



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
Институт элементоорганических соединений  
им. А.Н.Несмеянова  
Российской академии наук

*«Школа аспиранта и студента» им. А.Н. Несмеянова»  
Учебная конференция-аттестация*

**ВЕСНЯНКА-2026**

**06 апреля - 10 апреля**

**Сборник тезисов докладов  
и содокладов**

г. Москва, 2026 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Содержание		стр.
I. Программа конференции		2, 3
II. Тезисы докладов и содокладов		4–15
Химия элементоорганических соединений (ХЭОС)		16
		17
<b>Докладчик</b>	<b>Содокладчик</b>	
1. <b>ФРОЛОВ</b> Михаил Алексеевич	<b>отчёт за 4 года</b>	18, 19
2. <b>ВАСИЛЬЕВ</b> Кирилл Александрович	<b>МЕНЬШИКОВ-ТОНЯН</b> Михаил Андреевич	20, 21
3. <b>АЛЕКСЕЕВ</b> Никита Валерьевич	<b>ВИХРОВ</b> Антон Олегович	22, 23
4. <b>ПЕТРУШИНА</b> Татьяна Новрузовна	<b>ХЛОПОВ</b> Степан Алексеевич	24, 25
5. <b>МОСОВ</b> Данила Олегович	<b>ОЛЬБРЫХ</b> Арина Павловна	26, 27
6. <b>КУЛИКОВА</b> Василиса Андреевна	<b>отчёт за 2 года</b>	28
7. <b>ЯКОВЛЕВ</b> Глеб Борисович	<b>БУГЕРЯ</b> Алексей Александрович	29, 30
8. <b>ГОГОЛЕВ</b> Илья Александрович	<b>отчёт за 4 года</b>	31, 32
9. <b>БАБКИН</b> Александр Игоревич	<b>МЕНЬЩИКОВ</b> Арсений Евгеньевич	33, 34
10. <b>КОВАЛЕНКО</b> Сергей Александрович	<b>ПЕТРУШИНА</b> Татьяна Новрузовна	35, 36
11. <b>КОНОВАЛОВ</b> Александр Васильевич	<b>ПОСЫПАЙКО</b> Елизавета Евгеньевна	37, 38
12. <b>СПИРИДОНОВ</b> Александр Анатольевич	<b>РУМЯНЦЕВ</b> Андрей Вячеславович	39, 40
13. <b>ТИМЕРКАЕВА</b> Маргарита Павловна	<b>КОВАЛЕВА</b> Мария Алексеевна	41, 42
14. <b>ОЛЬБРЫХ</b> Арина Павловна	<b>ПЕРЕПЕЛКИН</b> Евгений Игоревич	43, 44
15. <b>РУМЯНЦЕВ</b> Андрей Вячеславович	<b>СОЛДАТОВА</b> Анастасия Викторовна	45, 46
16. <b>ХАЛИКОВ</b> Марат Салаватович	<b>отчёт за 2 года</b>	47
17. <b>ФАДЕЕВА</b> Вероника Алексеевна	<b>выпускник ВУЗа</b>	48
18. <b>СМИРНОВА</b> Анастасия Сергеевна	<b>выпускник ВУЗа</b>	49
Физическая химия (ФХ)		50
<b>Докладчик</b>	<b>Содокладчик</b>	
1. <b>САФИУЛЛИНА</b> Эльнара Саяровна	<b>отчёт за 4 года</b>	51, 52
2. <b>ПОСЫПАЙКО</b> Елизавета Евгеньевна	<b>РАТНИКОВ</b> Андрей Кириллович	53, 54
3. <b>РОМАНЕНКО</b> Александр Романович	<b>КОВАЛЕНКО</b> Сергей Александрович	55, 56
Органическая и биоорганическая химия (ОБОХ)		57
<b>Докладчик</b>	<b>Содокладчик</b>	
1. <b>БАЛАЛАЕВА</b> Александра Игоревна	<b>отчёт за 4 года</b>	58, 59
2. <b>ХРОМОВ</b> Георгий Алексеевич	<b>ГАЖЕЕВ</b> Сорол Тумэнович	60, 61
3. <b>ЗАВАЛЮЕВ</b> Владислав Юрьевич	<b>ЖУКОВ</b> Рустам Олегович	62, 63
4. <b>ВИХРОВ</b> Антон Олегович	<b>ДРОЗДОВ</b> Антон Павлович	64, 65
5. <b>КУЦЕВАЛОВА</b> Ульяна Александровна	<b>БАРАННИКОВА</b> Лада Владимировна	66, 67
6. <b>АНИСЬКИН</b> Илья Сергеевич	<b>АРИФУЛИН</b> Рамиль Жаферович	68, 69
7. <b>ЧЕРЕЗОВ</b> Егор Александрович	<b>КОЛЕСНИКОВ</b> Алексей Сергеевич	70, 71
8. <b>БОТЕЗАТУ</b> Анатолий	<b>отчёт за 4 года</b>	72, 73
9. <b>ПАШАНОВА</b> Анна Вячеславовна	<b>отчёт за 4 года</b>	74, 75
10. <b>СТУКАЛОВА</b> Мария Петровна	<b>отчёт за 4 года</b>	76, 77
11. <b>БУБНОВА</b> Александра Сергеевна	<b>БАБКИН</b> Александр Игоревич	78, 79
12. <b>ДРОЗДОВ</b> Антон Павлович	<b>БИЛЬ</b> Игорь Витальевич	80, 81
13. <b>МЕНЬШИКОВ-ТОНЯН</b> Михаил Андреевич	<b>ХРОМОВ</b> Георгий Алексеевич	82, 83
14. <b>КУАНДЫКОВ</b> Алексей Александрович	<b>КУЦЕВАЛОВА</b> Ульяна Александровна	84, 85
15. <b>АРИФУЛИН</b> Рамиль Жаферович	<b>АЛЕКСЕЕВ</b> Никита Валерьевич	86, 87
16. <b>КОЛЕСНИКОВ</b> Алексей Сергеевич	<b>НИКОЛАЕВ</b> Станислав Александрович	88, 89
17. <b>ЗВЕРЕВА</b> Олеся Владиславовна	<b>выпускник ВУЗа</b>	90
18. <b>МАЛЮТИН</b> Никита Игоревич	<b>выпускник ВУЗа</b>	91

<b>Докладчик</b>		<b>Содокладчик</b>	
1.	<b>ВТЮРИНА</b> Елизавета Сергеевна	отчёт за 4 года	93, 94
2.	<b>ШИКИН</b> Дмитрий Яковлевич	отчёт за 4 года	95, 96
3.	<b>ШАКУРОВ</b> Иван Иванович	отчёт за 4 года	97, 98
4.	<b>ГАЖЕЕВ</b> Сорол Тумэнович	<b>КОНОВАЛОВ</b> Александр Васильевич	99, 100
5.	<b>ХРАМОВА</b> Светлана Александровна	выпускник ВУЗа	101
6.	<b>БРЫКИН</b> Ярослав Игоревич	выпускник ВУЗа	102
7.	<b>ЛИ</b> Виктория Андреевна	выпускник ВУЗа	103
8.	<b>РУНЦО</b> Анна Игоревна	выпускник ВУЗа	104
9.	<b>ПЕРЕПЕЛКИН</b> Евгений Игоревич	<b>ЯКОВЛЕВ</b> Глеб Борисович	105, 106
10.	<b>БИЛЬ</b> Игорь Витальевич	<b>СПИРИДОНОВ</b> Александр Анатольевич	107, 108
11.	<b>МЕНЬЩИКОВ</b> Арсений Евгеньевич	<b>ЗАВАЛЮЕВ</b> Владислав Юрьевич	109, 110
12.	<b>СОЛДАТОВА</b> Анастасия Викторовна	<b>АНИСЬКИН</b> Илья Сергеевич	111, 112
13.	<b>ЖУКОВ</b> Рустам Олегович	<b>МОСОВ</b> Данила Олегович	113, 114
14.	<b>БУГЕРЯ</b> Алексей Александрович	<b>ВАСИЛЬЕВ</b> Кирилл Александрович	115, 116
15.	<b>РАТНИКОВ</b> Андрей Кириллович	<b>ТИМЕРКАЕВА</b> Маргарита Павловна	117, 118
16.	<b>МАЛЬШЕВ</b> Алексей Максимович	выпускник ВУЗа	119
17.	<b>БЕРЕГОВСКИЙ</b> Илья Геннадьевич	выпускник ВУЗа	120
18.	<b>КУЗЬМИН</b> Павел Сергеевич	выпускник ВУЗа	121
19.	<b>ГАЛИУЛЛИН</b> Альберт Наилевич	отчёт за 4 года	122, 123
20.	<b>ХЛОПОВ</b> Степан Алексеевич	<b>КУАНДЫКОВ</b> Алексей Александрович	124, 125
21.	<b>БАРАННИКОВА</b> Лада Владимировна	<b>ЧЕРЕЗОВ</b> Егор Александрович	126, 127
22.	<b>НИКОЛАЕВ</b> Станислав Александрович	<b>РОМАНЕНКО</b> Александр Романович	128, 129
23.	<b>КОВАЛЕВА</b> Мария Алексеевна	<b>БУБНОВА</b> Александра Сергеевна	130, 131

## УЧЕБНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-АТТЕСТАЦИЯ «ВЕСНЯНКА-2026»

06 апреля 2026 г. 10:00

**ОТКРЫТИЕ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Михаил Алексеевич <b>Фролов</b> , аспирант 4-го года	Фотохимический синтез и реакционная способность пятичленных металациклокумуленов	Металлокомплексной активации малых молекул	д.х.н., в.н.с, зав. лаб. Владимир Васильевич <b>Бурлаков</b> к.х.н., с.н.с. Максим Владимирович <b>Андреев</b>	Отсутствует
2.	Александра Игоревна <b>Балалаева</b> , аспирант 4-го года	Газовые смеси на основе СО в реакциях восстановительного присоединения	Эффективного катализа	д.х.н., гл.н.с., зав. лаб. Денис Александрович <b>Чусов</b>	Отсутствует
3.	Эльнара Саяровна <b>Сафиуллина</b> , аспирант 4-го года	In situ спектроскопия ЯМР рН-чувствительных комплексов металлов со спиновым переходом	Исследования молекулярных материалов	к.х.н., н.с. Игорь Алексеевич <b>Никовский</b>	Отсутствует
4.	Елизавета Сергеевна <b>Втюрина</b> , аспирант 4-го года	Композитные нановолокнистые карбонизованные материалы на основе полиакрилонитрила и полигетероариленов для среднетемпературных водородных топливных элементов на полибензимидазольной мембране	Синтеза гетероциклических полимеров	к.х.н., с.н.с. Кирилл Михайлович <b>Скупов</b>	Отсутствует

