, (2017) 78-81.

7. Разработана методика анализа результатов исследования реакций механохимического органического синтеза методом порошковой рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения *in situ* в режиме реального времени. Предложен новый подход к обработке

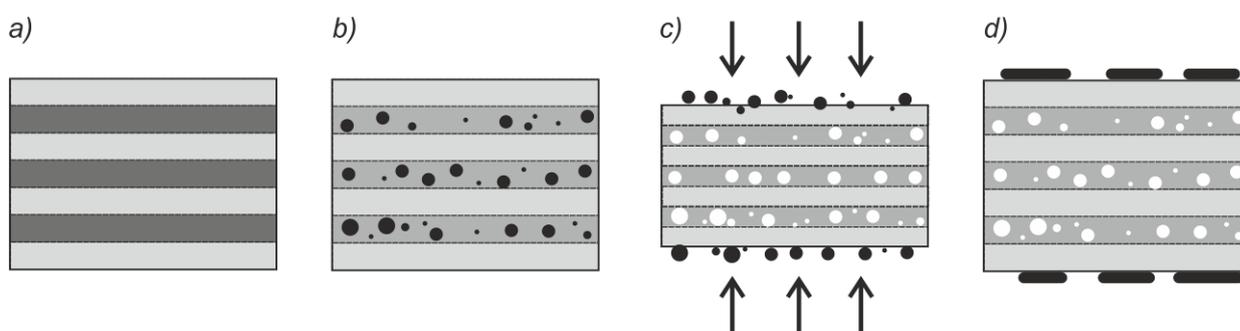
данных, учитывающий постоянное изменения части образца, доступной для исследования. Показаны возможности нового метода для корректного анализа кинетических данных процессов, наблюдаемых при механической обработке в механореакторе без отбора проб, непосредственно в ходе воздействия. На рисунке ниже показаны данные порошковой дифракции образца, полученного при совместной механической обработке смеси двух органических соединений, приводящей к образованию нескольких продуктов: а) двумерная проекция дифракционных данных после измельчения при 25 Гц; распределение относительного фазового содержания компонентов для частоты воздействия б) 25 Гц, в) 27.5 Гц, г) 30 Гц. Руководитель работ - профессор Е.В. Болдырева; исп. - к.х.н. И.А. Туманов (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН), совместно с Европейским центром синхротронных исследований в Гренобле.



*Adv. Sci.* 4(2017) 1700132

8. Предложен механизм изменения ультраструктуры растительных клеточных стенок под воздействием термомеханической обработки. В результате воздействия повышенной температуры лигнин плавится и образует скопления, локализующиеся в толще клеточных стенок. Механическое воздействие, прикладываемое к материалу, удаляет расплавленный лигнин из клеточных стенок с нарушенной структурой с образованием пор диаметром 10-20 нм. На рисунке ниже показана схема, иллюстрирующая процесс термомеханического выделения лигнина: а –

структура исходной клеточной стенки (более тёмные участки соответствуют лигнифицированным слоям); b – структура клеточной стенки при нагреве выше температуры расстекловывания лигнина; c – покидание лигнином клеточной стенки при механическом воздействии, d – структура клеточной стенки после снятия механического напряжения. Руководитель работ – д.х.н. О.И. Ломовский; исп. - к.х.н. А.Л. Бычков, д.б.н. Е.И. Рябчикова, асп. Е.М. Подгорбунских (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН), совместно с Институтом химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН.



*Cellulose*, (2017), DOI 10.1007/s10570-017-1536-y.

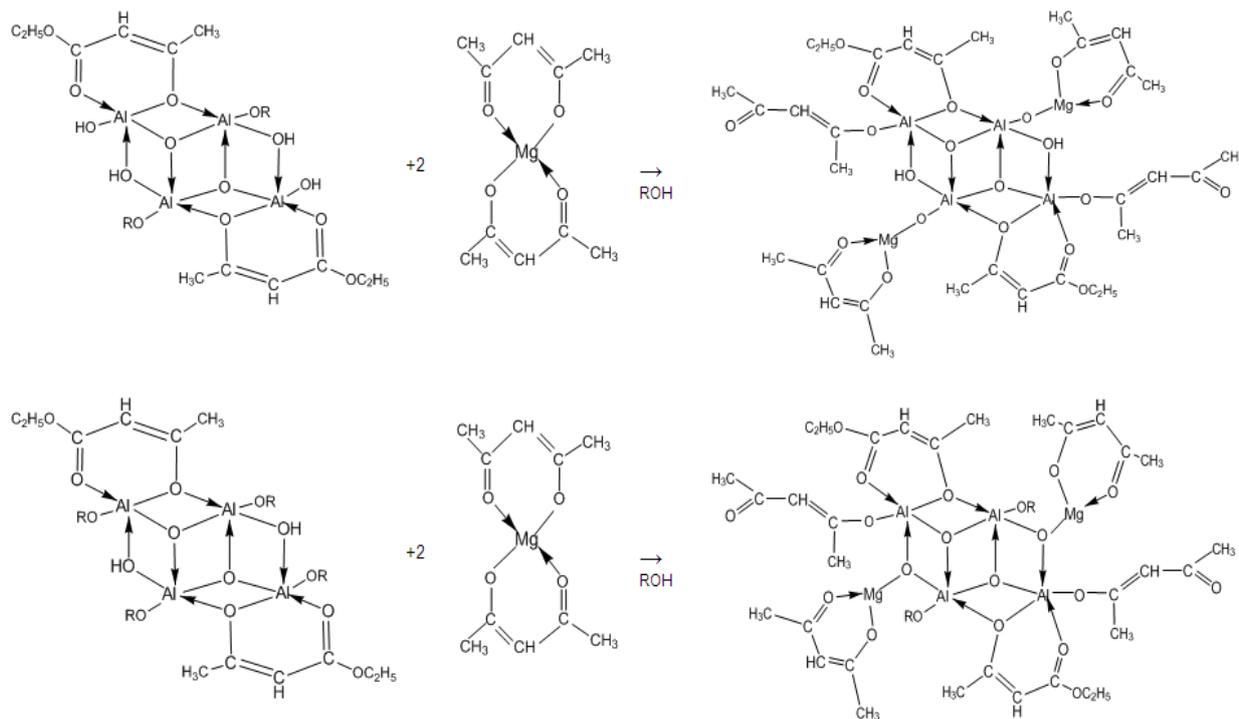
9. Разработана технология получения висмута трикалия дицитрата, основанная на очистке висмута от примесных металлов в результате его осаждения из азотнокислых растворов в виде оксогидроксонитрата, перевода его в цитрат обработкой твердого оксогидроксонитрата висмута водным раствором лимонной кислоты, растворении цитрата висмута в водном растворе гидроксида калия в присутствии лимонной кислоты и аммиака с последующей кристаллизацией полученного раствора. Висмут трикалия дицитрат включен Распоряжением Правительства РФ № 2323-р от 23.10.2017 в «Перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов для медицинского применения на 2018 год». Технология предназначена для промышленного выпуска отечественного противоязвенного препарата «Витридиол» типа «Де-Нол» (Нидерланды). На опытной установке ИХТТМ СО РАН (показана ниже) наработана партия висмута трикалия дицитрата в количестве 200 кг, которая передана в ООО

«Велфарм». Руководитель работ – д.х.н. Ю.М. Юхин; исп.: к.х.н. Е.С. Найденко (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН).



*J. Inorg. Biochem.*, 166 (2017) 94-99.

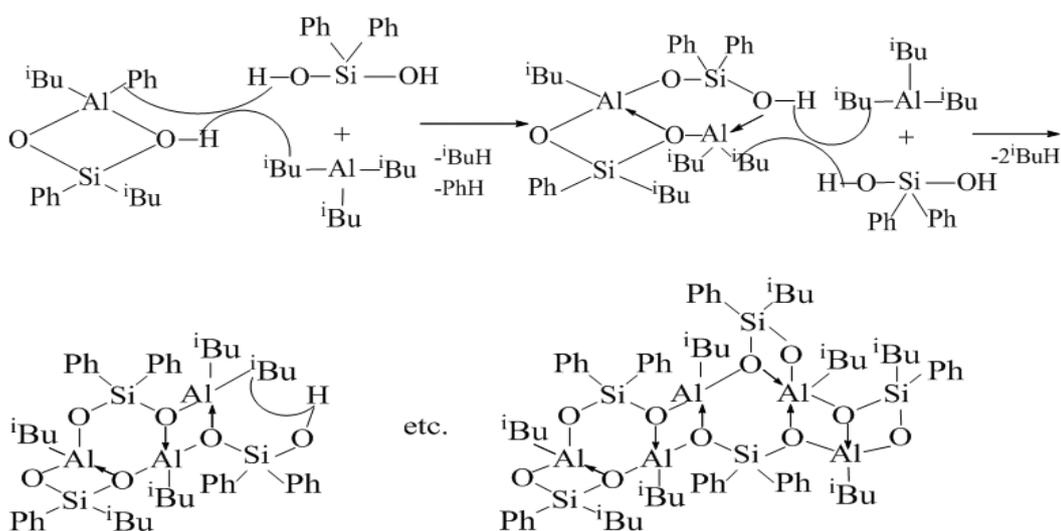
10. Впервые соконденсацией хелатированных алкоксигидрокси-алюмоксанов с ацетилацетонатом магния синтезированы гидролитически устойчивые в атмосфере воздуха растворимые в органических растворителях керамообразующие органомагниоксаналюмоксаны. Предложена расчетная модель группового и элементного состава олигомерной молекулы органомагниоксаналюмоксана, которая подтверждается данными ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{27}\text{Al}$ , ИК- спектроскопии, СЭМ, ТГА и элементного анализа.



*Polyhedron*, 135 (2017) 144-152

Пиролиз органомагнийоксаноалюмоксанов в зависимости от мольного отношения Al:Mg, приводит к образованию  $MgAl_2O_4$ ,  $MgAl_2O_4$  и  $MgO$ , или  $MgAl_2O_4$  и  $\alpha-Al_2O_3$ . Подобные олигомеры могут быть использованы для создания нового поколения высокочистой, термостойкой, оптически прозрачной, коррозионно- и радиационно-стойкой бинарной магний-алюминиевой керамики. Руководитель работы – чл.-корр. РАН П.А. Стороженко; отв. исп. – д.х.н. Г.И. Щербакова (ГНЦ РФ АО «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений»).

11. При изучении продуктов реакций дифенилсиландиола с триизобутилалюминием и тетраизобутилалюмоксаном найдено, что образование (при эквимольном соотношении  $Ph_2Si(OH)_2$  и  $Al(iBu)_3$ ) олигомерной силоксиалюмоксановой структуры с чередующимися четырех- и шестичленными циклами, а также миграция изобутильных и фенильных групп между алюминием и кремнием за счет образования внутримолекулярного четырехчленного циклического комплекса  $[Ph_2(OH)SiO]Al(iBu)_2 \rightarrow [(i-Bu)Ph(OH)SiO]Al(iBu)Ph$ .

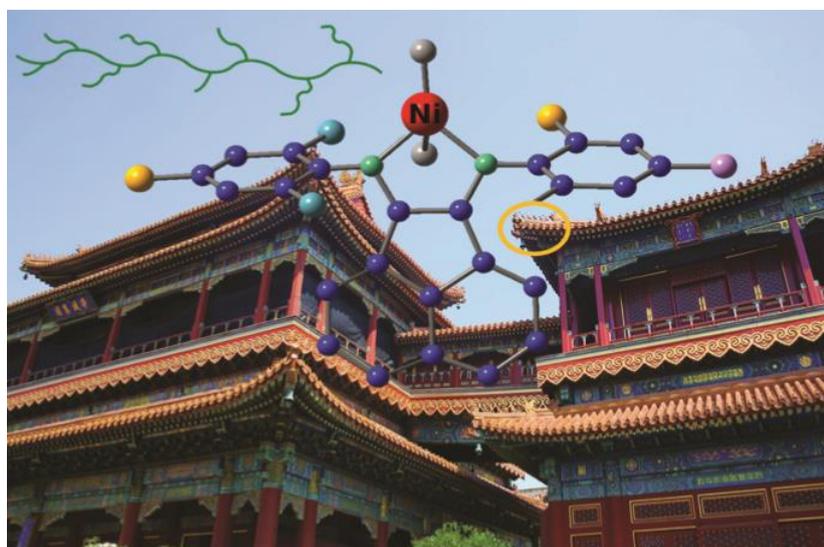


*Molecules*, 22 (2017) 1776

Взаимодействие  $Ph_2Si(OH)_2$  с  $Al(iBu)_3$  не только начинается с образования внутримолекулярного комплекса, но и обрыв цепи осуществляется за счет него же, что в случае реакции дифенилсиландиола с

тетраизобутилалюмоксаном приводит к невозможности получения высокополимерных алюмоксансилоксановых соединений. Руководитель работы – чл.-корр. РАН П.А. Стороженко; отв. исп. – д.х.н. Г.И. Щербакова (ГНЦ РФ АО «Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений»).

12. Получено новое семейство катализаторов полимеризации этилена на основе комплексов  $\text{NiBr}_2$  с несимметричными 1-(2,6-добензгидрил-4- $\text{R}^1$ -фенилимино)-2-(2- $\text{R}^2$ -4- $\text{R}^3$ -6-циклоалкилфенилимино)аценафтеновыми лигандами, при участии которых образование высокомолекулярного разветвленного полиэтилена осуществляется без использования сомономеров. Варьированием ансамбля заместителей  $\text{R}^1$ - $\text{R}^3$ , размера циклоалкильного заместителя и температуры полимеризации удается управлять механическими и эластомерными характеристиками полиэтилена. Руководитель работ – д.х.н. И.И. Олейник; исп. – И.В. Олейник (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН) совместно с Институтом химии КНР.