06 апреля 2026 г. 12:00

**ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Елизавета Евгеньевна <b>Посыпайко</b> , аспирант 1-го года	Супрамолекулярный дизайн и межмолекулярные взаимодействия в мультикомпонентных кристаллах на основе кабозантиниба	Рентгеноструктурных исследований	д.х.н., в.н.с., проф. РАН Александр Александрович <b>Корлюков</b>	Андрей Кириллович <b>Ратников</b> , аспирант 2-го года, <i>лаб. Кремнийорганических соединений</i>
2.	Александр Романович <b>Романенко</b> , аспирант 2-го года	Анализ межмолекулярных взаимодействий методом парных взаимодействий в биосистемах	Рентгеноструктурных исследований	д.х.н., в.н.с., проф. РАН Александр Александрович <b>Корлюков</b>	Сергей Александрович <b>Коваленко</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Гидридов металлов</i>

06 апреля 2026 г. 15:00

**ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Кирилл Александрович <b>Васильев</b> , аспирант 2-го года	Арилзамещённые циклопентадиенильные комплексы родия	$\pi$ -Комплексов переходных металлов	д.х.н., в.н.с. Дмитрий Александрович <b>Логинов</b>	Михаил Андреевич <b>Меньшиков-Тонян</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. По разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов</i>
2.	Никита Валерьевич <b>Алексеев</b> , аспирант 1-го года	Синтез и исследование каталитической активности циклопентадиенильного комплекса иридия	Металлоорганических соединений	д.х.н., гл.н.с, зав. лаб. Дмитрий Сергеевич <b>Перекалин</b>	Антон Олегович <b>Вихров</b> , аспирант 2-го года, <i>лаб. Асимметрического катализа</i>
3.	Татьяна Новрузовна <b>Петрушина</b> , аспирант 2-го года	Синтез и каталитическая активность циклопентадиенильных комплексов родия с дополнительной координирующей группой	Металлоорганических соединений	д.х.н., гл.н.с, зав. лаб. Дмитрий Сергеевич <b>Перекалин</b>	Степан Алексеевич <b>Хлопов</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Физической химии полимеров</i>
4.	Данила Олегович <b>Мосов</b> , аспирант 1-го года	Молекулярный дизайн, реакционная способность и свойства клатрохелатов железа и рутения(II)	Алифатических борорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Александр Сергеевич <b>Чуприн</b>	Арина Павловна <b>Ольбрых</b> , аспирант 1-го года, <i>лаб. Гидридов металлов</i>
5.	Василиса Андреевна <b>Куликова</b> , аспирант 2-го года	Гидридность пинцетных комплексов никеля и их каталитическая активность в реакциях восстановления C=O связей	Гидридов металлов	д.х.н., гл.н.с., проф. РАН Наталья Викторовна <b>Белкова</b> д.х.н., зав.лаб., проф. Елена Соломоновна <b>Шубина</b>	Отсутствует
6.	Глеб Борисович <b>Яковлев</b> , аспирант 1-го года	Синтез и фотофизические свойства моноядерных комплексов меди (I) и серебра (I) с производными пиразолил-пиридина и фосфиновыми лигандами	Гидридов металлов	д.х.н., в.н.с. Алексей Александрович <b>Титов</b> д.х.н., в.н.с. Олег Андреевич <b>Филиппов</b>	Алексей Александрович <b>Бугеря</b> , аспирант 2-го года, <i>лаб. Фторорганических соединений</i>

07 апреля 2026 г. 10:00

**ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Илья Александрович <b>Гоголев</b> , аспирант 4-го года	Комплексы лантаноидов для создания бифункциональных оптомагнитных материалов	Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений	чл.-корр., д.х.н., зав. лаб. Александр Анатольевич <b>Трифонов</b>	Отсутствует
2.	Александр Игоревич <b>Бабкин</b> , аспирант 3-го года	Бис(аминобензильные) комплексы редкоземельных элементов с N,N,O-гетероскорпионатными лигандами в каталитическом дегидрокаплинге гидросиланов с аминами	Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений	чл.-корр., д.х.н., зав. лаб. Александр Анатольевич <b>Трифонов</b>	Арсений Евгеньевич <b>Меньшиков</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Криохимии (био)полимеров</i>
3.	Сергей Александрович <b>Коваленко</b> , аспирант 3-го года	Комплексы Re(I) с бидентатным ННС-лигандом: синтез и каталитическое дегидрирование амин-боранов	Гидридов металлов	проф., д.х.н., зав. лаб. Елена Соломоновна <b>Шубина</b> д.х.н., в.н.с. Олег Андреевич <b>Филиппов</b>	Татьяна Новрузовна <b>Петрушина</b> , аспирант 2-го года, лаб. <i>Металлоорганических соединений</i>
4.	Александр Васильевич <b>Коновалов</b> , аспирант 3-го года	Пинцерные лиганды в ряду амидов пиридинкарбоновых и родственных кислот: синтез и противоопухолевая активность	Фосфорорганических соединений	д.х.н., в.н.с. Владимир Андреевич <b>Козлов</b>	Елизавета Евгеньевна <b>Посыпайко</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Рентгеноструктурных исследований</i>
5.	Александр Анатольевич <b>Спиридонов</b> , аспирант 3-го года	Гибридные пинцерные комплексы Pd(II) с тиокарбаматной донорной группой: синтез и свойства	Фосфорорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Диана Владимировна <b>Алексаян</b>	Андрей Вячеславович <b>Румянцев</b> , аспирант 2-го года, лаб. <i>Металлокомплексного катализа</i>
6.	Маргарита Павловна <b>Тимеркаева</b> , аспирант 2-го года	Синтез и цитотоксичность хиральных бензиламинатных палладациклов	Гомолитических реакций элементоорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Ольга Николаевна <b>Горунова</b> д.х.н., зав. лаб. Константин Александрович <b>Кочетков</b>	Мария Алексеевна <b>Ковалева</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Стереохимии сорбционных процессов</i>

07 апреля 2026 г. 15:00

**ОРГАНИЧЕСКАЯ И БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Георгий Алексеевич <b>Хромов</b> , аспирант 3-го года	Поиск новых фторароматических мономеров для создания протонпроводящих мембран	Фторорганических соединений	к.х.н., с.н.с., зав. лаб. Андрей Александрович <b>Тютюнов</b>	Сорол Тумэнович <b>Гажеев</b> , аспирант 3-го года, лаб. <i>Стереохимии сорбционных процессов</i>
2.	Владислав Юрьевич <b>Завалюев</b> , аспирант 2-го года	Металл-темплатный подход к синтезу аминокислот с изокумариновым ядром на основе хиральных комплексов никеля	Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений	д.х.н., в.н.с., зав. лаб. Владимир Анатольевич <b>Ларионов</b>	Рустам Олегович <b>Жуков</b> , аспирант 2-го года, лаб. <i>Криохимии (био)полимеров</i>
3.	Антон Олегович <b>Вихров</b> , аспирант 2-го года	Перспективы использования фенолятов и алкоголятов магния в качестве активаторов в полимеризации этилена	Асимметрического катализа	д.х.н., доцент, зав. лаб. Виктор Иванович <b>Малеев</b>	Антон Павлович <b>Дроздов</b> , аспирант 3-го года, лаб. <i>Функциональных элементоорганических соединений</i>
4.	Ульяна Александровна <b>Кутевалова</b> , аспирант 1-го года	Флуоресцентный RET-сенсор на катионы меди (II) на основе производных 4-метокси-1,8-нафталимида и стирилпиридина	Фотоактивных супрамолекулярных систем	к.х.н., с.н.с. Марина Александровна <b>Павлова</b> д.х.н., в.н.с. Павел Александрович <b>Панченко</b>	Лада Владимировна <b>Баранникова</b> , аспирант 2-го года, лаб. <i>Криохимии (био)полимеров</i>
5.	Илья Сергеевич <b>Анискин</b> , аспирант 1-го года	Органические ионные каркасы как платформа для создания эффективных гетерогенных катализаторов	Эффективного катализа	д.х.н., гл.н.с, зав. лаб. Денис Александрович <b>Чусов</b> д.х.н., с.н.с. Олег Ильич <b>Афанасьев</b>	Рамиль Жаферович <b>Арифупин</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Стереохимии сорбционных процессов</i>
6.	Егор Александрович <b>Черезов</b> , аспирант 1-го года	Восстановление без молекулярного водорода	Эффективного катализа	д.х.н., гл.н.с, зав. лаб. Денис Александрович <b>Чусов</b> д.х.н., с.н.с. Олег Ильич <b>Афанасьев</b>	Алексей Сергеевич <b>Колесников</b> , аспирант 2-го года, лаб. <i>Фосфорорганических соединений</i>

08 апреля 2026 г. 10:00

**ОРГАНИЧЕСКАЯ И БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Анатолий <b>Ботезату,</b> аспирант 4-го года	Синтез, физико-химические свойства и применение гомо- и гетерометаллических комплексов рутения(II) с производными имидазо[4,5-f][1,10]фенантролина.	По разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов	к.х.н., с.н.с. Сергей Дмитриевич <b>Токарев</b> д.х.н., проф., гл.н.с., зав. лаб. Ольга Анатольевна <b>Федорова</b>	Отсутствует
2.	Анна Вячеславовна <b>Пашанова,</b> аспирант 4-го года	Синтез и комплексообразование производных бензоазакраун-соединений	По разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов	д.х.н., проф., гл.н.с., зав. лаб. Ольга Анатольевна <b>Федорова</b>	Отсутствует
3.	Мария Петровна <b>Стукалова,</b> аспирант 4-го года	Синтез в энантиомерно обогащённой форме небелковых $\alpha$ -аминокислот в условиях металлотемплатной стереодифференциации	Асимметрического катализа	д.х.н., доцент, зав. лаб. Виктор Иванович <b>Малеев</b>	Отсутствует
4.	Александра Сергеевна <b>Бубнова,</b> аспирант 3-го года	Pd-катализируемое гидроарилрование функционально замещенных алленов: региоселективный синтез производных $\alpha$ -аминокислот с экзо-двойной связью в боковой цепи	Экологической химии	д.х.н., гл.н.с., зав. лаб. Сергей Николаевич <b>Осипов</b>	Александр Игоревич <b>Бабкин,</b> аспирант 3-го года, лаб. <i>Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений</i>
5.	Антон Павлович <b>Дроздов,</b> аспирант 3-го года	Фото-катализируемое гидросилилирование	Функциональных элементоорганических соединений	к.х.н., зав. лаб. Ашот Вачикович <b>Арзуманян</b>	Игорь Витальевич <b>Биль,</b> аспирант 3-го года, лаб. <i>Высокомолекулярных соединений</i>

08 апреля 2026 г. 15:00

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Дмитрий Яковлевич <b>Шикин</b> , аспирант 4-го года	Синтез нефуллереновых акцепторов и полимеров на основе битиофенпирролов, битиофенциклопентанов и бензотриазолов для солнечных фотоэлементов	Физической химии полимеров	д.х.н., в.н.с. Мухамед Лостанбиевич <b>Кештов</b>	Отсутствует
2.	Иван Иванович <b>Шакуров</b> , аспирант 4-го года	Синтез и исследование свойств полидиметилсилоксанов с сиднонильными заместителями	Кремнийорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Екатерина Сергеевна <b>Транкина</b>	Отсутствует
3.	Сорол Тумэнович <b>Гажеев</b> , аспирант 3-го года	Влияние пористого состава сверхсшитых сорбентов стирола с 3% дивинилбензола на сорбцию молекул различного размера	Стереохимии сорбционных процессов	д.х.н., в.н.с. Александр Валерианович <b>Пастухов</b>	Александр Васильевич <b>Коновалов</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Фосфорорганических соединений</i>
4.	Светлана Александровна <b>Храмова</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Трибологические свойства полимерных композиционных материалов, модифицированных дисперсными углеродными наполнителями	Полимерных материалов	м.н.с. Мария Олеговна <b>Панова</b>	Отсутствует
5.	Ярослав Игоревич <b>Брыкин</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Исследование трибологических свойств эпоксидных композитов	Полимерных материалов	к.х.н., с.н.с. Дмитрий Игоревич <b>Буяев</b>	Отсутствует
6.	Виктория Андреевна <b>Ли</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Влияние добавок индолил-3-масляной кислоты на физико-химические свойства криогелей поливинилового спирта	Криохимии (био)полимеров	к.х.н., с.н.с. Ольга Юрьевна <b>Колосова</b>	Отсутствует
7.	Анна Игоревна <b>Рунцо</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Влияние концентрированных водных растворов кислот на криогели поливинилового спирта с включениями клеток микроорганизмов	Криохимии (био)полимеров	к.х.н., с.н.с. Ольга Юрьевна <b>Колосова</b>	Отсутствует

09 апреля 2026 г. 10:00

**ОРГАНИЧЕСКАЯ И БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Михаил Андреевич <b>Меньшиков-Тонян</b> , аспирант 3-го года	Ациклические комплексоны для перспективных медицинских катионов в радиофармацевтике	По разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов	к.х.н., с.н.с., зав. лаб. Анастасия Дмитриевна <b>Зубенко</b> д.х.н., в.н.с. Юрий Викторович <b>Федоров</b>	Георгий Алексеевич <b>Хромов</b> , аспирант 3-го года, лаб. <i>Фторорганических соединений</i>
2.	Дмитрий Максимович <b>Куандыков</b> , аспирант 2-го года	Синтез новых ионных металлокомплексных решеток и оценка их каталитической активности	Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений	д.х.н., в.н.с., зав. лаб. Владимир Анатольевич <b>Ларионов</b>	Ульяна Александровна <b>Куцевалова</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Фотоактивных супрамолекулярных систем</i>
3.	Рамиль Жаферович <b>Арифалин</b> , аспирант 1-го года	Фиксация CO <sub>2</sub> на оксиранах с применением бромидов лития и магния в смеси с азот- и фосфорсодержащими органическими соединениями в качестве катализатора	Сtereoхимии сорбционных процессов	д.х.н., гл.н.с., зав. лаб. Сергей Евгеньевич <b>Любимов</b>	Никита Валерьевич <b>Алексеев</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Металлоорганических соединений</i>
4.	Алексей Сергеевич <b>Колесников</b> , аспирант 2-го года	3,5-Бис(арилиден)-4-пиперидоны в скаффолд ориентированном синтезе гибридных молекулярных систем с противоопухолевой активностью	Фосфорорганических соединений	д.х.н., проф., гл.н.с., зав. лаб. Валерий Кузьмич <b>Брель</b>	Станислав Александрович <b>Николаев</b> , аспирант 1-го года, лаб. <i>Гетероцепных полимеров</i>
5.	Олеся Владиславовна <b>Зверева</b> , выпускник факультета химии НИУ ВШЭ 2026 г	Рутений-катализируемое восстановительное аминирование в мягких условиях с использованием гипофосфита натрия	Эффективного катализа	д.х.н., гл.н.с., зав. лаб. Денис Александрович <b>Чусов</b>	Отсутствует
6.	Никита Игоревич <b>Малютин</b> , выпускник РХТУ 2026 г	Новый метод синтеза 1-(β-этил)замещённых пиперидонов-4 из активированных производных этиленкетала 1-(β-гидроксиэтил)пиперидона-4	Тонкого органического синтеза	д.х.н., в.н.с. Андрей Борисович <b>Колдобский</b>	Отсутствует

09 апреля 2026 г. 15:00

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Евгений Игоревич <b>Перепелкин</b> , аспирант 3-го года	Структура и свойства композитов на основе хитозана с наночастицами диоксида церия, полученных в бифазной системе вода/углекислый газ	Физической химии полимеров	к.ф.-м.н., с.н.с. Иван Сергеевич <b>Чащин</b>	Глеб Борисович <b>Яковлев</b> , аспирант 1-го года, <i>лаб. Гидридов металлов</i>
2.	Игорь Витальевич <b>Биль</b> , аспирант 3-го года	Синтез и изучение свойств термореактивных олигоимидов с терминальными фенилэтинильными группами	Высокомолекулярных соединений	к.х.н., зав. лаб. Дмитрий Александрович <b>Сапожников</b>	Александр Анатольевич <b>Спиридонов</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Фосфорорганических соединений</i>
3.	Арсений Евгеньевич <b>Меньщиков</b> , аспирант 1-го года	Криогели на основе полисахаридов природного происхождения	Криохимии (био)полимеров	д.х.н., зав. лаб. Александр Анатольевич <b>Артюхов</b>	Владислав Юрьевич <b>Завалюев</b> , аспирант 2-го года <i>лаб. Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений</i>
4.	Анастасия Викторовна <b>Солдатова</b> , аспирант 1-го года	Механизм полимеризации анилина в водных растворах хитозана	Гетероцепных полимеров	д.х.н., зав. лаб. Ярослав Олегович <b>Межуев</b>	Илья Сергеевич <b>Аниськин</b> , аспирант 1-го года <i>лаб. Эффективного катализа</i>
5.	Рустам Олегович <b>Жуков</b> , аспирант 2-го года	Макропористые криогели альгината натрия: получение и свойства	Криохимии (био)полимеров	к.х.н., н.с. Дмитрий Алексеевич <b>Мичуров</b>	Данила Олегович <b>Мосов</b> , аспирант 1-го года <i>лаб. Алифатических борорганических соединений</i>
6.	Алексей Александрович <b>Бугеря</b> , аспирант 2-го года	Получение протонпроводящих мембран нового типа	Фторорганических соединений	к.х.н., с.н.с., зав. лаб. Андрей Александрович <b>Тютюнов</b>	Кирилл Александрович <b>Васильев</b> , аспирант 2-го года <i>лаб. π-Комплексов переходных металлов</i>

10 апреля 2026 г. 10:00

**ХИМИЯ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Арина Павловна <b>Ольбрых</b> , аспирант 1-го года	Строение и фотофизические свойства межмолекулярных комплексов циклического 3,5-бистрифторметилпиразолата серебра(I) с производными толана и анилина	Гидридов металлов	д.х.н., в.н.с. Алексей Александрович <b>Титов</b> д.х.н., в.н.с. Олег Андреевич <b>Филиппов</b>	Евгений Игоревич <b>Перепелкин</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Физической химии полимеров</i>
2.	Андрей Вячеславович <b>Румянцев</b> , аспирант 2-го года	Исследование активности иммобилизованных трет-бутилимидных пирролидных комплексов титана в реакциях оксо-имидного гетерометатезиса	Гетерогенного металлокомплексного катализа	к.х.н., с.н.с. Павел Александрович <b>Жижко</b>	Анастасия Викторовна <b>Солдатова</b> , аспирант 1-го года, <i>лаб. Гетероцепных полимеров</i>
3.	Марат Салаватович <b>Халиков</b> , аспирант 2-го года	Монтмориллонит как стимулятор роста и антидот для культурных растений	Физиологически активных фторорганических соединений	д.х.н., зав. лаб. Николай Дмитриевич <b>Чкаников</b>	Отсутствует
4.	Вероника Алексеевна <b>Фадеева</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Синтез и свойства замещенных трис(аминофенил)фосфиноксидов	Фосфорорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Татьяна Викторовна <b>Баулина</b>	Отсутствует
5.	Анастасия Сергеевна <b>Смирнова</b> , выпускник магистратуры РУДН 2026 г	Домино-реакции циклических амидинов и диэфира пропиоловой кислоты	$\pi$ -Комплексов переходных металлов	д.х.н., в.н.с. Дмитрий Александрович <b>Логинов</b> к.х.н., н.с. Александра Сергеевна <b>Антонова</b>	Отсутствует

10 апреля 2026 г. 12:00

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Андрей Кириллович <b>Ратников</b> , аспирант 2-го года	Получение полиорганосилоксанов с регулярным распределением функциональных групп с помощью реакции гидросилилирования	Кремнийорганических соединений	к.х.н., с.н.с. Максим Николаевич <b>Темников</b>	Маргарита Павловна <b>Тимеркаева</b> , аспирант 2-го года, <i>лаб. Гомолитических реакций элементоорганических соединений</i>
2.	Алексей Максимович <b>Мальшев</b> , выпускник магистратуры РХТУ 2026 г	Влияние звеньев акриловой кислоты на коллоидно-химические свойства терполимеров N-винил-2-пирролидона с олеиновой кислотой	Гетероцепных полимеров	д.х.н., зав. лаб. Ярослав Олегович <b>Межуев</b> , к.х.н., н.с. Олег Валерьевич <b>Баранов</b>	Отсутствует
3.	Илья Геннадьевич <b>Береговский</b> , выпускник магистратуры МФТИ 2026 г	Ферромагнитные полиимины на основе диацетилферроцена и фенилендиаминов	Гетероцепных полимеров	к.х.н., с.н.с. Раиса Алексеевна <b>Дворикова</b> д.х.н., зав. лаб. Ярослав Олегович <b>Межуев</b>	Отсутствует
4.	Павел Сергеевич <b>Кузьмин</b> , выпускник Сколтех 2026 г	Морфология оболочек полимерных и белково-полимерных микропузырей на основе поливинилового спирта и электростатического комплекса сывороточного альбумина и сополимера винилпирролидона и акриловой кислоты	Гетероцепных полимеров	д.х.н., зав. лаб. Ярослав Олегович <b>Межуев</b>	Отсутствует