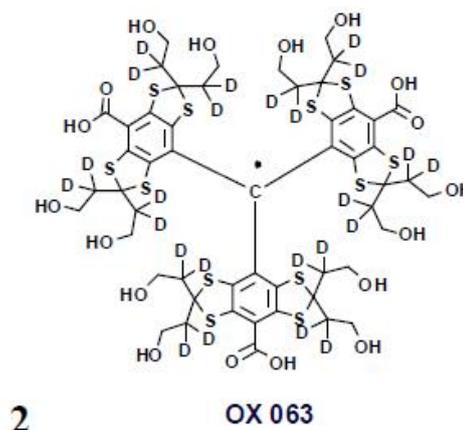
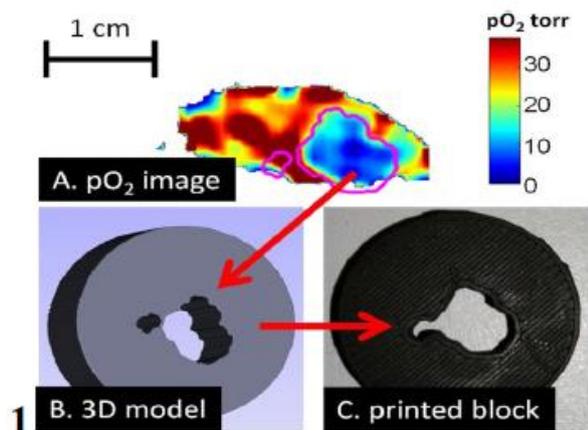


*Dalton Trans.*

46 (2017), 15684-15694

13. На выборке экспериментальных животных получено экспериментальное подтверждение гипотезы о том, что эффективность радиотерапевтического воздействия на раковую опухоль теплокровных может быть значительно повышена при использовании прицельного воздействия радиации на заранее выявленную область деоксигенации

(область с пониженным содержанием кислорода в центре опухоли). Для определения границ участка деоксигенации использовали ЭПР-оксиметрию высокого разрешения (пространственное разрешение 1 мм, разрешение по парциальному давлению кислорода 1 торр) с использованием тритильного радикала ОХ 063 в качестве спинового зонда. На рисунке 1 ниже показаны: (А) - выявление области локализации опухоли методами ЭПР-оксиметрии; (В) - создание трехмерной цифровой модели опухоли; (С) - изготовление фильтра, ограничивающего область радиационного воздействия. На рисунке 2 показана структура радикала ОХ 063. Отв. исп. – к.х.н. В.М. Тормышев; исп. – О.Ю. Рогожникова, Д.В. Трухин, Т.И. Троицкая (Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН), совместно со специалистами Университета Чикаго (США).

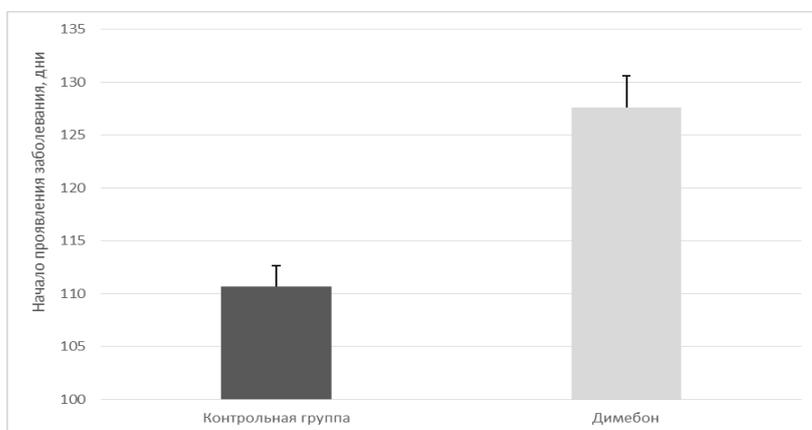


*Cell Biochem. Biophys.* 75 (2017) 295-298

14. Синтезирована серия новых акридиновых производных для поиска соединений, которые могут быть более безопасными и эффективными, чем *Такрин*, используемый в терапии болезни Альцгеймера. Исследована способность полученных веществ ингибировать активность ацетилхолинэстеразы, бутирилхолинэстеразы и карбоксилестеразы, а также изучена радикал-связывающая активность. Полученные результаты позволяют рассматривать несколько соединений, превосходящих по своей активности *Такрин*, в качестве перспективных структур для создания безопасных полифункциональных препаратов терапии нейродегенеративных заболеваний (результаты опубликованы в *Bioorg. & Med. Chem.*, 25 (2017)

5981–5994). Руководитель работы – академик О.Н. Чупахин; отв. исп. – А.В. Щепочкин (Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского) совместно с Институтом физиологически активных веществ РАН.

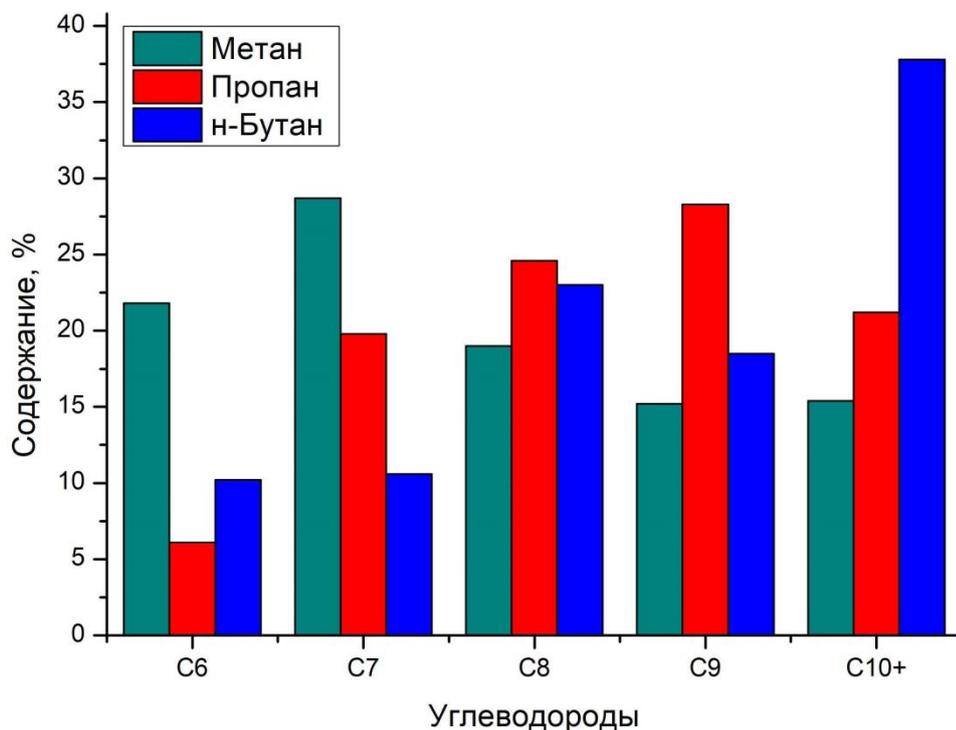
15. Изучение модулирующего эффекта препарата димебон на FUS-протеинопатию у трансгенных мышей линии FUS1—513 показало, что применение димебона привело к отсрочке дебюта манифестации клинических симптомов нейродегенеративного процесса: в экспериментальной группе —  $127,6 \pm 4,6$  дня, в контрольной —  $110,6 \pm 4,2$  дня (см. рисунок ниже). Масса тела животных между группами не различалась. Таким образом, димебон позволяет увеличить продолжительность пресимптоматической стадии и отсроченной манифестации клинических симптомов. Руководитель работы – чл-корр. РАН С.О. Бачурин; отв. исп. – д.м.н. Н.Н. Нинкина; исп. – к.б.н. А.В. Мальцев, к.б.н. А.А. Устюгов, к.б.н. Р.К. Овчинников, к.б.н. М.М. Чичева (Институт физиологически активных веществ РАН).



*Журнал неврологии  
и психиатрии,  
(2017) 68-71.*

16. Предложен новый подход для проведения плазмохимической неокислительной конверсии низших алканов в барьерном разряде до газообразных и жидких продуктов. Процесс протекает в одну стадию без использования катализаторов при температуре окружающей среды. Суть подхода заключается в ингибировании процесса образования отложений на поверхности электродов реактора добавкой воды в поток углеводородных газов. Основными газообразными продуктами превращения метана являются водород ~60 % и этан ~29 %, для пропана и н-бутана – водород ~21-29 %,

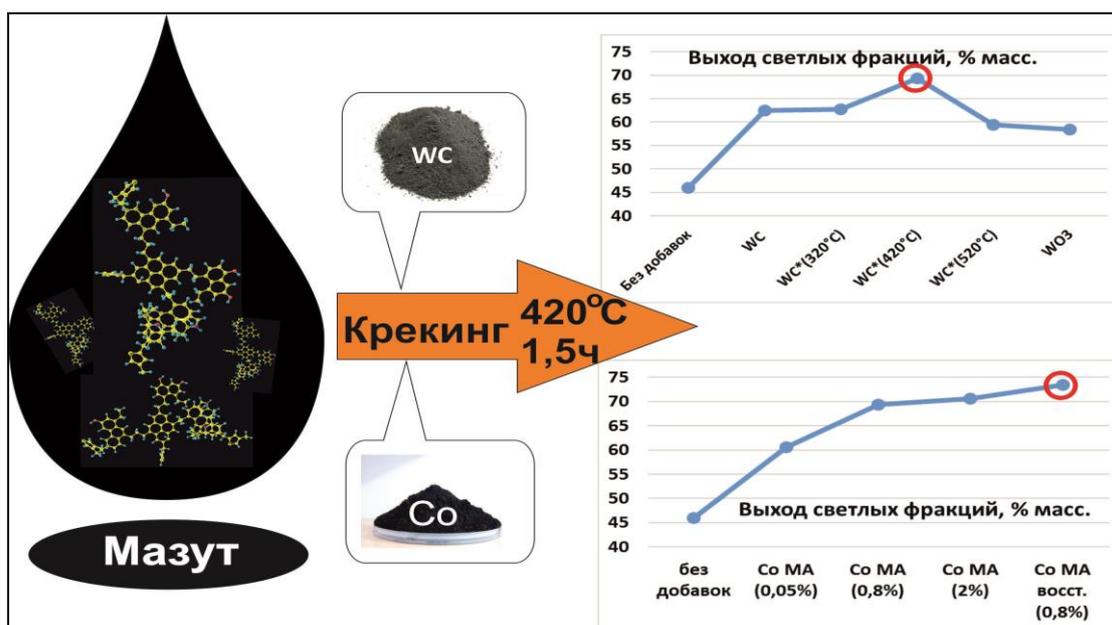
метан ~10-20 %, этилен ~15-18 %. Жидкие продукты реакции содержат алканы C<sub>5</sub>-C<sub>10+</sub> преимущественно изомерного строения (рисунок). Суммарное содержание жидких углеводородов в составе продуктов превращения метана – 13,4 %, пропана – 26 %, н-бутана – 36,6 %. Конверсия метана – 9,5 %, пропана – 10,3 %, н-бутана – 12,8 %, энергозатраты на их превращение – 46; 43,3; 35 эВ·молекулу<sup>-1</sup>, соответственно. Руководитель работы – д.х.н. С.В. Кудряшов; отв. исп. – к.х.н. А.Ю. Рябов; исп. – к.х.н. А.Н. Очердько, инж. В.Ю.Савиных (Институт химии нефти СО РАН).



*J. Phys. D: Appl. Phys.*, 49 (2016) 025205,  
*High Energy Chem.* (2017) 51, 128.

17. На основе коммерческих порошков кобальта и карбида вольфрама (WC) разработаны катализаторы, эффективно работающие в процессе крекинга мазута без добавки водородсодержащего газа. Показано, что использование данных катализаторов позволяет получить на 25-30 % мас. больше светлых фракций (н.к.-350 °С) по сравнению с термическим крекингом (рисунок). Полученные результаты свидетельствуют об ингибирующей способности порошков карбида вольфрама в отношении образования продуктов уплотнения, о химической и структурной устойчивости его активных центров, что очень важно для циклического использования катализаторов при крекинге тяжелого нефтяного сырья. Для

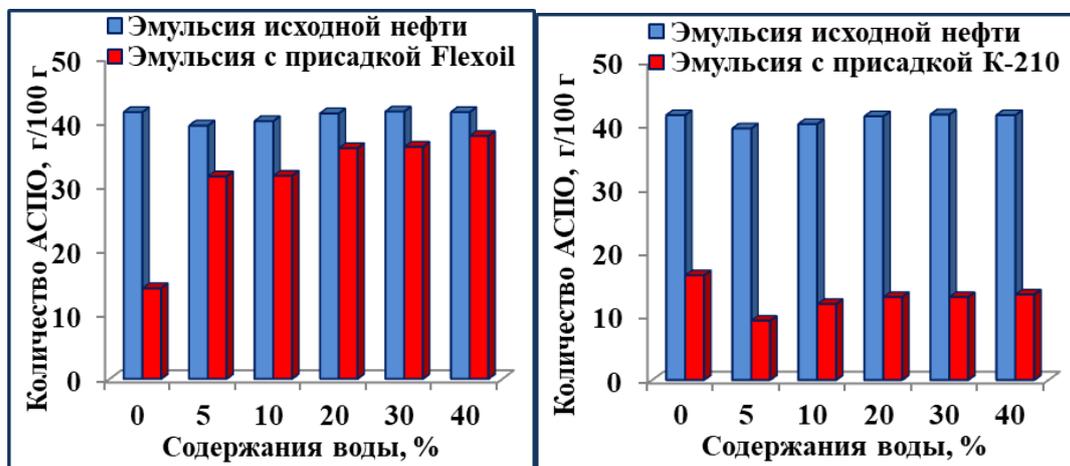
порошков Со установлено проявление бифункциональных свойств – крекирующую функцию выполняет металлический кобальт, а окисленный кобальт замедляет процесс коксообразования. Руководитель работы – д.х.н. А.В. Восмериков; отв. исп. – к.х.н. Т.А. Федущак; исп. к.х.н. А.С. Акимов, М.А. Морозов (Институт химии нефти СО РАН) совместно с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом (к.х.н. С.П. Журавков, Н.Ю. Золотухина).