10 апреля 2026 г. 15:00

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

№ п/п	Имя, отчество, фамилия, статус	Название доклада	Лаборатория/ Группа	Руководитель	Содокладчик
1.	Альберт Наилевич <b>Галиуллин</b> , аспирант 4-го года	Разработка новых полимерных материалов на основе перилендиимида и его производных в качестве электрон-транспортных слоев для перовскитных солнечных фотоэлементов			Отсутствует
2.	Степан Алексеевич <b>Хлопов</b> , аспирант 3-го года	Покрытия на основе амфифильных фторсодержащих сополимеров с перестраиваемыми полимерными матрицами	Физической химии полимеров	к.х.н., с.н.с. Анна Ивановна <b>Барabanова</b>	Дмитрий Максимович <b>Куандыков</b> , аспирант 2-го года, <i>лаб. Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений</i>
3.	Лада Владимировна <b>Баранникова</b> , аспирант 2-го года	Физико-химические свойства криогелей поливинилового спирта в зависимости от условий их инкубации в смесях H <sub>2</sub> O/ДМСО	Криохимии (био)полимеров	к.х.н., с.н.с. Ольга Юрьевна <b>Колосова</b>	Егор Александрович <b>Черезов</b> , аспирант 1-го года, <i>лаб. Эффективного катализа</i>
4.	Станислав Александрович <b>Николаев</b> , аспирант 1-го года	Синтез и применение в качестве носителей доксорубина пегилированного разветвленного полилактида модифицированного оксидом гадолиния	Гетероцепных полимеров	д.х.н., зав. лаб. Ярослав Олегович <b>Межуев</b> к.х.н., н.с. Олег Валерьевич <b>Баранов</b>	Александр Романович <b>Романенко</b> , аспирант 2-го года <i>лаб. Рентгеноструктурных исследований</i>
5.	Мария Алексеевна <b>Ковалева</b> , аспирант 2-го года	Азотсодержащие полифенилены	Стереохимии сорбционных процессов	д.х.н., в.н.с. Ирина Анатольевна <b>Хотина</b>	Александра Сергеевна <b>Бубнова</b> , аспирант 3-го года, <i>лаб. Экологической химии</i>

# *Тезисы докладов и содокладов*

*Секция*  
*«Химия элементоорганических*  
*соединений»*

## ФОТОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЯТИЧЛЕННЫХ МЕТАЛЛАЦИКЛОКУМУЛЕНОВ

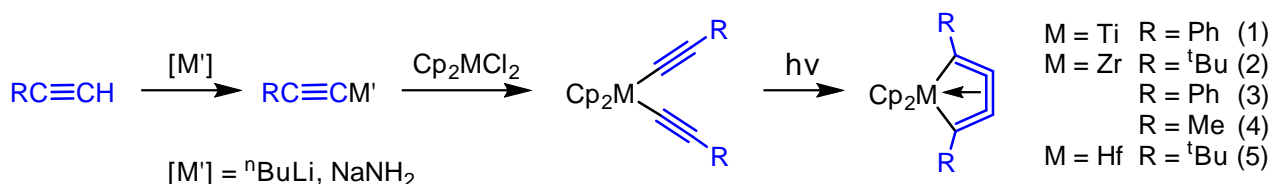
**ФРОЛОВ Михаил Алексеевич**

аспирант 4-го года обучения

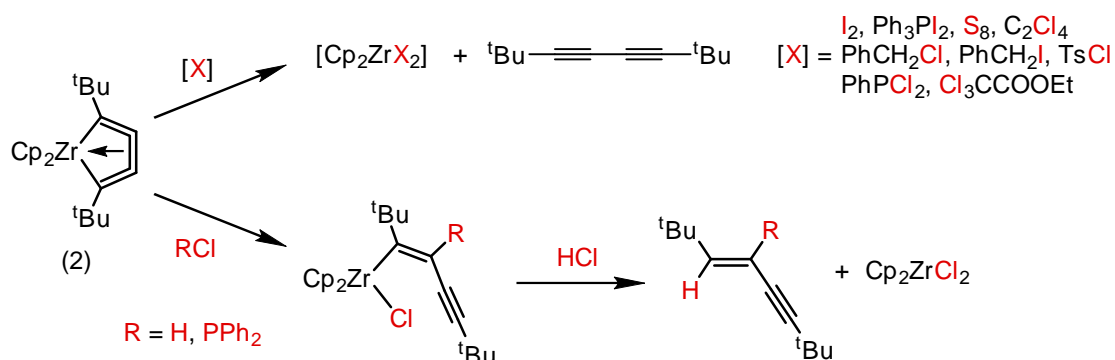
Лаборатория металлокомплексной активации малых молекул, №106

Одни из наиболее ярких представителей напряженных металлациклических систем — пятичленные металлациклокумулены 4 группы. Интерес к ним обусловлен необычным строением, а также нетривиальной реакционной способностью. Несмотря на внимание исследователей, методы получения этих комплексов, а также их химические свойства к настоящему моменту изучены лишь эпизодически.

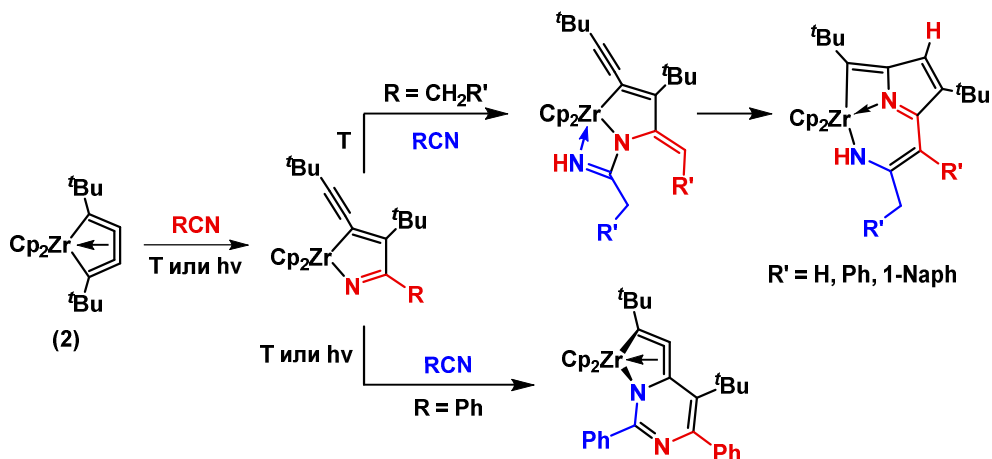
Большинство методов синтеза пятичленных металлациклокумуленов основано на взаимодействии активных форм металлоценов с дизамещенными диацетиленами. В рамках диссертационного исследования нами был разработан альтернативный фотохимический метод получения пятичленных металлациклокумуленов  $\text{Cp}_2\text{M}(\eta^4\text{-RC}_4\text{R})$ , исходя из  $\text{Cp}_2\text{MCl}_2$  и более доступных терминальных ацетиленов [1].



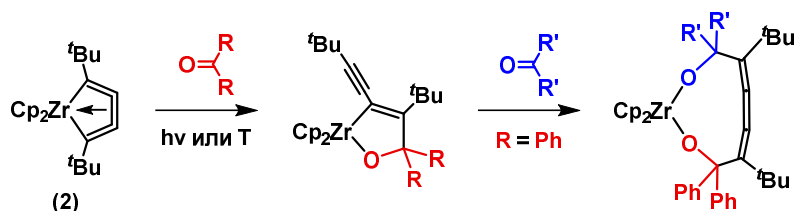
На следующем этапе диссертационного исследования были изучены взаимодействия пятичленных металлациклокумуленов с различными электрофилами. В случае комплекса 2 в большинстве исследованных случаев происходит восстановительное элиминирование ди-*tert*-бутилдиацетилена. Однако при взаимодействии с кислотами Брэнстеда и  $\text{Ph}_2\text{PCl}$  наблюдается иная реакционная способность, а именно: раскрытие кумуленового цикла с образованием продуктов, содержащих ениновый фрагмент [2, 3].



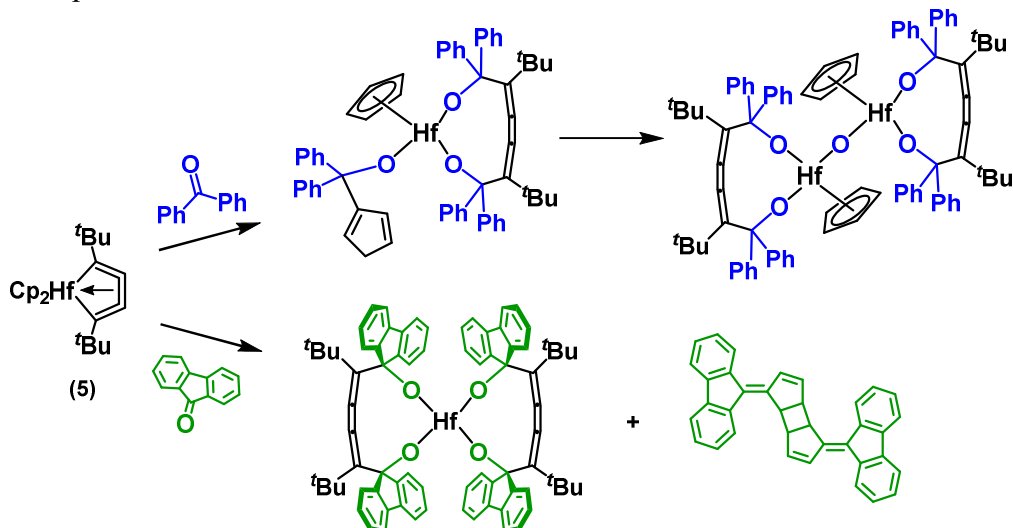
Взаимодействия металлациклокумуленов с нитрилами протекают с образованием металлазациклопентадиенов. Так, при их реакции с нитрилами происходит образование цирконоамидинатных металлациклов, способных изомеризоваться при нагревании в трициклические комплексы. Однако при фотохимическом воздействии удается остановить реакцию на стадии образования металлазациклопентадиена. В случае ароматических нитрилов происходит образование металлациклоалленовых комплексов, которые способны катализировать образование замещенного пиримидина.