*Изв. Томск. Политехн. Унив. Инжиниринг георесурсов, 328 (2017) 16–24.*

18. Для снижения количества асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) в скважине, нефтепромысловом оборудовании и трубопроводных коммуникациях создана ингибирующая присадка К-210 комплексного действия на основе модифицированных полиалкилакрилатов. Благодаря амфифильному характеру присадки К-210 степень ингибирования АСПО в водонефтяных эмульсиях достигает 70 - 80 %, что по эффективности превосходит в несколько раз известные ингибиторы. С увеличением обводненности эмульсий до 40 % об. степень ингибирования АСПО промышленно выпускаемыми присадками (Flexoil «Champion Technologies») уменьшается до 8-10 % (см. иллюстрацию ниже). Эффективность присадки К-210 не зависит от содержания воды в эмульсии. Изучено влияние температуры, состава нефти, обводненности эмульсий на формирование

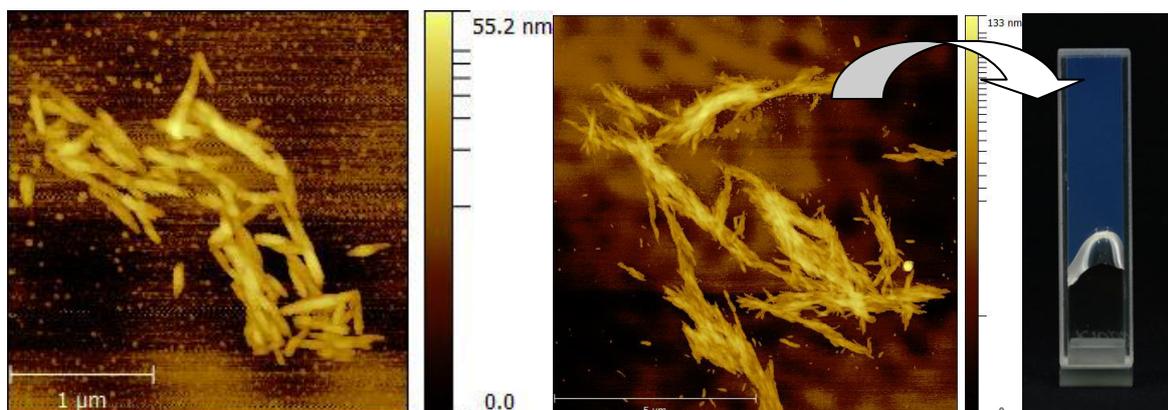
АСПО в присутствии присадки К-210. Руководитель работы – к.т.н., Н.В. Юдина; отв. исп. – к.х.н. И.В. Прозорова; исп. – И.В. Литвинец (Институт химии нефти СО РАН) совместно с Дзержинским политехническим институтом им. Р.Е. Алексеева (профессор О.А.Казанцев).



*Пласт. массы, (2017) 51-55.*

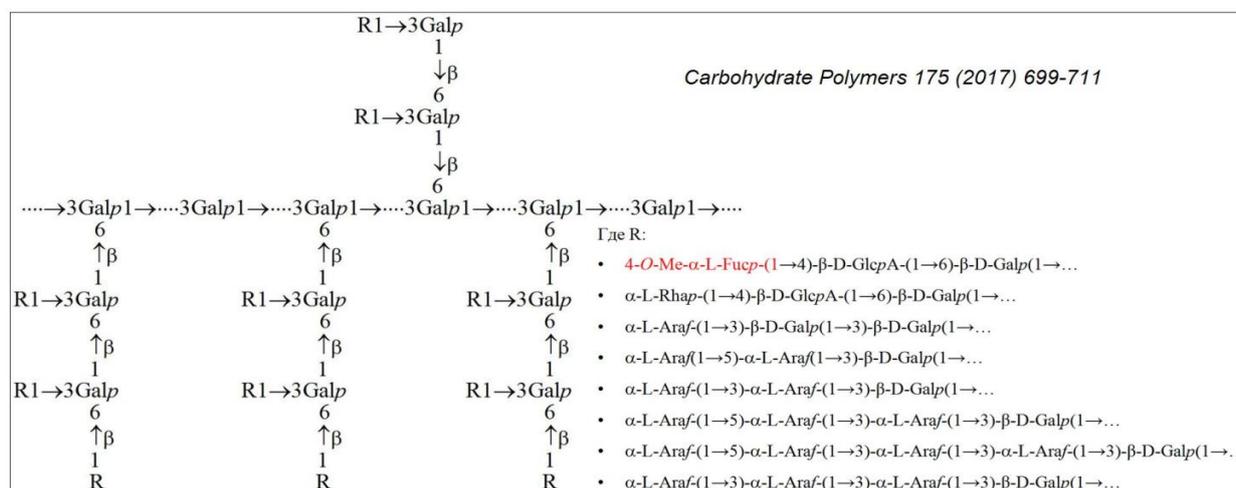
19. Выявлены факторы, влияющие на структурообразование в гидрозолях нанокристаллического хитина в присутствии низкомолекулярных солей и биополимерных электролитов. Показано, что введение электролитов (KCl, NaCl, CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, сульфатированный полиглюкан) приводит к возникновению пространственных структур с переходом от свобододисперсных к связанно-дисперсным (агрегированным) системам, что кардинальным образом изменяет структурно-механические свойства золь. Основываясь на данных ротационной и капиллярной вискозиметрии, а также скоростной седиментации и динамического рассеяния света показано, что смена характера структур и структурообразования в дисперсиях НКХ происходит в интервале концентраций электролита  $C(M_nCl_m)=10\div 30$  mM. Установлено, что данный эффект проявляется при введении на порядок меньших концентраций сульфатированного полисахарида. На микрофотографиях частиц хитина (атомно-силовая микроскопия, см. ниже) показаны: сформировавшиеся агрегаты в присутствии KCl,  $C(KCl) = 20$  mM в чистом растворителе (слева), и образующийся гидрогель (концентрация дисперсной фазы 0.7 %) при той же концентрации соли. Руководитель работ -

к.х.н. Е.В. Удоратина; отв. исп. - к.х.н. М.А. Торлопов, исп. - Ю.В. Мартакова (Институт химии Коми НЦ УрО РАН).

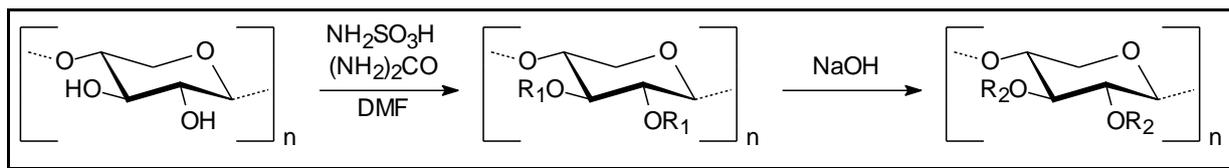


*Carbohydr. Pol.*, 174 (2017) 1164-1171.

20. Исследована структура арабиногалактанов, выделенных водной экстракцией древесной зелени ели (*P. abies*). Их главная цепь построена из остатков 1,3-связанной β-D-галактозы и 3,6-ди-*O*-замещенной β-D-галактозы. Особенностью структуры является присутствие остатков необычного моносахарида 4-*O*-Me-α-L-фукозы, не встречавшегося ранее ни в пектинах, ни в арабиногалактанах, выделенных из других источников. Установлено, что звенья 4-*O*-Me-α-L-фукозы находятся на невосстанавливающих концах боковых цепей и связаны с остатком глюкуроновой кислоты через 1,4-связь. Выявлено наличие в структуре большого количества терминальных остатков α-L-арабинозы, α-L-рамнозы и α-L-фукозы. Руководитель работ - к.х.н. Е.В. Удоратина, отв. исп. - к.х.н. Е.Н. Макарова, исп. - к.х.н. Шахматов Е.Г. (Институт химии Коми НЦ УрО РАН).

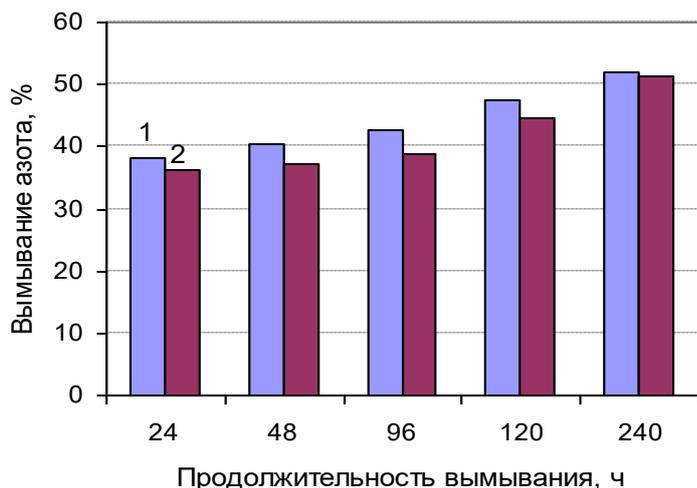


21. Разработан новый экологически безопасный способ сульфатирования ксилана. Метод основан на сульфатировании ксилана сульфаминовой кислотой в N,N-диметилформамиде в присутствии мочевины. По сравнению с известными методиками синтеза предлагаемый способ позволяет использовать менее агрессивный сульфатирующий реагент – сульфаминовую кислоту и заменить токсичные растворители пиридин и уксусный ангидрид на менее токсичный N,N-диметилформамид. Сульфаты ксилана обладают антикоагулянтной активностью и гипополидемическими свойствами и могут применяться для профилактики и лечения атеросклероза. Руководитель работы – д.х.н. Б.Н. Кузнецов; исп. - д.х.н. В.А. Левданский, д.х.н. С.А. Кузнецова, к.х.н. А.В. Левданский (Институт химии и химической технологии, Красноярский НЦ СО РАН).



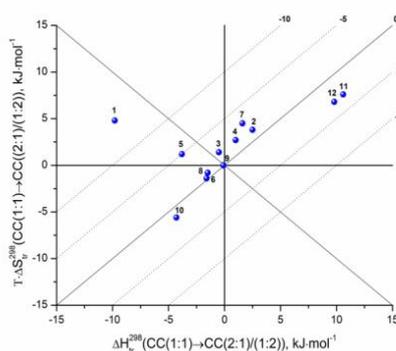
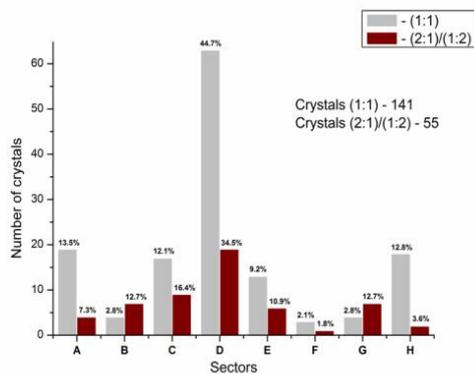
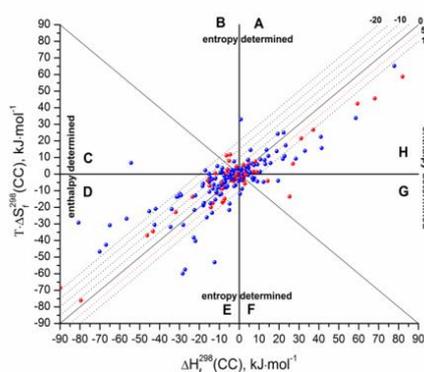
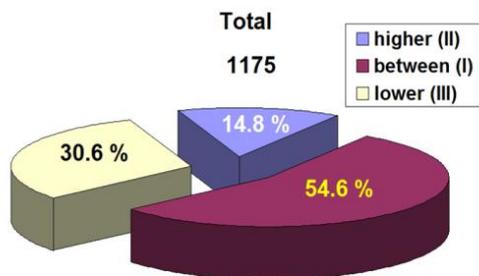
*Бюлл. Эксп. Биол. Мед.*, 164 (2017) 184-187; патент РФ № 2620597.

22. Разработан способ получения карбамидсодержащего биокомпозитного удобрения (БУ) с повышенной устойчивостью к вымыванию азота водой, основанный на пропитке подложки из коры осины водным раствором мочевины и осаждении на ее поверхности малорастворимого нитрата мочевины. Установлено, что превращение мочевины на поверхности подложки в нитратную форму позволяет уменьшить вымывание азота из биокомпозитных удобрений в среднем в 1,9 раза. Разработанные биокомпозитные удобрения характеризуются медленным вымыванием азота в течение длительного времени, что свидетельствует об эффекте их пролонгированного действия. В вегетационных экспериментах на примере листовой горчицы выявлено ростостимулирующее действие разработанного удобрения. Руководитель работы – д.х.н. Б.Н. Кузнецов; исп. - к.т.н. Е.В. Веприкова, д.х.н. Н.В. Чесноков (Институт химии и химической технологии, Красноярский НЦ СО РАН).



*Ж. Сиб. Фед. Унив. Химия.*  
10 (2017, в печати.

23. Создана база данных, включающая значения энергий Гиббса и энтальпий сублимации молекулярных кристаллов, а также их температуры плавления, опубликованные в литературе в период с 1900 по 2016.

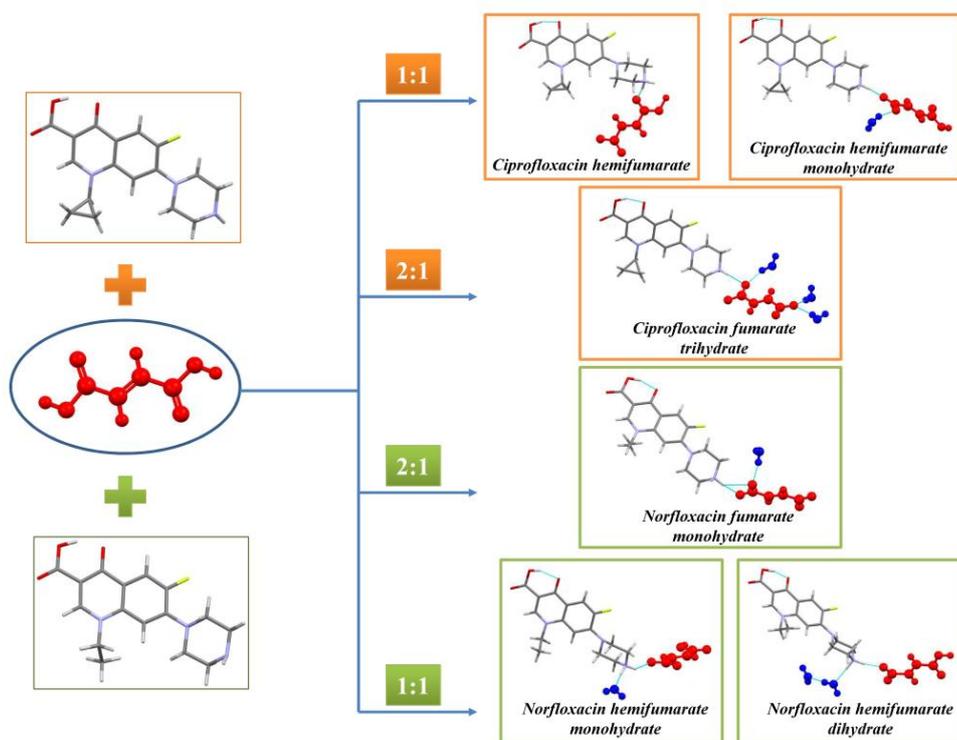


*Cryst. Growth Des.*, 17 (2017) 4110-4117; *CrystEngComm.*, 19 (2017) 2870-2883.

Предложен алгоритм для оценки термодинамических функций сублимации молекулярных кристаллов на основании знаний их температур плавления и структурных формул. Кроме этого, на основании литературного материала, опубликованного в последние 30 лет, была создана и проанализирована база данных, включающая температуры плавления двухкомпонентных молекулярных кристаллов. Предложен алгоритм оценки термодинамических

характеристик образования двухкомпонентных молекулярных кристаллов. Полученные результаты дают возможность осуществлять дизайн сокристаллов фармацевтического назначения с прогнозируемыми характеристиками растворения. Руководитель работы - профессор Г.Л. Перлович (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).

24. Получены новые фармацевтические соли синтетических антибиотиков фторхинолонового ряда с фумаровой кислотой. Показано, что солеобразование ципро- и норфлоксацинов с указанным противоионом приводит к большому набору кристаллических форм с различной стехиометрией компонентов и степенью гидратации. В результате проведения механохимических экспериментов были найдены условия для селективного получения каждой из кристаллических форм. Осуществлено систематическое исследование влияния активности воды на фазовые равновесия между кристаллогидратами солей, определены границы термодинамической стабильности гидратированных форм.

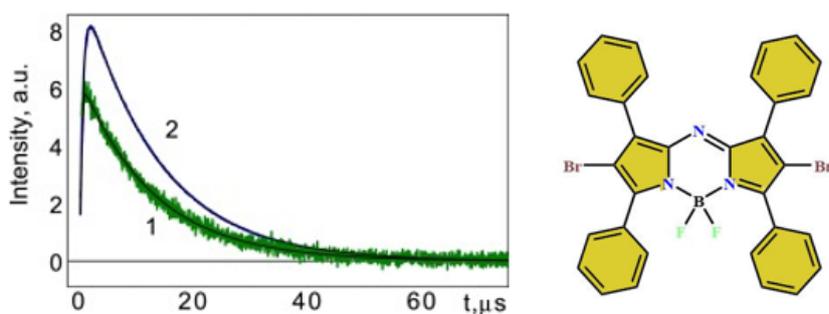


*CrystEngComm.*, 2018, DOI: 10.1039/c7ce02033c.

Проанализировано влияние кристаллической структуры и степени гидратации солей на их растворимость при различных значениях pH среды.

Для тригидрата ципрофлоксацин фумарата обнаружено 30-ти кратное увеличение растворимости активного фармацевтического ингредиента. Руководитель работы профессор Г.Л. Перлович; исп. - к.х.н. А.О. Суров, к.х.н. А.П. Воронин (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).

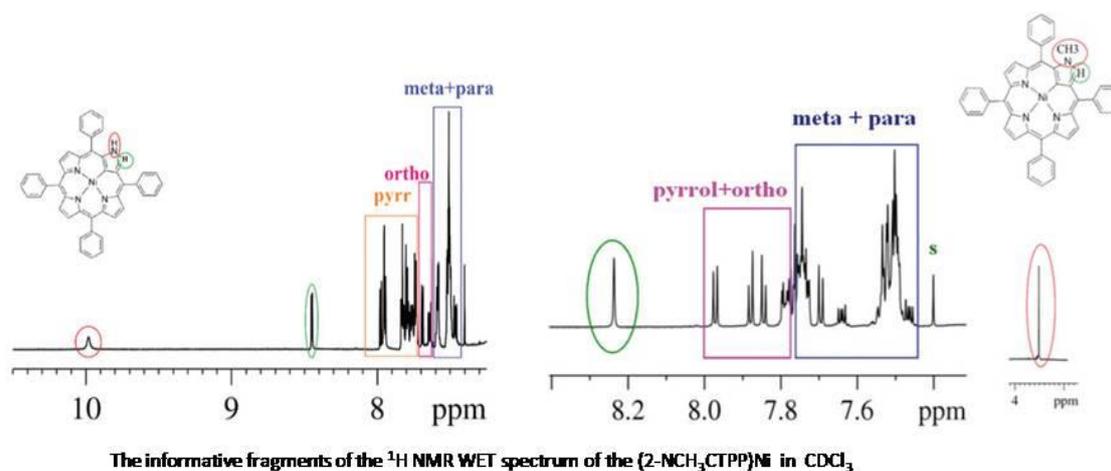
25. На основе галогенпроизводных дипиррометеновых люминофоров разработаны фотосенсибилизаторы, высокоэффективные в качестве активных компонентов сред в фотодинамической терапии и фотокатализе реакций окисления. Изучены спектрально-люминесцентные, фотофизические и фотохимические свойства бром- и иодзамещенных дипиррометенатов бора(III) и цинка(II), а также возможности генерации синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ) путем его фотосенсибилизации в растворах. Определение квантовых выходов синглетного кислорода проведено с использованием в качестве “ловушек” синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ) молекул 1,3-дифенилизобензофурана. Показано, что наибольшие выходы синглетного кислорода соответствуют наименьшим квантовым выходам флуоресценции. Установлено, что наилучшим фотосенсибилизатором с близким к единице выходом синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ) является дибром-тетрафенил-азаводипу, обладающий при этом максимальной фотостабильностью по сравнению с диiod- и дибромзамещенными аналогами. Руководитель работы - профессор А. И. Вьюгин; исп. - профессор Е.В. Антина, д.х.н. М.В. Березин, к.х.н. Г.Б. Гусева, к.х.н. Н.А. Бумагина (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).



*J. Lumin.*, 170 (2016) 248–254; *Хим. Выс. Эн.*, 51 (2017) 190-196.

26. С целью получения новых функциональных материалов для микроэлектроники (молекулярные термометры, переключатели, сенсоры) и

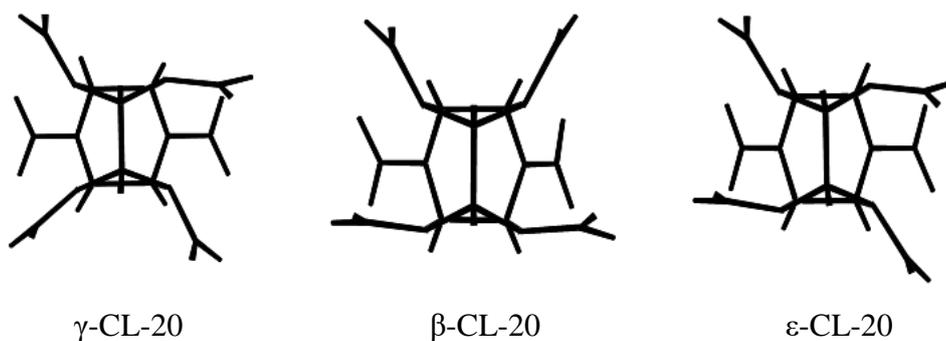
медицины (макроциклические рецепторы для адресной доставки лекарственных соединений) реакцией селективного бромирования тетрапиррольного макрогетероцикла синтезированы Ni(II), Pd(II), Zn(II) и Co(II, III)-комплексы порфиринов, содержащие в молекуле от одного до двенадцати атомов галогена. Исследованием взаимодействия инвертированных порфиринов с катионами металлов различной природы установлено, что их высокая реакционная способность определяется возможностью существования тетрапиррольного лиганда в виде различных таутомерных форм. Выявлено каталитическое или ингибирующее влияние аминокислот на реакцию образования металлопорфиринов, описаны зависимости оптических и комплексообразующих свойств полученных соединений от природы катиона металла, числа и взаимного расположения атомов галогена в макрогетероцикле. Руководитель работы - д.х.н. Н.Ж. Мамардашвили; исп. – к.х.н. Н.В. Чижова, к.ф.-м.н. И.А. Ходов и к.х.н. О.В. Мальцева (Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН).



*New J. Chem.*, 41 (2017) 7932-7937; *J. Porph. Phth.*, 2017, 21, 671-679.

27. Исследованы высокотемпературные превращения конформеров (см. рис. ниже) 2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазаизовюрцитана (CL-20). Методом синхронного термического анализа на приборе STA 449F3 при скорости нагрева от 1 до 5 °С/мин исследованы закономерности неизотермического распада  $\epsilon$ -конформера CL-20. Показано, что конечным продуктом при последующем охлаждении до 20 °С является  $\gamma$ -конформер.

Предложен механизм превращения  $\varepsilon \rightarrow \gamma$  конформеров CL-20, установлены условия такого перехода (масса образцов 1,35 мг,  $t = 120$  °С, энергия перехода 17,8 Дж/г). Показано, что  $\varepsilon$ - и  $\beta$ -конформеры CL-20 при 130-180 °С полностью переходят в  $\gamma$ -конформер, однако при температурах ниже 100 °С превращения  $\varepsilon \rightarrow \gamma$  (масса образца 1,5 г,  $\tau = 80$  суток) не происходит. Полученные результаты позволяют прогнозировать эксплуатационные свойства ЭКС на основе CL-20 в широком температурном диапазоне. Руководители работы - академик С.М. Алдошин и академик Ю.М. Милёхин; исп. - д.х.н. Т.К. Гончаров (ИПХФ РАН), д.т.н. Н.И. Шишов (ФГУП «ФЦДТ «Союз») совместно с Институтом проблем химической физики РАН.



28. Найдены новые структуры энергоёмких азот-кислородных соединений со специальными свойствами, разработаны методы синтеза таких соединений, проведена оценка их основных физико-химических и специальных свойств. В качестве потенциальных компонентов энергетических конденсированных систем (ЭКС) исследованы представители следующих классов соединений:

- динитроалкил-ООН-азоксипроизводные фуразана – потенциальные высокоэнергоёмкие окислители - энергетические наполнители с положительной энтальпией образования и высоким содержанием активного кислорода;

- неполные нитраты многоатомных спиртов с первичным или вторичным алкильным радикалом на конце цепи - потенциальные пластификаторы с низкими температурами стеклования;

- четвертичные аммониевые основания линейного и циклического строения с анионами динитразовой и хлорной кислот.

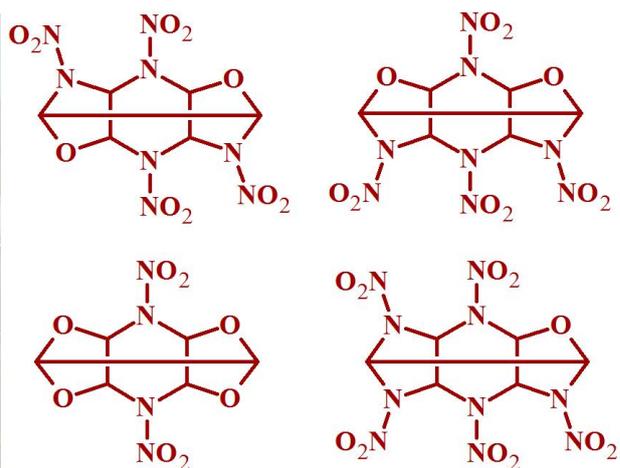
Первичная оценка специальных свойств полученных соединений с проверкой в составах ЭКС показала, что использование исследованных соединений позволит разработать высокоэффективные ЭКС. Руководитель работы - академик Ю.М. Милехин; отв. исп. - академик В.А. Тартаковский, д.х.н. Лукьянов О.А. (ИОХ РАН); исп. - д.х.н. Г.А. Смирнов, к.х.н. Виноградов Д.Б. (ИОХ РАН), д.т.н. Шишов Н.И. (ФГУП «ФЦДТ «Союз») совместно с Институтом органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН.

29. Разработаны методические основы расчета параметров теплового взрыва энергетических материалов по кинетическим данным дифференциальной сканирующей калориметрии высокого давления (до 10 МПа) с применением герметичных и перфорированных измерительных ячеек при скоростях нагрева от 0,1 до 1,0 град·мин<sup>-1</sup> на образцах массой ~ 1 мг. Исследованы кинетические характеристики термического разложения энергетических материалов на примере октогена и смесевой твёрдотопливной композиции на основе нитроэфирного связующего. Полученные результаты позволили рассчитать периоды задержки теплового воспламенения изученных энергетических материалов в широком температурном диапазоне. Разработанные модели позволяют достоверно прогнозировать характеристики теплового взрыва в сравнении с исследованиями, проводимыми в открытых измерительных ячейках при атмосферном давлении, которые дают некорректные результаты по причине быстрого испарения продуктов термического разложения и летучих компонентов и затруднения регистрации экзотермических реакций. Руководитель работы - академик Ю.М. Милехин; исп. - д.т.н. А.А. Коптелов (ФГУП «ФЦДТ «Союз»).

30. Исследовано стационарное горение динитрамида калия и его бинарных смесей с энергетическими нитроэфирными связующими в интервале давлений 0,1-15 МПа. Проведены исследования термической стабильности

смесей в неизотермических условиях с помощью термогравиметрии и дифференциально-сканирующей калориметрии. С помощью тонких вольфрам-рениевых термопар определено распределение температуры в волне горения смесей. Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что наблюдаемое увеличение скорости горения при добавлении калиевой соли динитрамида к нитроэфирному связующему вызвано повышением температуры первого пламени и соответствующим увеличением скорости выделения тепла (Горение и взрыв, 10 (2017) 70-75). Руководитель работы - академик Ю.М. Милехин; исп. - д.х.н. В.П. Синдицкий, д.т.н. А.А. Матвеев (ФГУП «ФЦДТ «Союз»), совместно с РХТУ им. Д.И. Менделеева (В.Ю. Егоршев).