Схожим образом различные кетоны способны внедряться по Zr–C связям металациклокумуленов с образованием на первом этапе цирконадигидрофуранов. Внедрение в металацикл второй молекулы кетона приводит к девятичленным диоксацирконациклокумуленам [1].



Необычный результат был получен в случае ди-*трет*-бутилгафнациклокумуленового комплекса 5. При его взаимодействии с бензофеноном или флуореноном, протекает нетривиальное для металлоценов 4 группы внедрение карбонила по связи Cr–Hf, нарушающее представление о циклопентадиениле, как о «лиганде-наблюдателе».



#### Список публикаций:

1. Organometallics, 2024, 43, 13, 1403–1410
2. Mendeleev Commun., 2023, 33, 6, 750–752
3. Mendeleev Commun., 2024, 34, 2, 188–191
4. INEOS OPEN, 2023, 6, 6, 163–166

**Автор:**

**Руководители:**

Фролов М.А.  
д.х.н. Бурлаков В.В.  
к.х.н. Андреев М.В.  
05.03.2026

# АРИЛЗАМЕЩЁННЫЕ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РОДИЯ

*ВАСИЛЬЕВ Кирилл Александрович*

аспирант 2-го года

лаборатория  $\pi$ -Комплексов переходных металлов, №102

В наши дни активация С-Н-связей представляет собой фундаментально важное направление органической химии, поскольку позволяет использовать С-Н-фрагменты в качестве доступных точек роста молекулы без предварительной функционализации. Такой подход существенно сокращает число синтетических стадий, повышает атомную экономичность процессов и открывает новые возможности по селективной модификации сложных органических молекул на поздних стадиях синтеза<sup>а</sup>. Особый интерес в настоящее время представляют асимметричные реакции С-Н активации, которые преимущественно катализируются комплексами родия с циклопентадиенильными (Ср) лигандами<sup>б</sup>. Однако большинство этих комплексов, не смотря на высокую каталитическую активность, требуют многостадийного синтеза, что тормозит развитие данного научного направления.

Ранее нашей научной группой были получены ахиральные фенил-замещенные циклопентадиенильные комплексы родия, которые превзошли по каталитической активности коммерчески доступный аналог  $[\text{Cp}^*\text{RhCl}_2]_2$ , показав, что введение фенильных заместителей положительно сказывается на активности комплексов<sup>в</sup>. Целью данной работы является синтез хиральных комплексов родия на основе асимметричных арил-циклопентадиенов (Схема 1а). Также в рамках исследования планировалось изучить влияние функциональных групп в арильных заместителях на химическое поведение соответствующих комплексов в ахиральном катализе. Для этого были разработаны простые подходы к созданию новых замещенных циклопентадиенов из доступных исходных соединений и последующий синтез соответствующих комплексов родия (Схема 1б).

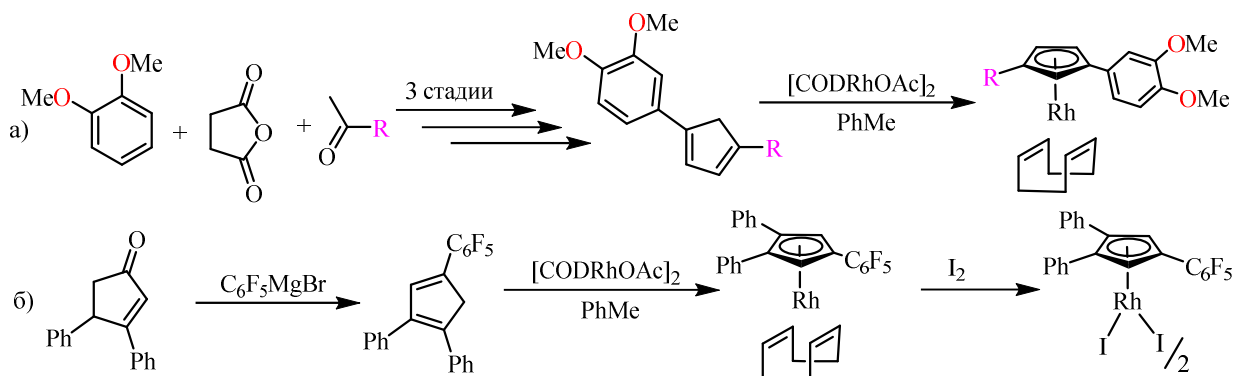


Схема 1. Синтез арилзамещённых циклопентадиенильных комплексов родия.

## Ссылки

- а) V.B. Kharitonov, O.G. Chusova, I.O. Bekshaite, K.A. Vasiliev, A.N. Rodionov, Y.V. Nelyubina, P.V. Dorovatovskii, D.A. Loginov, *Mendeleev Commun.*, 2025, 35, 602–605.  
 б) J. Mas-Roselló, A.G. Herraiz, B. Audic, A. Laverny, N. Cramer, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2021, 60, 13198–13224.  
 в) V.B. Kharitonov, D.V. Muratov, A.N. Rodionov, Y.V. Nelyubina, M.A. Navasardyan, M.S. Nechaev, D.A. Loginov, *Adv. Synth. Catal.*, 2024, 366, 4729–4736.

Автор:

Васильев К.А.

Руководитель:

Логинов Д.А.

05.03.2026

## ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РОДИЯ В КАТАЛИТИЧЕСКОЙ С-Н АКТИВАЦИИ

*МЕНЬШИКОВ-ТОНЯН Михаил Андреевич*

аспирант 3-го года обучения

1.4.3. «Органическая химия», 1.4.4. «Физическая химия»

*Содоклад к работе Васильева Кирилла Александровича*

Активация и последующая функционализация С-Н связей является одним из наиболее активно развивающихся направлений современной органической и металлоорганической химии [а]. Катализируемые переходными металлами реакции позволяют напрямую превращать инертные связи С-Н в новые связи С-С и С-Х (где Х - гетероатом), что значительно повышает атомную экономичность синтетических процессов и сокращает число стадий синтеза. Также, интерес представляет асимметрическая С-Н функционализация, позволяющая получать энантиомерно обогащённые соединения, которые широко применяются при синтезе природных веществ, фармацевтических соединений и других биологически активных молекул.

Циклопентадиенильные комплексы родия занимают важное место в металлокомплексном катализе и являются одними из наиболее активных катализаторов процессов С-Н активации [б]. Циклопентадиенильный лиганд (Ср) образует прочную связь с атомом родия, стабилизируя его в ходе каталитического цикла, что делает Ср-лиганд удобной платформой для конструирования катализаторов с заданными электронными и стерическими характеристиками.

Наиболее хорошо изучено применение циклопентадиенильных комплексов родия в реакциях аннелирования и окислительного сочетания, которые позволяют эффективно строить карбо- и гетероциклические структуры [в] (рис. 1). Такие каталитические процессы используются для синтеза индолов, изокумаринов, нафталинов и других циклических систем, являющихся структурными фрагментами природных соединений и фармацевтически активных молекул [г]. Благодаря сочетанию высокой селективности, устойчивости катализаторов и широкому диапазону катализируемых процессов С-Н функционализации, Ср-комплексы родия остаются одним из наиболее перспективных инструментов в разработке современных методов синтеза сложных органических молекул.

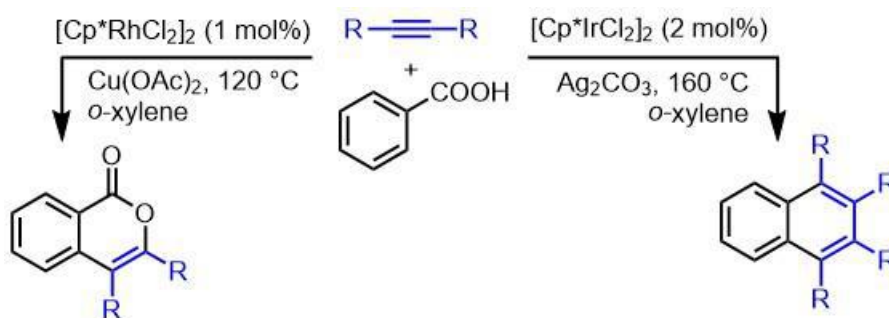


Рисунок.1. Пример синтеза нафталинов и изокумаринов путем Ср\*Rh/Ср\*Ir-катализируемого сочетания арилкарбоновых кислот и интернальных алкинов

**Список литературы:** а) Liu et al. Chem. Rev., 2023, 123, 10079–10134. б) Kharitonov et al. Coord. Chem. Rev., 2022, 471, 214744. в) Ueura et al. J. Org. Chem., 2007, 72, 5362–5367. г) Kharitonov et al. Adv. Synth. Catal., 2024, 4729–4736.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

**Меньшиков-Тонян М.А.**

**Васильев К.А.**

17.03.2026

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИРИДИЯ

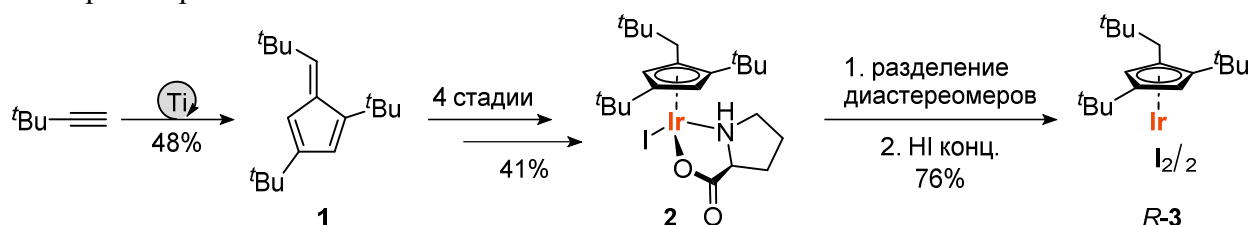
АЛЕКСЕЕВ Никита Валерьевич

аспирант 1-го года обучения

лаборатория **Металлоорганических соединений**, № 101

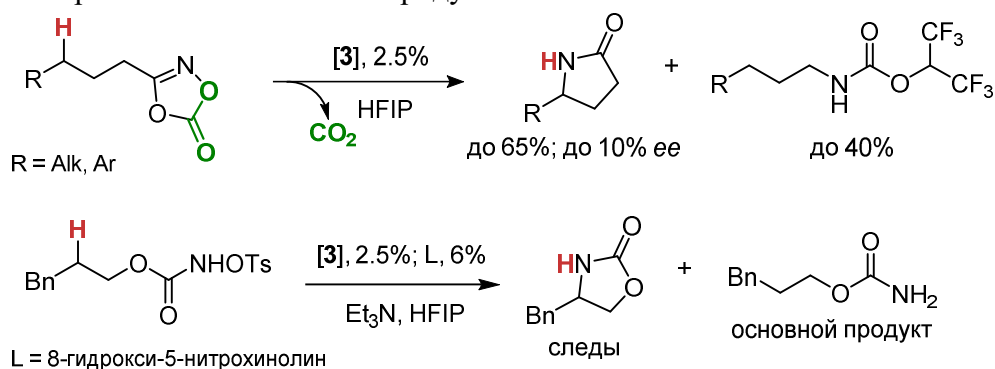
Циклопентадиенильные комплексы иридия широко применяются в функционализации малоактивных С-Н связей. Использование хиральных комплексов позволяет проводить такие реакции энантиоселективно. Цель нашей работы заключалась в исследовании каталитической активности планарно-хирального циклопентадиенильного комплекса иридия **3** в реакциях внедрения нитренов.