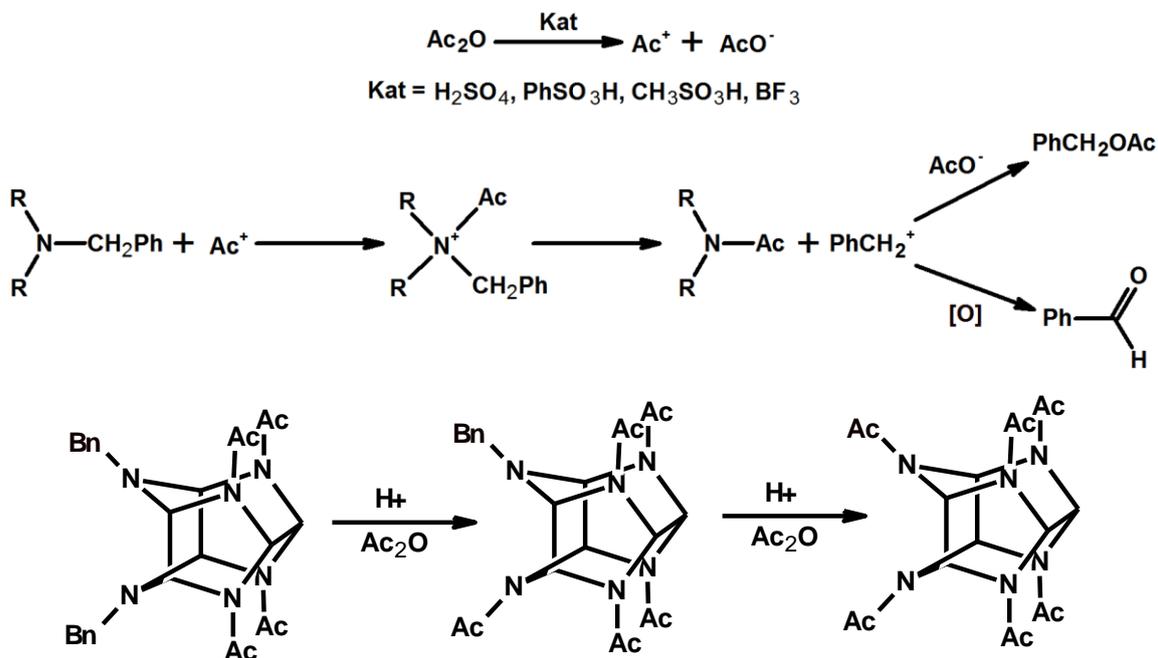
31. Разработан новый метод синтеза оксаазаизовюрцитанов прямой конденсацией замещённых сульфонамидов с глиоксалем. Путем нитролиза данных соединений был получен ряд новых малочувствительных взрывчатых веществ, имеющих большие перспективы при их применении в отраслях военной и горнодобывающей промышленности. Руководитель работы - профессор С.В. Сысолятин (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН).



*Chem. Heterocycl. Comp.*, 53 (2017) 630-637.

32. Впервые проведено замещение бензильных групп в производных гексаазаизовюрцитана ацетильными с использованием различных кислотных катализаторов. Установлено, что в качестве катализатора могут быть

использованы не только кислоты Бренстеда, но и кислоты Льюиса. Под действием кислотного катализатора происходит образование катиона  $\text{Ac}^+$ , который атакует атом азота гексаазаизовюрцитанового каркаса. Бензильная группа отщепляется в виде катиона, который частично взаимодействует с ацетат-анионом, образуя бензилацетат, а частично окисляется кислородом воздуха до бензальдегида. Определено, что скорость ацетилирования 4,10-дибензил-2,6,8,12-тетраацетилгексаазаизовюрцитана зависит от силы и количества кислотного катализатора. В качестве продуктов ацетилирования получены 4-бензил-2,6,8,10,12-пентаацетилгексаазаизовюрцитан, а при использовании очень сильной кислоты – 2,4,6,8,10,12-гексаацетилгексаазаизовюрцитан – ключевые промежуточные продукты в синтезе мощного взрывчатого вещества – 2,4,6,8,10,12-гексанитрогексаазаизовюрцитана. Руководитель работ – профессор С.В. Сысолятин; отв. исполнитель – к.х.н. В.Н. Сурмачёв (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН).



*Южно-Сибирский научный вестник, 4(20) (2017), 99-102.*

33. Впервые в России экспериментально показана принципиальная возможность получения нитратов целлюлозы нитрованием промышленной серно-азотной кислотной смесью бактериальной целлюлозы,

синтезированной с использованием симбиотической культуры *Medusomyces gisevi* (см. фото ниже). Методами ТГА/ДСК, ИК- и ЯМР-спектроскопии установлено, что экспериментальные образцы являются нитратами бактериальной целлюлозы со степенью замещения 1,96-2,09 %. Особенностью нитратов бактериальной целлюлозы является образование прозрачного высоковязкого органогеля при его растворении в ацетоне, что может быть обусловлено уникальной сетчатой структурой и триклинной модификацией бактериальной целлюлозы. Руководитель работ – академик Г.В. Сакович; зам. руководителя – к.т.н. Е.А. Скиба; отв. исп. – к.х.н. В.В. Будаева, Е.К. Гладышева; исп. – к.т.н. Ю.А. Гисматулина, к.т.н. А.А. Корчагина (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН).

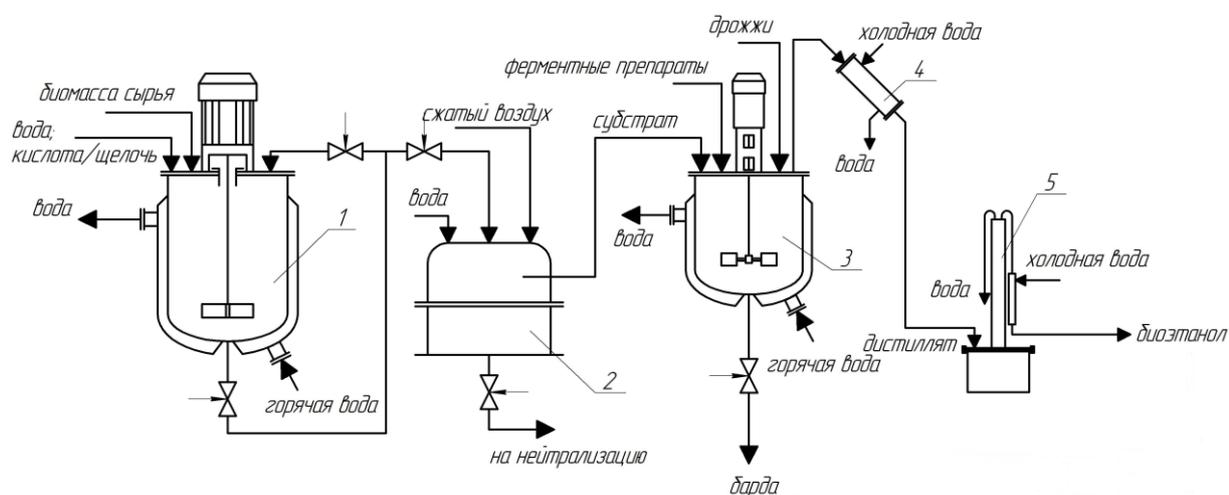


Фотография бактериальной целлюлозы, синтезированной с использованием симбиотической культуры *Medusomyces gisevi*

ДАН, 477 (2017) 357-359; Изв. вузов. Прикл. химия биотех., 7 (2017) 140-146.

34. Впервые в РФ получен биоэтанол из непищевого сырья – массового отхода сельского хозяйства – плодовых оболочек овса: в условиях производства в емкостном оборудовании объемом 250 л химической обработкой сырья получен субстрат, затем в емкостном оборудовании объемом 63 л успешно масштабированы одновременно осуществляемые процессы биокатализа: ферментативного гидролиза и спиртового брожения, в результате выход биоэтанола составил 17,9 дал/т (см. схему процесса ниже). После дополнительной ректификации полученный биоэтанол (94% масс.) успешно испытан в качестве сырья для процесса каталитической дегидратации в этилен на кислотнo-модифицированных алюмооксидных

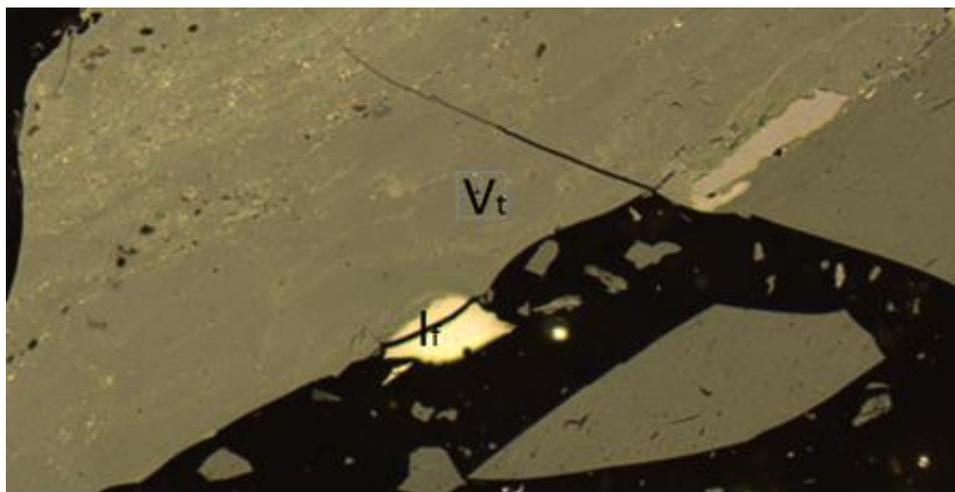
катализаторах (патент РФ № 2609263) в проточном изотермическом реакторе. Показано, что при температуре 400°C выход этилена из 1 т плодовых оболочек овса может достигать 51-56 кг. Данный способ защищен тремя патентами РФ 2581799, 2593724 и 2624668. Руководитель работ – к.х.н. В.В. Будаева; исп. – к.т.н. Е.А. Скиба, к.т.н. Е.И. Кашеева, к.х.н. В.Н. Золотухин, к.т.н. И.Н. Павлов, к.т.н. О.В. Байбакова (Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения СО РАН) совместно с Институтом катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (к.х.н. В.А. Чумаченко, к.х.н. Е.В. Овчинникова, С.П. Банзаракцаева).



*Biochem. Eng. J.*, 126 (2017) 118-125; *Chem. Eng. J.*, 329 (2017) 178-186.

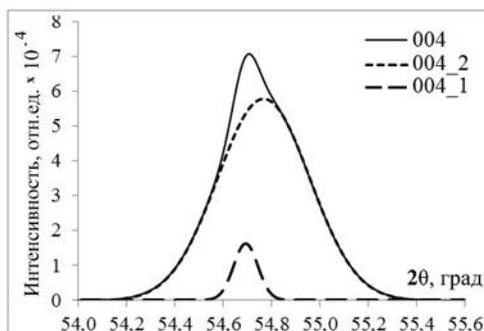
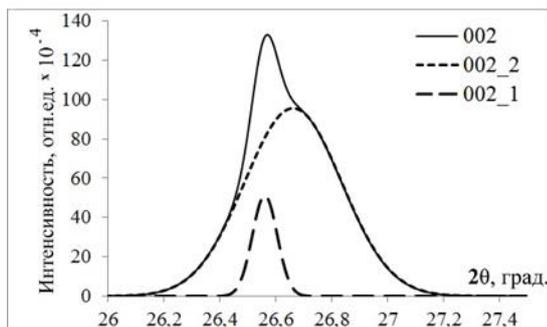
35. Выполнены исследования широкого метаморфического ряда каменных углей, входящих в сырьевую базу коксования, методом петрографии. Петрографический и рефлектограммный анализа углей и угольных смесей выполнен с использованием автоматизированного комплекса SIAMS 620. Установлены петрографические особенности, влияющие на технологические свойства углей в процессе высокотемпературного коксования. На основании исследований разработаны рекомендации по использованию в качестве параметра коксуемости петрографически неоднородных углей содержание отощающих компонентов ( $\Sigma$ ОК), а характер зависимости механической прочности кокса от содержания в углях отощающих компонентов определяется стадией метаморфизма исходных углей. Исследованием углей как сырья для коксования и определением степени метаморфизма

установлена взаимосвязь между отражательной способностью витринита и спекаемостью углей, рекомендуемая при составлении шихт для коксования и прогноза качества доменного кокса. Ниже показаны микрофотографии пробы угля: Vt – витринит; I<sub>f</sub> – инертинит (отраженный свет, масляная иммерсия, ув. 300). Руководитель работы – чл.-корр. РАН З.Р. Исмагилов; исп. – А.Н. Заостровский (ФИЦ угля и углехимии СО РАН).



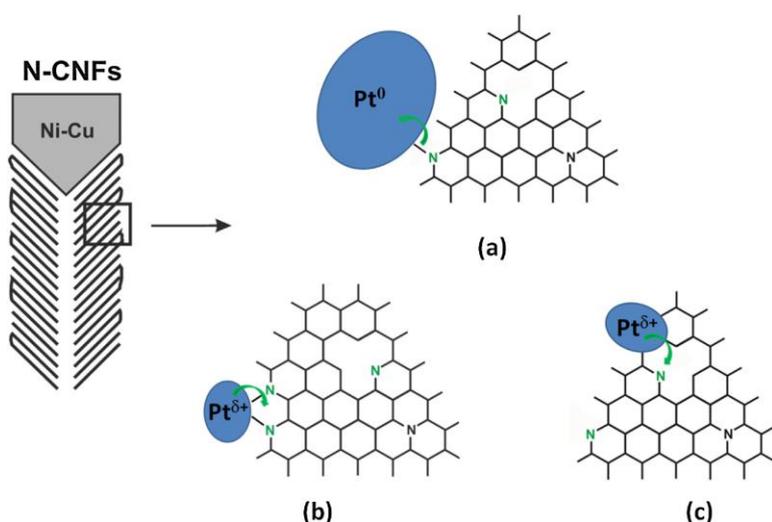
*Кокс и химия,*  
11 (2017) 25-  
30.