В начале тримеризацией *трет*-бутилацетилена мы получили фульвен **1**, из которого в 3 стадии был синтезирован рацемический комплекс **2**, который далее вводили в реакцию с L-пролином для получения диастереомерных комплексов **2** (Рис. 1). В данной работе мы обнаружили возможность разделять комплексы **2** хроматографически. После разделения и обработки концентрированной HI мы получили энантиомерно чистый планарно-хиральный комплекс **3**.



**Рис. 1.** Синтез хирального циклопентадиенильного комплекса иридия(III).

Далее была исследована каталитическая активность циклопентадиенильного комплекса **3** в различных реакциях внедрения нитренов. Комплекс показал умеренную каталитическую активность и низкую энантиоселективность (Рис. 2). Реакции внедрения осложнялись образованием побочных продуктов.



**Рис. 2.** Применение комплекса **3** в реакциях внедрения нитренов.

## Список публикаций:

1. Ankudinov N.M., Alekseev N.V., Podyacheva E.S., Chusov D.A., Lyssenko K.A., Perekalin D.S. *Chemical Science*, 2025, 16, 6298-6306.

Автор:

Алексеев Н.В.

Руководитель:

д.х.н. Перекалин Д.С.  
05.03.2026

## ПЛАНАРНО-ХИРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ РОДИЯ И ИРИДИЯ: ДИЗАЙН, СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ

**ВИХРОВ Антон Олегович**

аспирант 2-го года обучения

1.4.3. «Органическая химия»

Содоклад к работе Алексева Никиты Валерьевича

Создание новых хиральных лигандов, способных обеспечивать высокий стереоконтроль в реакциях, катализируемых переходными металлами, имеет решающее значение для современного органического синтеза. Всё чаще возникает потребность в получении биоактивных молекул в виде отдельных энантиомеров, и асимметрический катализ с использованием металлокомплексов представляет собой одну из наиболее эффективных стратегий синтеза оптически активных соединений.

В асимметричном катализе широко применяются хиральные циклопентадиенильные ( $\text{Cp}^X$ ) комплексы переходных металлов. В частности, планарно-хиральные комплексы родия и иридия зарекомендовали себя в реакциях функционализации C-H связей благодаря высокой реакционной способности, а также возможности контролировать селективность реакции путём модификации  $\text{Cp}^X$  лиганда.

Существует два основных подхода к синтезу планарно-хиральных комплексов: синтез прохирального или хирального циклопентадиена с последующей координацией к металлу или сборка циклопентадиенильного лиганда непосредственно в координационной сфере металла. В настоящее время остаётся значительной проблемой получение энантиомерно чистых форм комплексов. Разделение изомеров, образующихся в случае неселективной координации металла к плоскому циклопентадиенильному лиганду, требует применения вспомогательных хиральных реагентов или использования хиральной ВЭЖХ (Схема 1).

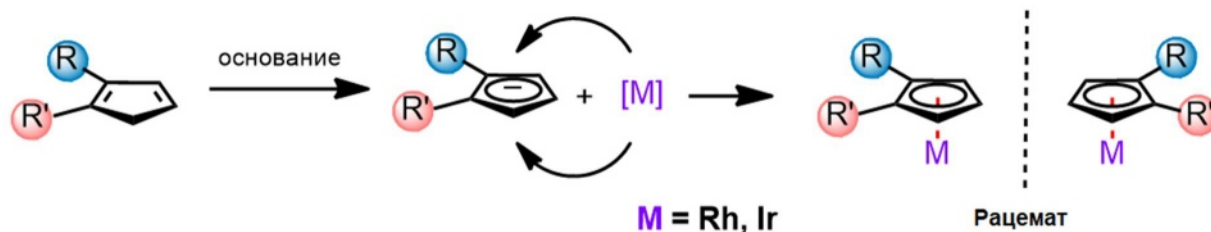


Схема 1. Синтез планарно-хиральных комплексов

### Список литературы:

- J. Mas-Roselló, A. G. Herraiz, B. Audic, A. Laverny and N. Cramer, *Angew. Chem.*, 2021, 133(24), 13306-13332.
- Y. Zou, W. Guo and J. Wang, *Chin. J. Org. Chem.*, 2025, 45(2), 466-476.
- A. V. Kolos, Y. V. Nelyubina, E. S. Podyacheva, and D. S. Perekalin, *Dalton Trans.*, 2023, 52(45), 17005-17010.

Автор:

/Вихров А.О./ 19.03.2025

Основной докладчик:

/Алексеев Н.В./ 19.03.2025

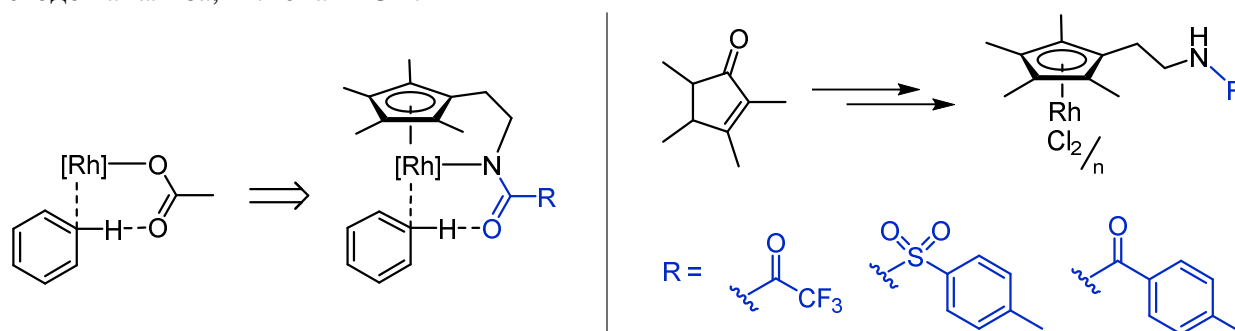
## СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РОДИЯ С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КООРДИНИРУЮЩЕЙ ГРУППОЙ

*ПЕТРУШИНА Татьяна Новрузовна*

аспирант 2-го года обучения

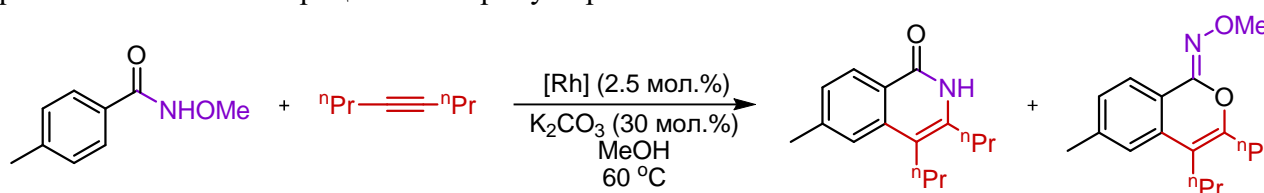
лаборатория **Металлоорганических соединений, № 101**

Циклопентадиенильные комплексы родия широко используются в качестве катализаторов реакций СН-активации. В этом процессе помимо металла, как правило, требуется присутствие карбоксилат-аниона, который выступает в роли акцептора протона. Мы предположили, что вместо карбоксилат-аниона в качестве такого акцептора можно использовать амидный заместитель в циклопентадиенильном лиганде. Для проверки данной гипотезы, мы синтезировали три новых комплекса родия с амидной группой разной кислотности в 4 стадии из коммерчески доступного тетраметил-циклопентенона (Рисунок 1). Полученные комплексы были охарактеризованы с помощью различных физико-химических методов анализа, включая РСА.



**Рисунок 1.** Синтез новых циклопентадиенильных комплексов родия.

Затем мы протестировали их каталитическую активность в реакции СН-активации N-метоксибензамида с 4-октином (Схема 1), и выяснили, что в данных условиях помимо ожидаемого изохинолона образуется изохромен-оксим, что не было ранее подробно описано в литературе. Путём изменения растворителя можно добиться полного смещения региоселективности процесса в сторону образования изохинолона.



**Схема 1.** СН-активации N-метоксибензамида, катализируемая полученными комплексами.

### Список литературы

[1] T.N. Petrushina, A.N. Rodionov, Y.V. Nelyubina, D.S. Perekalin J. Organomet. Chem., 2025, 1029, 123554.

Автор: \_\_\_\_\_ /Петрушина Т.Н./

Руководитель: \_\_\_\_\_ /д.х.н., зав. лаб. Перекалин Д.С./

05.03.2026

## РАЗНООБРАЗИЕ ПОДХОДОВ К СИНТЕЗУ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ РОДИЯ

*ХЛОПОВ Степан Алексеевич*  
аспирант 3-го года обучения

1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

Содоклад к работе Петрушиной Татьяны Новрузовны

Циклопентадиенильные комплексы родия(III) активно применяются в качестве катализаторов в реакции СН-активации. Варьированием заместителей в лиганде можно добиться высокой эффективности в различных превращениях. Для синтеза таких комплексов разработано несколько подходов.

Классическим методом считается нагревание хлорида родия с избытком циклопентадиена в этаноле (схема 1а) [1]. Метод эффективен для полизамещённых циклопентадиенов, но практически неприменим для получения комплексов с Ср-лигандами с малым количеством заместителей, а необходимость избытка лиганда нецелесообразна в случае труднодоступных хиральных соединений. Альтернативный подход – реакция диенового комплекса [(cod)RhCl]<sub>2</sub> с циклопентадиенидными солями щелочных металлов или таллия (схема 1б). Данный метод, напротив, позволяет получать комплексы с мало- и незамещёнными Ср-лигандами, однако образующийся комплекс Rh(I) требует последующего окисления до Rh(III). Кроме того, высокая основность литиевых производных может вызывать побочные реакции, а применение токсичных солей таллия сопряжено с экологическими и операционными ограничениями [1].

В методе, предложенном группой Н. Крамера (схема 1в), используется ацетатный комплекс [(cod)RhOAc]<sub>2</sub>, который реагирует со свободными циклопентадиенами в мягких условиях. Этот метод является наиболее универсальным из приведённых, однако даёт низкие выходы для стерически перегруженных лигандов [2]. Также этой группой был представлен способ синтеза циклопентадиенильных комплексов из фульвенов по реакции с [(cod)RhOAc]<sub>2</sub> в присутствии различных нуклеофилов (схема 1г). Метод позволяет получать широкий ряд комплексов с монозамещёнными Ср-лигандами, однако его применение ограничено природой нуклеофила: вторичные и третичные спирты дают низкие выходы [3].

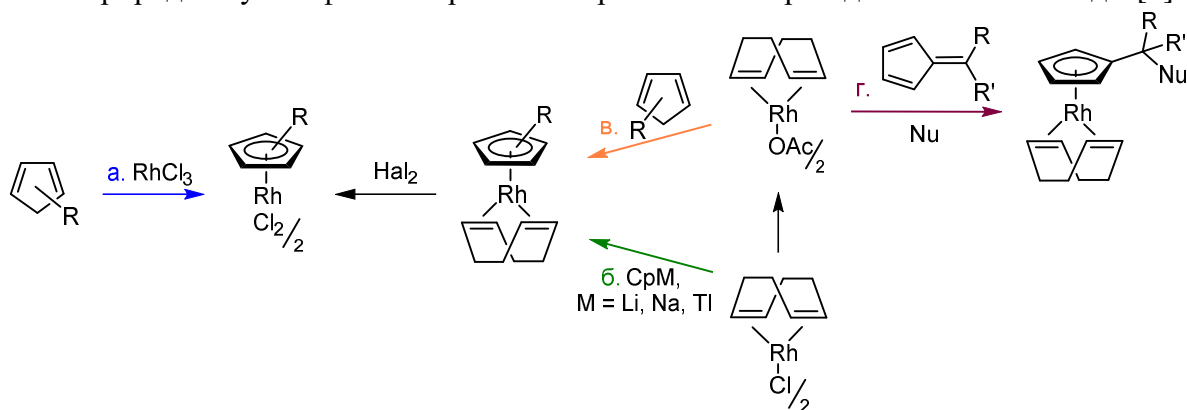


Схема 1. Способы получения циклопентадиенильных комплексов родия.

### Список литературы:

1. Kolos A. V., Perekalin D. S. *Mendeleev Commun.*, 2021, 31, 1–7.
2. Audic B., Wodrich M. D., Cramer N. *Chem. Sci.*, 2019, 10, 781–787.
3. Laverny A., Cramer N. *Organometallics* 2020, 39, 4444–4456.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

Хлопов С.А.

Петрушина Т.Н.

19.03.2026

# МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДИЗАЙН, РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ И СВОЙСТВА КЛАТРОХЕЛАТОВ ЖЕЛЕЗА И РУТЕНИЯ(II)

*МОСОВ Данила Олегович*

аспирант 1-го года обучения

лаборатория Аليفатических борорганических соединений, №127

Разработка молекулярного дизайна, получение и исследование реакционной способности клатрохелатов d-металлов открывает новые возможности для функционализации клеточных комплексов металлов. Полученный селективно по реакции нуклеофильного замещения гексахлороклатрохелата  $\text{Fe}(\text{Cl}_2\text{Gm})_3(\text{BPh})_2$  анионным производным орто-фенилендиамина в качестве нуклеофила в присутствии органического основания, комплекс  $\text{Fe}(\text{Cl}_2\text{Gm})_2(\text{H}_2\text{QnGm})(\text{BPh})_2$  окисляется под действием  $\text{PbO}_2$  до клатрохелата  $\text{Fe}(\text{Cl}_2\text{Gm})_2(\text{QnGm})(\text{BPh})_2$  с хиноксалиновым реберным фрагментов в своем составе, который является реакционноспособным тетрахлоросодержащим предшественником, способным под действием S- и N-нуклеофильных агентов, образовывать ранее синтетически недоступные гексаамин- $\text{Fe}((\text{BuNH})_2\text{Gm})_2(\text{QnGm})(\text{BPh})_2$  и серазамещенные  $\text{Fe}((\text{BuS})_2\text{Gm})_2(6,7-(\text{BuS})_2\text{QnGm})(\text{BPh})_2$  комплексы, молекулярная структура которых представлена на рис. 1.

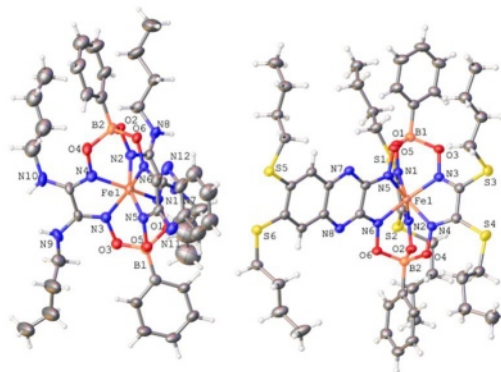


Рис. 1. Молекулярные структуры гексазамещенных клатрохелатов, установленные с помощью РСА.

Предложенный подход к получению реакционноспособных гексахлороклатрохелатов рутения(II) [1] привел (схема 1) к селективному получению функционализированных диаминоклатрохелатов рутения(II) с терминальными полиароматическими и гидроксигруппами для его дальнейшей иммобилизации на углеродсодержащие и оксидные материалы, соответственно, как потенциального электро(пре)катализатора.

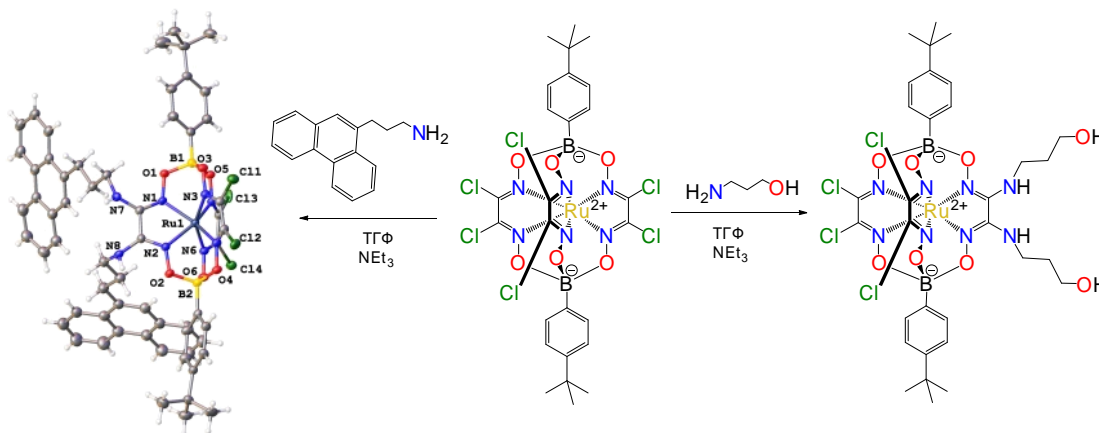


Схема 1. Получение диаминофункционализированного клатрохелата рутения(II).

[1] Voloshin, Y. Z., Chuprin, A. S., Mosov, D. O et al., Dalton transactions, 2026, 55(4), 1765–1780.

Автор:

Руководитель:

м.н.с. Д. О. Мосов

к.х.н., с.н.с. А. С. Чуприн

04.03.2026

ТРИС-ДИОКСИМАТНЫЕ КЛАТРОХЕЛАТЫ ЖЕЛЕЗА И РУТЕНИЯ(II):  
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ И ИХ СВОЙСТВА

**ОЛЬБРЫХ** Арина Павловна

аспирант 1-го года обучения

1.4.8 Химия элементоорганических соединений, 1.4.4. Физическая химия

Содоклад к работе Мосова Даниила Олеговича

Трис-диоксиматные клатрохелаты – клеточные комплексы, содержащие в полости макробициклической клетки изолированный от внешних факторов ион металла. Их функционализацию проводят как в апикальные, так и в реберные положения с использованием хорошо известных органических реакций и доступных коммерческих реагентов. Синтез клатрохелатов обычно осуществляют через конденсацию  $\alpha$ -диоксима с бороновой кислотой при использовании соли соответствующего металла как матрицы. Различные функциональные заместители вводят в реберные фрагменты клатрохелата путем N, O, S, P, C-нуклеофильного или радикального замещения атомов галогена гексахлороклатрохелатного предшественника. (Схема 1).

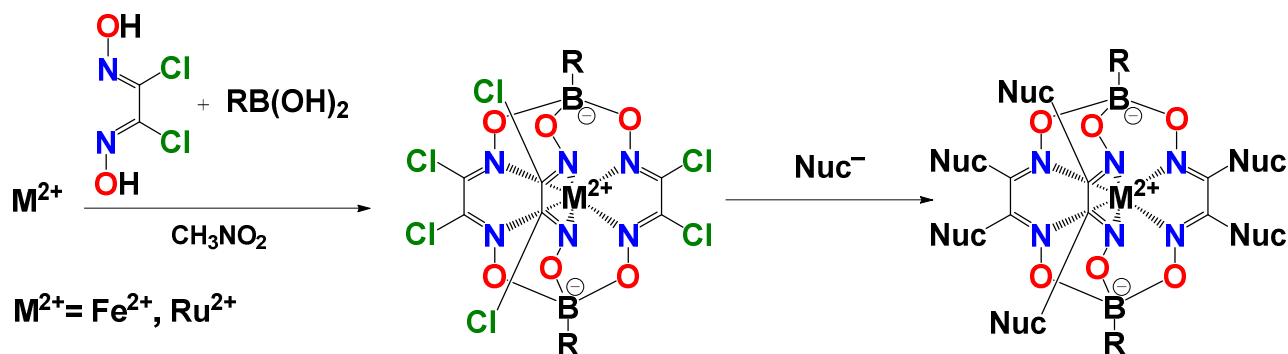


Схема 1. Получение клатрохелатов и их функционализация

Подобные комплексы рассматриваются как перспективные системы для применения в качестве электро(пре)катализаторов в процессах получения водорода и окислительной конверсии метана в синтез-газ. Клатрохелаты железа и рутения(II), адсорбированные на углеродных носителях с большой площадью поверхности, таких как активированный уголь и восстановленный оксид графена, являются эффективными электро(пре)катализаторами реакции выделения водорода в электролизерах воды. Химически устойчивые клатрохелаты, функционализированные концевыми биологически релевантными или таргетными группами, также представляют собой перспективную платформу для разработки противоопухолевых лекарственных кандидатов.