36. Разработана комплексная методика исследования структуры и морфологии ископаемых углей, углеродных материалов и сорбентов, полученных на основе ископаемых углей Кузбасса, с использованием современного аналитического оборудования. Проведены систематические исследования углеродных сорбентов на основе разных марок углей. Определены параметры пористой структуры, как наиболее важного параметра оценки их качества для эффективного решения задач по очистке сточных вод от органических загрязнителей и тяжелых металлов. Разработана методика определения степени упорядоченности углеродных веществ и материалов методом рентгеновской дифракции. Проведены исследования и охарактеризованы полученные уникальные углеродные материалы на основе переработки каменноугольного пека, которые используются в суперконденсаторах, электродах, металл-углеродных композитах и для производства сорбентов. Руководитель работы – чл.-корр. РАН З.Р. Исмагилов; отв. исп. – к.ф.-м.н. С.А. Созинов; исп. – к.х.н. Ю.Н. Дудникова и к.х.н. А.Н. Попова (ФИЦ угля и углехимии СО РАН).



*Химия в интересах устойчивого развития*, 25 (2017) 621-625; *Coke chem.*, 60 (2017) 278-284 и 362-366.

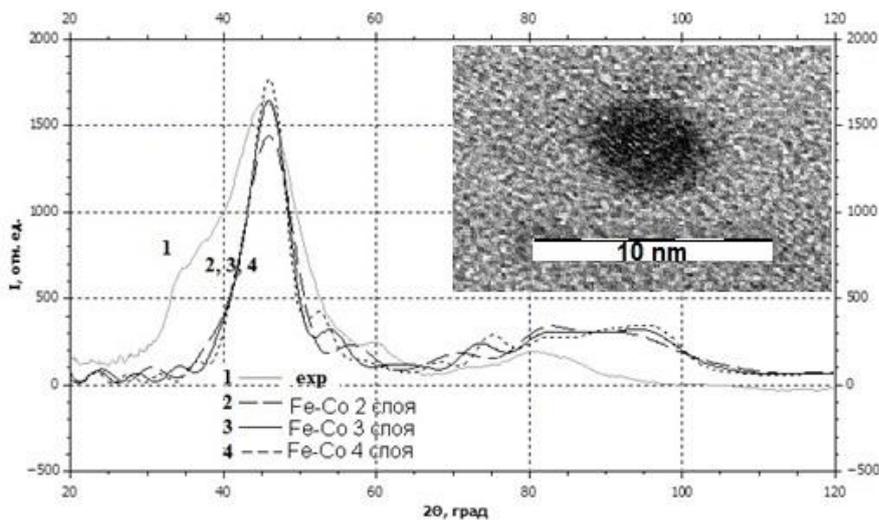
37. Разработаны методики синтеза новых функциональных материалов для широкого спектра практического применения, в том числе, в нанобиомедицине, разработке суперконденсаторов и носителей для катализаторов. Разработаны методы синтеза углеродных нановолокон с коаксиально-конической и стопчатой структурами, а также двух типов нанотрубок, различающихся диаметром: первый тип характеризуется диаметром 7-26 нм, второй тип - 3-5 нм. Разработанные электродные материалы представляют практический интерес для создания суперконденсаторов нового поколения. Оценка показала, что плотность энергии для суперконденсаторов на основе разработанного графенового порошка в 2 раза превосходит плотность энергии в известных суперконденсаторах на базе активированных углей.



*Catal. Today.*, 301 (2017) 125-133; *Mater. Res. Bull.* 88 (2017) 78-84; *Carbon*, 122 (2017) 475-483; *Appl. Surf. Sci.*, 435 (2018) 1273-1284.

38. Впервые получены и охарактеризованы структурно наноразмерные частицы Ni, Fe-Co и Ni/Au, Fe-Co/Au, типа ядро-оболочка, перспективные

для создания сред хранения информации с высокой плотностью записи. Расчет структур ядра в приближении NVT-ансамбля с использованием термостата Нозе-Хувера, в программе GULP с использованием потенциала Клери-Росато, анализ их с помощью программы GDIS и расчет профиля рассеяния рентгеновских лучей в программе Debye с сопоставлением с экспериментом (рисунок). Согласование результатов говорит о икосаэдрической структуре наноразмерных Ni и Fe-Co ядер. Найденные из результатов ТЕМ межрядовые расстояния соответствуют им в ГЦК- Ni и твердом растворе Fe-Co. Наночастицы сфероподобны; размеры их составляют 5-7 нм (для ядер) и больше на 1-2 нм для структур ядро-оболочка. Межатомные ряды 0,24-0,25 нм, (рисунок) соответствуют плоскости (111) золота. Руководитель работы – чл-корр. РАН Ю.А.Захаров; отв. исп. – к.х.н. Р.П.Колмыков; исп. И.И. Образцова (ФИЦ угля и углехимии СО РАН совместно с Кемеровским государственным университетом) (доцент В.М. Пугачев, В.Г. Додонов).



*Gold Bull.* 50  
(2017) 225–234

39. Разработан биопрепарат для очистки почв от нефтезагрязнений (Патент РФ №2600868). Преимущество препарата состоит в том, что он изготовлен на основе вторичного сырья (отходы добычи цеолитсодержащих пород) и биомассы не патогенных углеводородокисляющих микроорганизмов, выделенных из мерзлотных почв и грунтов Якутии. Биопрепарат обладает способностью развиваться и утилизировать нефть и нефтепродукты при температуре  $+2^\circ\text{C}$ . Препарат апробирован в открытой экосистеме в условиях

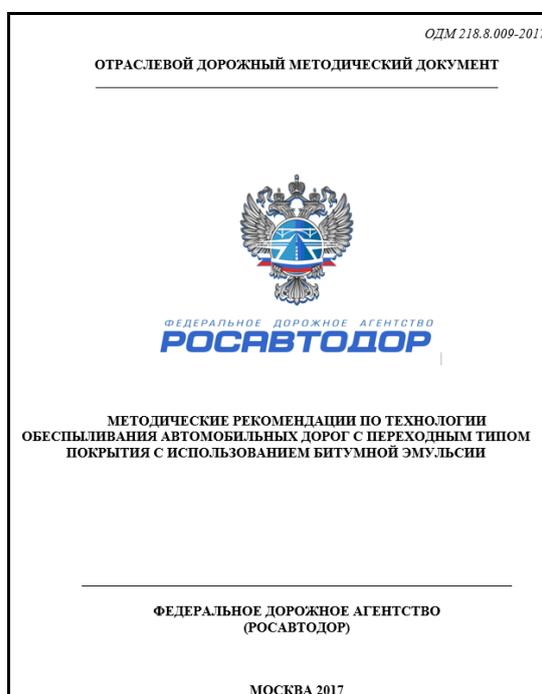
Крайнего Севера (ниже показана обработка почвы биопрепаратом (май) и тот же участок через 60 дней (июль)). Степень деструкции нефтезагрязнения при однократном внесении препарата в почву через 60 суток составила 53-55%, что подтверждают данные по изменению химического состава нефтезагрязнения в направлении биодegradации. Руководители работы – чл.-корр. РАН **А.Ф. Сафронов** и к.х.н. Ю.С. Глязнецова; отв. исп. – Л.А. Ерофеевская, к.г.-м.н. И.Н. Зуева, к.г.-м.н. О.Н. Чалая, к.х.н. С.Х. Лифшиц (Институт проблем нефти и газа СО РАН).



*Remediation J., 28 (2017) 97–104.*

40. Разработана и апробирована технология пылеподавления автомобильных дорог с переходным типом покрытия с применением битумной эмульсии. Эксплуатационными испытаниями на федеральных автотрассах "Лена", "Колыма" и "Виллюй" доказано, что долговечность технологии – не менее 90 дней с сохранением последствие в течение года.

Распоряжением Федерального агентства «Росавтодор» № 524 – р от 28.03.2017 г. утверждены «Методические рекомендации» по применению данной технологии. Распространение и усовершенствование разработанной технологии в рамках Стратегии научно-технологического развития РФ, может внести существенный вклад в обеспечение связанности территории Российской Федерации, в том числе, на северо-востоке России и в Арктике, где почти 90% дорог не имеют асфальтового покрытия. Руководитель работы - профессор С.Н. Попов; отв. исп – к.т.н. О.Н. Буренина; исп. – к.т.н. В.Е. Копылов (Институт проблем нефти и газа СО РАН).

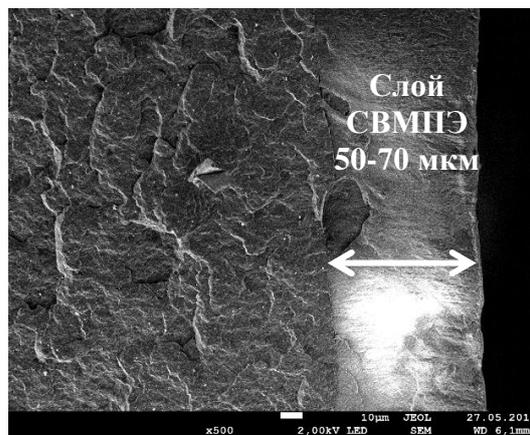


41. Разработаны две технологии нанесения прочных защитных покрытий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) на резинотехнические изделия (РТИ) Особенностью одной из разработанных технологий является возможность нанесения на РТИ покрытия практически любой толщины (рис. а). Прочность связи между слоями во всём температурном диапазоне эксплуатации изделий обеспечивается за счет управления межслойной адгезией и коэффициентами термического расширения совмещаемых материалов. С помощью другой технологии, в которой используется предварительная подвулканизация эластомерного слоя, на поверхности РТИ формируется тонкая пленка из СВМПЭ (рис. б). Применение покрытий из

СВМПЭ позволит значительно повысить надежность и долговечность резиновых изделий за счет увеличения стойкости к износу и агрессивным средам, а также за счет снижения коэффициента трения. Двухслойные материалы должны быть востребованы в подвижных уплотнениях, амортизаторах, футеровке горнодобывающего оборудования и др. Руководитель работы – д.т.н. М.Д. Соколова; отв. исп. – к.т.н. Н.В. Шадрин (Институт проблем нефти и газа СО РАН) совместно с СВФУ им. М.К. Аммосова (А.А. Дьяконов).



(а)



(б)

Патенты РФ № 2615416, № 2641816.

42. Разработана теория неизотермических цепных процессов. Вопреки общепринятым представлениям, показано, что разветвленно-цепной механизм определяет горение газов не только при давлениях, в сотни раз ниже атмосферного давления, но также при атмосферном и повышенных давлениях в любых температурных режимах. Получили объяснение важнейшие закономерности горения, взрыва и детонации газов, не находившие объяснения ранее, в том числе: большие скорости реакций, переход горения во взрыв и в детонацию, критические явления. Стало возможными предотвращение горения, взрыва и детонации, а также регулирование интенсивности этих процессов с помощью ингибиторов и промоторов. Традиционная же тепловая теория горения газов, основанная на гипотетическом одностадийном механизме, лишь описывает некоторые закономерности при условно принятых расчетных параметрах. Предложенные методы успешно прошли испытания в больших объемах при

участии межведомственных комиссий в институтах РАН, во НИИПО МЧС (Балашиха), в опытном штреке ОАО «НЦ ВостНИИ безопасности работ в горной промышленности (Кемерово). На Рис.1 показано сужение концентрационной области возгорания метано-воздушных смесей под воздействием ингибитора АПШ. Подготовлен к испытаниям проходческий комбайн с форсунками для ввода ингибитора.

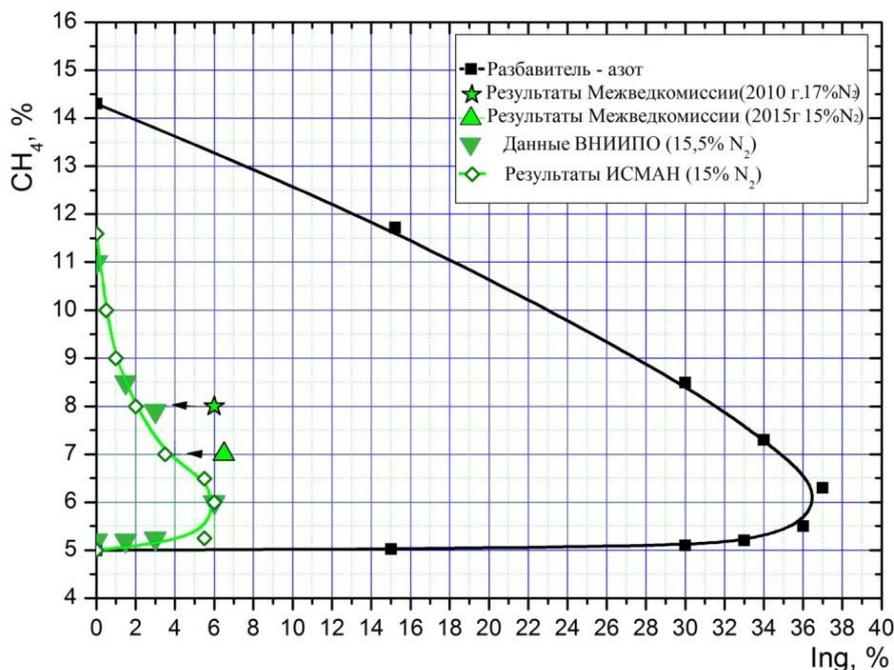
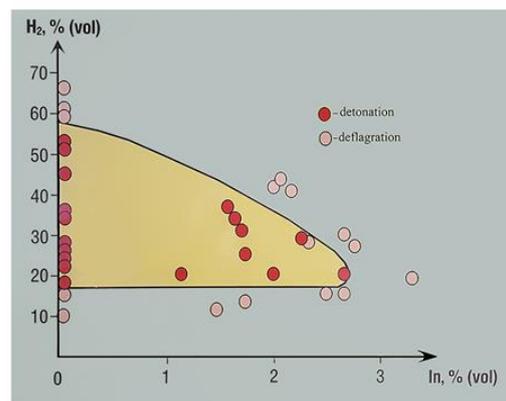
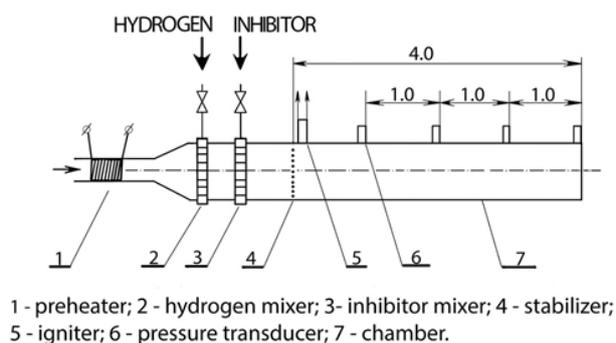


Рис. 1

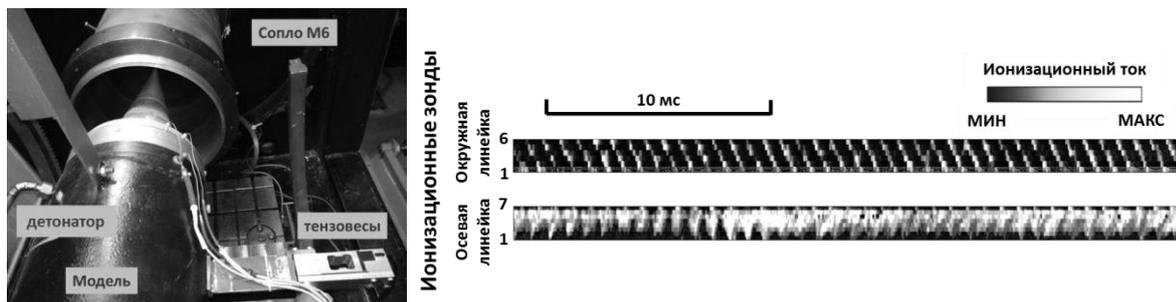
Предложенные подходы применимы для управления горением, взрывом и детонацией также других газов, в том числе, водорода, который, все больше используется в энергетике, в ракетной технике и в промышленности. Его образование представляет большую опасность особенно в АЭС. Испытания ингибиторов с участием межведомственных комиссий успешно проведены в институтах РАН, в Институте им. Планка (Германия), а также действующей модели воздушно-реактивного двигателя в ЦИАМ. На Рис. 2 показаны схема прямого воздушного реактивного двигателя, а также сужение концентрационных пределов перехода горения водородного топлива в детонацию под воздействием ингибитора АКМ-1. Руководитель работы – чл.-корр. РАН В.В. Азатян; отв. исп. - В.М. Прокопенко (ИСМАН), академик В.Е. Фортов, В.А., Петухов В.А. (ОИВТ), профессор Г.Г. Вагнер (Институт Общества Макса Планка, Германия).



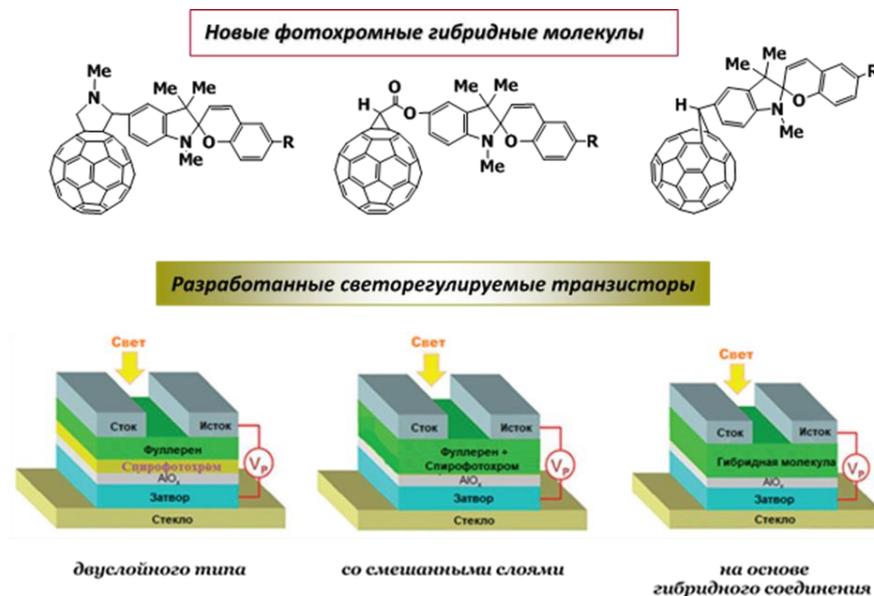
**Рис. 2**

43. Впервые в мире экспериментально зарегистрирован режим непрерывно-детонационного горения водорода в кольцевой камере сгорания модели детонационного прямоточного воздушно-реактивного двигателя (ДПВРД) в условиях обдува воздушным потоком с числом Маха 5,7 с температурой торможения 1500 К в импульсной аэродинамической трубе АТ-303. Средняя тяга, развиваемая моделью двигателя в одном из испытаний с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha=1,25$ , составила около 1550 Н, а удельный импульс (по топливу) – 3300 с. В проведенных огневых испытаниях при суммарном  $\alpha$  от 0,7 до 1,4 наблюдался режим с непрерывной спиновой детонацией, причем воздухозаборное устройство всегда работало без выбитой ударной волны. В диапазоне  $\alpha$  от 1,4 до 1,6 наблюдался предельный режим с продольно-пульсирующей детонацией водорода. При  $\alpha$  выше 1,6 происходил срыв горения в камере сгорания. Полученные результаты доказывают возможность создания двигателей для высокоскоростных летательных аппаратов на новых физических принципах. На фотографии слева показана модель ДПВРД, установленная в рабочей части аэродинамической трубы АТ-303, а справа - «визуализация» записей ионизационных зондов в огневом испытании модели ДПВРД с режимом непрерывной спиновой детонации водорода (наклон полосок на верхнем кадре соответствует «вращению» детонационной волны с тангенциальной скоростью 1300 м/с). Руководители работы – д.ф.-м.н. С.М. Фролов (Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова РАН) и д.т.н. В.И.

Звегинцев (Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича).

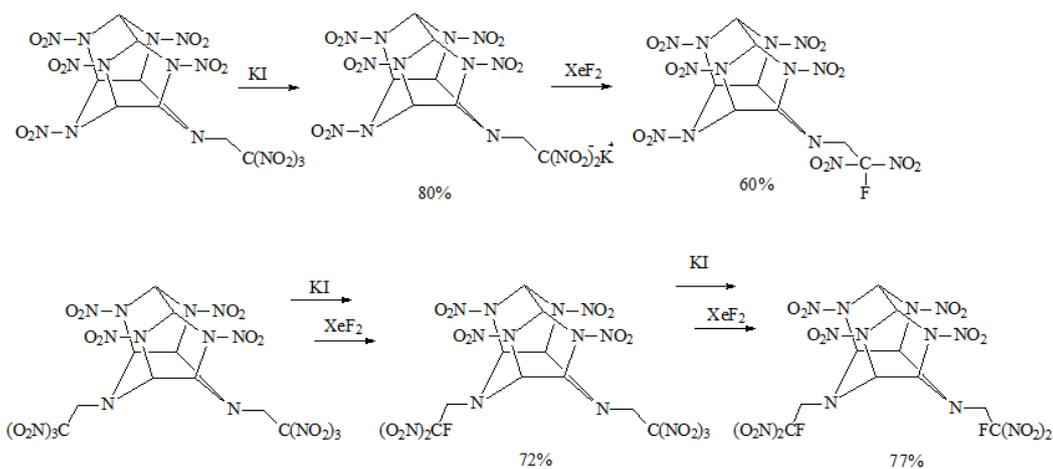


44. С целью создания фото- и хеморегулируемых органических полевых транзисторов и сенсоров, перспективных в качестве элементов оптической трехмерной памяти и суперкомпьютеров впервые синтезированы гибридные молекулы - метанофуллерены на основе  $C_{60}$ -фуллерена и спиропиранов. Полученные гибридные молекулы обладают фото- и хемотронизмом, отличаются высокой устойчивостью к необратимым фотопревращениям и термической стабильностью изомерных форм по сравнению с исходными свободными спиропиранами, а также более яркой фотолюминесценцией, что открывает перспективы применения таких гибридных молекул в качестве активного слоя органических полевых транзисторов и сенсоров, а также элементов оптической памяти. Руководитель работ – чл.-корр. РАН Джемилев У.М.; исп. - д.х.н. Туктаров А.Р., к.х.н. Хузин А.А. (Институт нефтехимии и катализа РАН).



*Журн. орг. хим.*  
53 (2017) 891.

45. Разработаны методы синтеза трех новых мощных энергоёмких соединений - 4-(2,2,2-фтординитроэтил)-2,6,8,10,12-пентанитрогексаазаизовюрцитана, 4-(2,2,2-фтординитроэтил)-10-(2,2,2-тринитроэтил)-2,6,8,12-тетранитрогексаазаизовюрцитана и 4,10-бис(2,2,2-фтординитроэтил)-2,6,8,12-тетранитрогексаазаизовюрцитана. Нароботаны эталонные образцы и переданы для экспериментального определения основных физико-химических и специальных свойств. Руководитель работы - профессор О.А. Лукьянов; исп. - к.х.н. Н.И. Шлыкова, Г.В. Похвиснева, Т.В. Терникова (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



*Изв. АН, сер. хим., 2017, №2, 320-326.*

46. Разработан новый тип адсорбентов-катализаторов для удаления соединений серы из газовых и жидких углеводородных смесей на основе поликатионных оксидных наночастиц (Mn, Zn, Cu), инкапсулированных в матрицу цеолитов. В качестве адсорбентов они также исключительно эффективны для очистки углеводородов от непредельных соединений (ацетиленов и диенов). Их адсорбционная емкость по соединениям серы в 5-20 раз превосходит лучшие из цеолитных адсорбентов. При сочетании адсорбционной и каталитической активности они способны практически полностью удалять соединения серы из газовых или жидких смесей. Так при использовании в десульфуризации природного газа содержание соединений серы снижается от 50 ppm до 10-20 ppb, т.е. в 5000 раз! Традиционные системы достигают только 10-20 кратного снижения. Аналогично при

очистке жидких углеводородов концентрация тиолов снижается от 40 ppm до 60 ppb (в 800 раз), тогда как традиционные адсорбенты способны снижать содержание тиолов лишь в 30 раз. Катализатор-адсорбент полностью регенерируем и в настоящее время подписано лицензионное соглашение с компанией M-Chemical (США), которая намерена внедрять эти системы на российских предприятиях нефтегазовой отрасли. Руководитель работы - профессор Л.М. Кустов; исп. - д.х.н. А.А. Грейш (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).

**(Zn)<sub>p</sub>/LSF (Mn)<sub>p</sub>/LSF (Cu)<sub>p</sub>Ca/LSF (LSF - Low Silica Faujasite)**

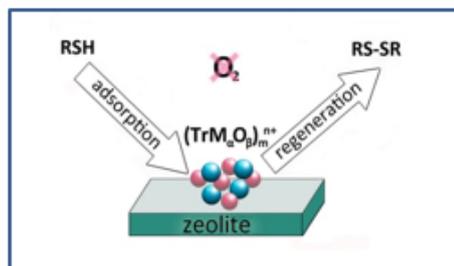
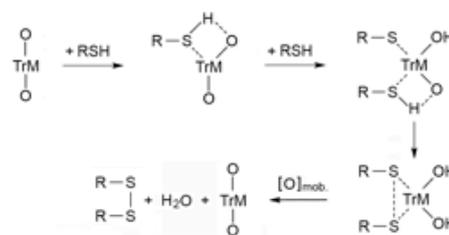
**Удаление примеси Этилтиола (ЭТ) из н-пентана**

Адсорбент – Катализатор	Остаточная концентрация ЭТ, [ppb]
(Zn) <sub>p</sub> LSF	240
(Mn) <sub>p</sub> LSF	58
(Cu) <sub>p</sub> CaLSF	92

Исх. концентрация ЭТ = 42 ppm, T = 25°C

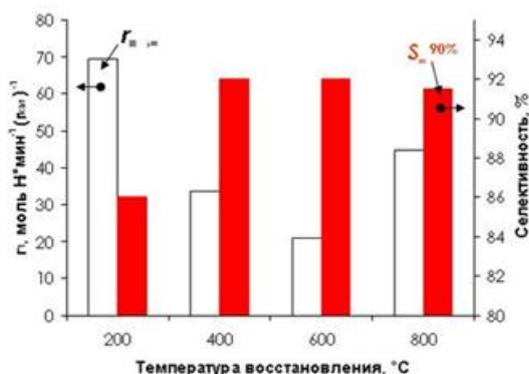
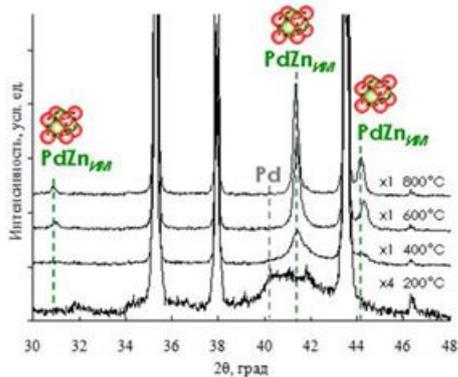
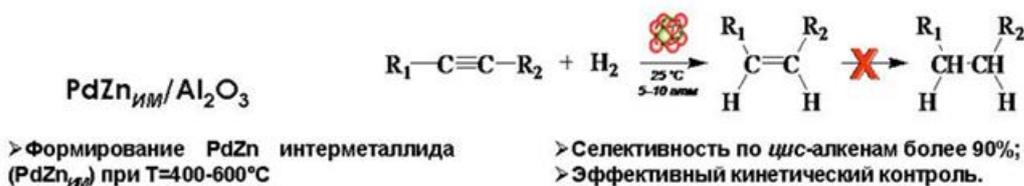
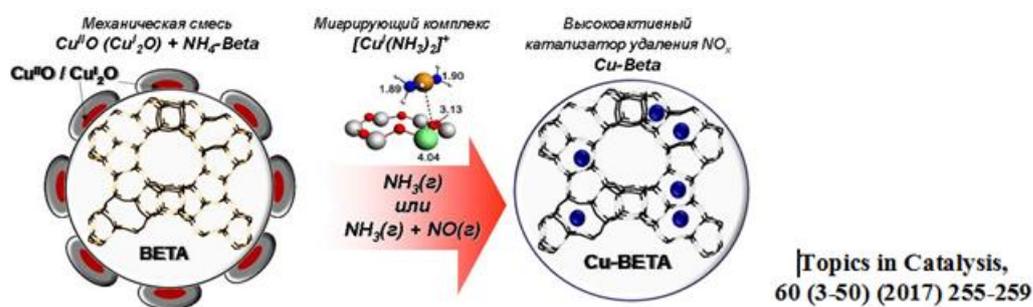
A.M. Tsybulevski, O.P. Tkachenko, E.J. Rode, K.C. Weston, L.M. Kustov, E.M. Sulman, V.Yu. Doluda, A.A. Greish\*, Energy Technology, 2017, 5, 1627 – 1637.

*Предлагаемый механизм частичного окисления алкилтиола*



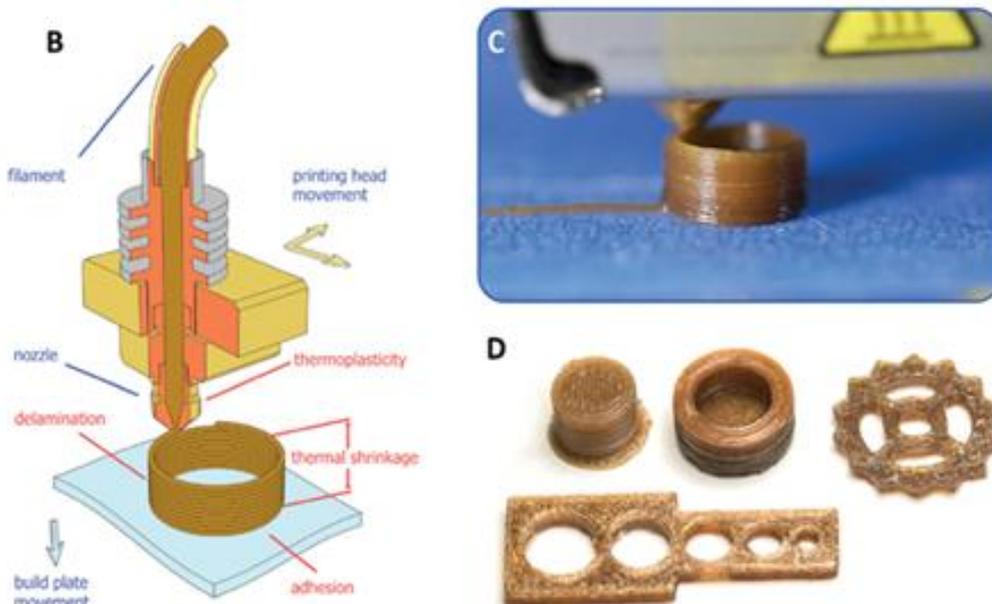
47. Предложен ряд принципиально новых методов приготовления высокоактивных и селективных катализаторов, предназначенных для решения задач защиты окружающей среды и процессов тонкого органического синтеза: а) оригинальный безотходный метод синтеза Cu-цеолитных катализаторов для очистки выхлопных газов дизельных двигателей, основанный на неизвестном ранее эффекте ионной миграции катионов меди в структуру цеолита в присутствии следового количества аммиака в мягких условиях (200–250 °С); б) метод синтеза высокоорганизованных биметаллических катализаторов на основе интерметаллических наночастиц Pd-Zn, нанесенных на различные носители

(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и т.д.). Полученные этим методом катализаторы Pd-ZnИМ/носитель позволяют проводить синтез цис-алкенов путем гидрирования соответствующих замещенных алкиновых соединений молекулярным водородом с селективностью, превышающей 90–95%. Руководитель работ — д.х.н., профессор А.Ю. Стахеев, исполнители — к.х.н. Д.А. Бокарев, А.И. Мытарева, к.х.н. И.С. Машковский, П.В. Марков, к.х.н. Г.О. Брагина (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН) совместно с фирмой Хальдор Топсе (Дания).

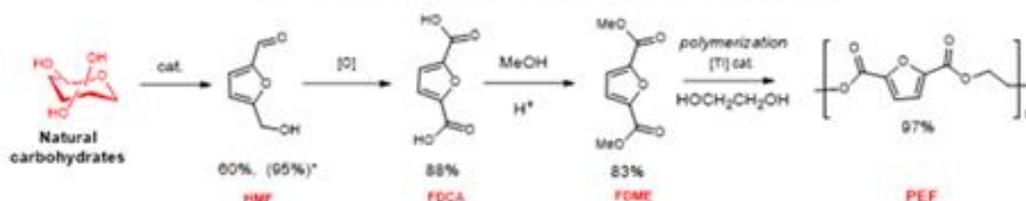


48. Впервые в мире разработана и реализована на практике процедура трёхмерной печати (3D Printing) биопластиком, полученным посредством конверсии растительной биомассы в фурановые производные. Показано, что полученный биопластик — полиэтиленфураноат (PEF) может быть синтезирован из дешевого природного сырья и обладает рядом важных практических свойств, таких, как высокая стойкость, стабильность,

возможность многократного повторного использования и неограниченное число циклов регенерации. Продемонстрирован первый пример углерод-нейтральной технологии 3D-печати, не загрязняющей окружающую среду и ориентированной на современные промышленные процессы. Руководитель работ — чл.-корр. РАН В.П. Анаников (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



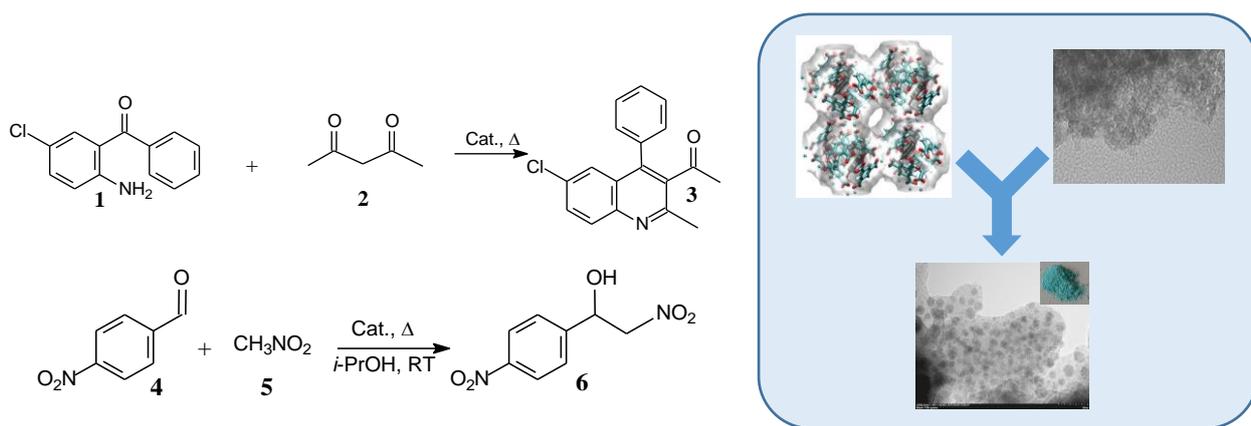
Синтез биопластика из природных углеводов:



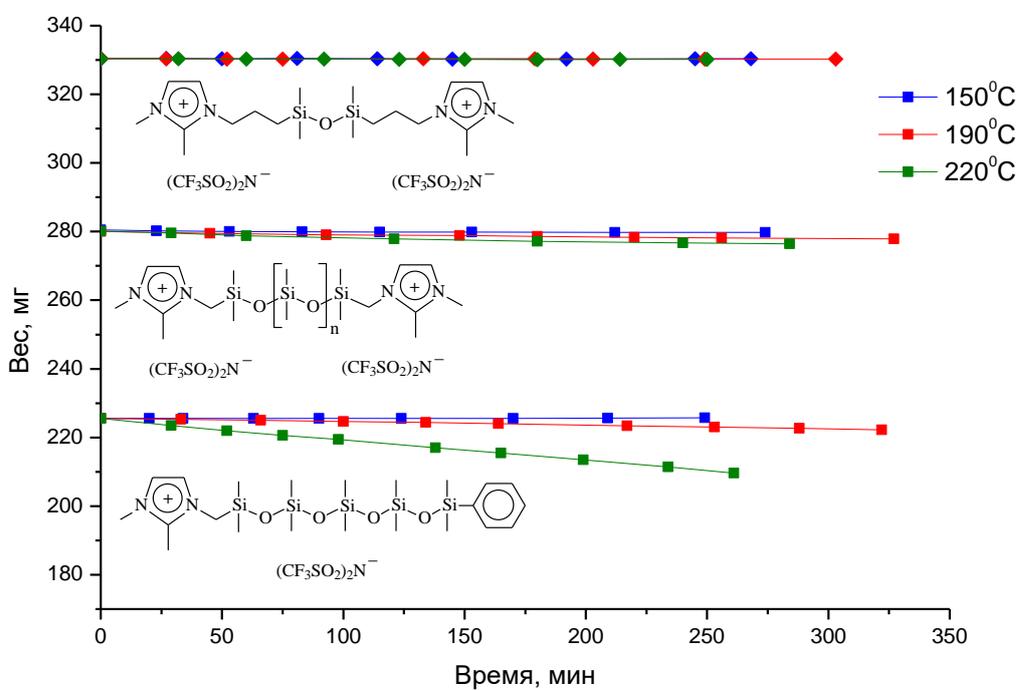
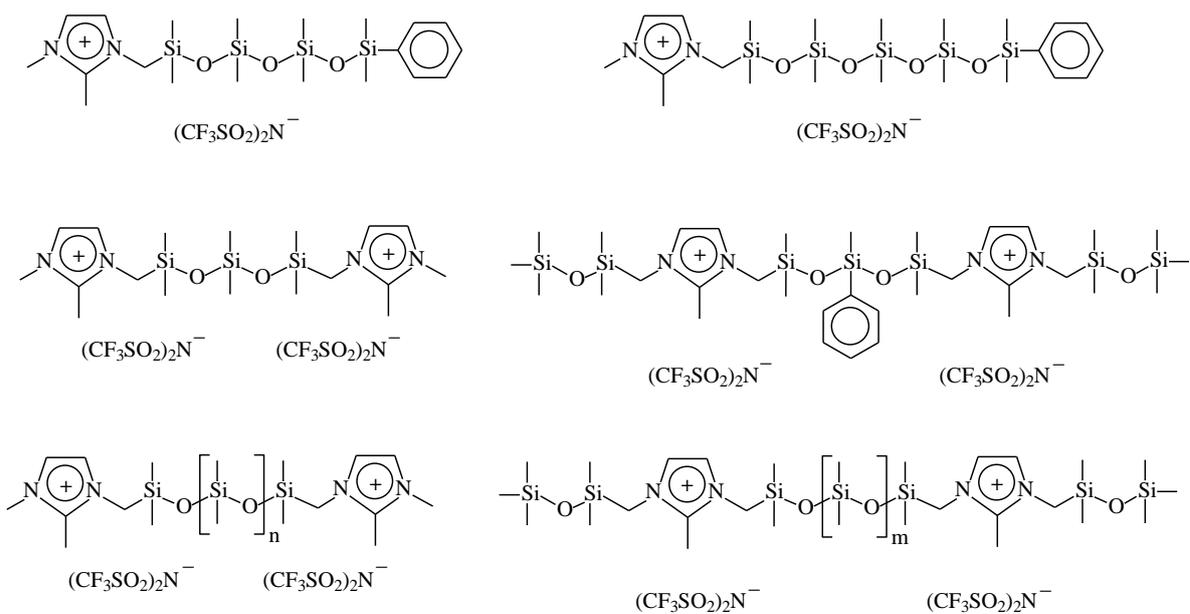
*Angew Chem Int Ed*, 2017, 56, 15931-15935

49. *In situ* синтезирован новый гибридный катализатор с иерархической микро/мезопористой структурой, представляющий собой наночастицы металл-органического каркаса MOF-199 (HKUST-1,  $\text{Cu}_3(\text{BTC})_2$ , BTC бензол-1,3,5-трикарбоксилат), инкапсулированные в матрице мезопористого силиката (MMS). Найдено, что матрица MMS в процессе синтеза является структурообразующим агентом, который способствует формированию малых наночастиц MOF-199 (4-8 nm) внутри каналов силиката. Каталитические

свойства нового гибридного наноматериала MOF-199@MMS были исследованы в процессах, широко применяемых в тонком органическом синтезе - в реакции Фридлендера между 2-амино-5-хлорбензофеноном и ацетилацетоном и нитроальдольной конденсации Анри между нитрометаном и 4-нитробензальдегидом, как показано ниже. Руководитель работ - профессор Л.М. Кустов; отв. исп. - д.х.н. В.И. Исаева, профессор В.В. Веселовский (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН).



50. Для использования в качестве теплоносителей капельных холодильников-излучателей в условиях открытого космоса синтезированы и охарактеризованы новые моно- и дикатионные ионные жидкости (ИЖ) с исключительно низкой испаряемостью и содержащие в составе кремнийорганические фрагменты (см. рисунок ниже). Все полученные соединения отличаются высокой термической стабильностью (390-420 °С, ТГА). Испаряемость ИЖ моно- и дикатионного типа в вакууме  $10^{-5}$  торр в изотермических условиях при различных температурах с площади  $1 \text{ см}^2$  приведена на рисунке. Благодаря удлинению силоксанового заместителя в составе монокатионных ИЖ и введению олигомерной компоненты в состав дикатионных ИЖ удалось получить теплоносители с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Руководители работы - профессор Л.М. Кустов (ИОХ РАН) и академик А.А. Коротеев (МАИ); исп. – к.х.н. Е.А. Черникова, к.х.н. В.Г. Красовский, Л.М. Глухов (Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН).



**ДЛЯ ЗАМЕТОК**