Список литературы:

а) Y. Z. Voloshin, V. V. Novikov, Y. V. Nelyubina, RSC Adv., 2015, 5, 72621. б) A. S. Chuprin, Russ. Chem. Bull. 2024, 73, 3176-3189. в) Y. Z. Voloshin, V. M. Buznik, A. G. Dedov, Pure Appl. Chem. 2020; 92, 1159–1174, г) Y. Z. Voloshin, Chem Asian J. 2025, 20, e01842

**Автор:**

**Основной докладчик:**

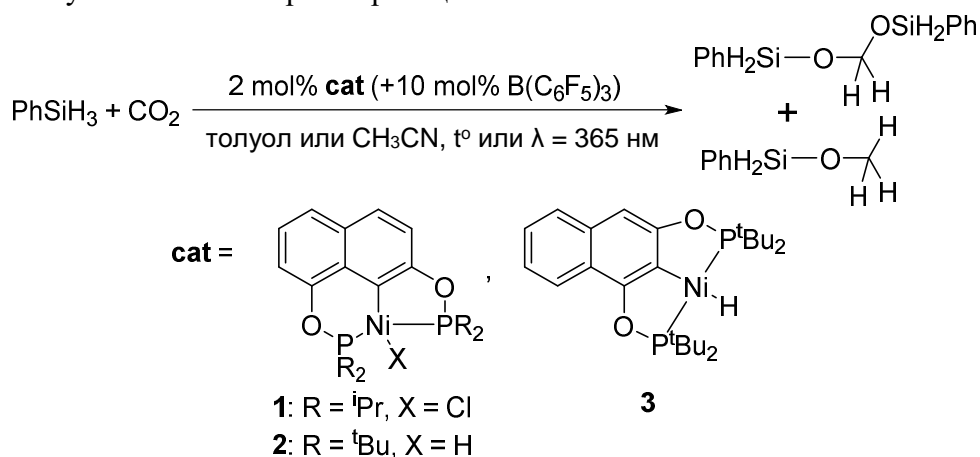
(Ольбрых А.П.), 19.03.2025

(Мосов Д.О.), 19.03.2025

# ГИДРИДНОСТЬ ПИНЦЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИКЕЛЯ И ИХ КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ В РЕАКЦИЯХ ВОССТАНОВЛЕНИЯ С=О СВЯЗЕЙ

*КУЛИКОВА Василиса Андреевна*  
аспирант 2-го года обучения  
лаборатория Гидридов металлов, №119

В связи с риском глобального потепления и климатическими изменениями актуальной является проблема улавливания и хранения CO<sub>2</sub> методами, которые позволяют не только уменьшить выброс газа в атмосферу, но и синтезировать в ходе утилизации полезные продукты. Так, в ходе электрохимического восстановления, гидрирования или гидрофункционализации (гидроборирования, гидросилилирования) возможно получение муравьиной кислоты, метана и/или метанола. Важными интермедиатами подобных каталитических процессов являются гидридные комплексы металлов. В связи с этим целью данной работы являлось исследование возможности фотоактивации связи М-Н гидридных комплексов никеля с пинцетными лигандами на основе нафталина, а также исследование каталитической активности гидридных и хлоридных комплексов в реакциях гидросилилирования С=О связей. Для оценки кинетической гидридности исследуемых комплексов была исследована кинетика их взаимодействия с трис(*n*-метоксифенил)метил катионом [(4-МеО-С<sub>6</sub>Н<sub>4</sub>)<sub>3</sub>С]<sup>+</sup>ВF<sub>4</sub><sup>-</sup> в обычных условиях и при облучении УФ-излучением (λ = 365 нм). Каталитическая активность комплексов была изучена на примере реакций гидросилилирования СО<sub>2</sub> (Рис. 1) и бензальдегида фенилсиланами (PhSiH<sub>3</sub> и Ph<sub>2</sub>SiH<sub>2</sub>). Показано, что добавление в реакцию систему кислоты Льюиса В(С<sub>6</sub>Ф<sub>5</sub>)<sub>3</sub> в качестве сокатализатора позволяет не только увеличить скорость реакции, но и проводить их при комнатной температуре. В ходе оптимизации условий реакции гидросилилирования СО<sub>2</sub> фенилсиланом удалось достичь его полной конверсии за 3 часа при использовании 2 мольн.% комплекса 1 и 10 мольн.% В(С<sub>6</sub>Ф<sub>5</sub>)<sub>3</sub> при облучении. Вопреки ожиданиям, замена малополярного растворителя (толуола) более полярным (СН<sub>3</sub>СН) в данной реакции приводит к значительному снижению скорости реакции.



**Рисунок 1.** Гидросилилирование СО<sub>2</sub> фенилсиланом, катализируемое хлоридным и гидридными комплексами никеля с пинцетными лигандами на основе нафталина

Список публикаций:

- [1] Kirkina V. A., et al., *Inorganics*, 2023, 11, 212.
- [2] Kulikova V.A. et al., *Russ. J. of Inorg. Chem.*, 2023, 68, 1200-1208.
- [3] Kagilev A. A. et al., *J. of Electroanal. Chem.*, 2024, 956, 118084.
- [4] Mikhailov I. K. et al., *Appl. Magn. Reson.*, 2024, 55, 1323-1333.
- [5] Gafurov Z. N. et al., *Inorg. Chim. Acta*, 2025, 578, 122522.

**Автор:**

**Руководитель:**

/Куликова В.А.

/Белкова Н.В.

/Шубина Е.С., 05.03.26

# СИНТЕЗ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОЯДЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕДИ (I) И СЕРЕБРА (I) С ПРОИЗВОДНЫМИ ПИРАЗОЛИЛ-ПИРИДИНА И ФОСФИНОВЫМИ ЛИГАНДАМИ

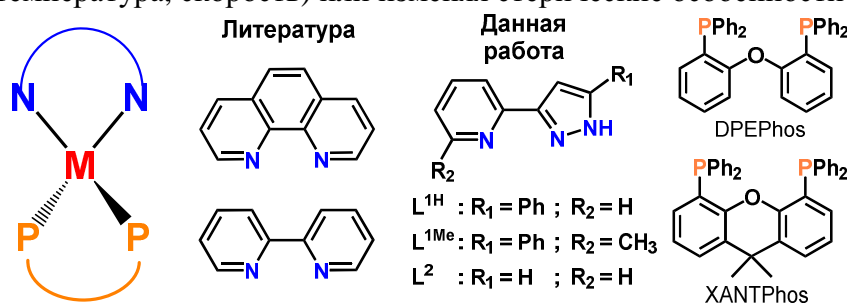
*ЯКОВЛЕВ Глеб Борисович*

аспирант 1-го года обучения

лаборатория Гидридов металлов, №119

Моноядерные комплексы металлов 11 группы с производными 2,2'-бипиридина (NN) и вспомогательными бисфосфиновыми (PP) лигандами являются популярными объектами с точки зрения фотофизических свойств для создания материалов оптоэлектроники (схема 1). Ранее в работах нашей лаборатории было показано, что замена традиционного 2,2'-бипиридинового лиганда на производные 2-(пиразол-5-ил)-пиридина в качестве NN лигандов, позволяет существенно улучшить люминесцентные характеристики комплексов на их основе. Помимо повышения эффективности эмиссии, использование пиразольных производных значительно упрощает синтез и открывает широкие возможности для структурной модификации NN-лиганда, что труднодостижимо для классических аналогов 2,2'-бипиридина.

В настоящей работе впервые получены моноядерные комплексы серебра(I) состава  $[Ag(NN)(PP)]$  с производными 2-(пиразол-5-ил)-пиридина ( $L^{1H}$ ,  $L^{1Me}$ ,  $L^2$ ) и хелатирующими бисфосфинами (DPEPhos, XANTPhos). Оптимизирована методика их синтеза и выделения. Показано, что использование ионов серебра(I) позволяет активировать фосфоресценцию лигандцентрированного характера ( $^3LC$ ) в синей области спектра (430-490 нм). Установлено, что на наблюдаемые эмиссионные свойства существенное влияние оказывает не только природа NN лиганда и иона металла, но и нековалентные взаимодействия. Комплекс Ag(I) на основе фенил-содержащего лиганда  $L^{1H}$  и DPEPhos в кристаллическом состоянии способен образовывать прочные межмолекулярные  $\pi$ -стекинговые взаимодействия, что приводит к смене типа эмиссии: с  $^3LC$  в синей области спектра на эксиплексную в жёлтой области спектра (540 нм.). Подобным поведением можно управлять, варьируя условия кристаллизации (растворитель, температура, скорость) или изменяя стерические особенности лигандов. [1]



**Схема 1.** Общее строение моноядерных  $[M(NN)(PP)]$  комплексов и объекты исследования

Список публикаций:

1. G.B. Yakovlev, A.F. Smol'yakov, O.A. Filippov, A.A. Titov, E.S. Shubina, Mendeleev Commun., 2025, 35, 661–663

Автор:

(м.н.с., Яковлев Г.Б.)

Руководители:

(д.х.н., в.н.с. Титов А.А.)

(д.х.н., в.н.с. Филиппов О.А.)

05.03.2026

## МОНОЯДЕРНЫЕ ГЕТЕРОЛЕПТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ МЕТАЛЛОВ 11 ГРУППЫ НА ОСНОВЕ АНАЛОГОВ 2,2'-БИПИРИДИНА И БИСФОСФИНОВ

**БУГЕРЯ** Алексей Александрович

аспирант 2-го года обучения

1.4.7 Высокмолекулярные соединения

Содоклад к работе Яковлева Глеба Борисовича

Одним из бурно развивающихся направлений современной науки является изучение фотофизических свойств координационных соединений, что обусловлено их практическим применением в LED технологиях. Основная задача подобных исследований – поиск соединений, обладающих высоким квантовым выходом, легко настраиваемой эмиссией, а также простым и доступным синтезом, позволяющим удешевить производство LED.

Моноядерные билигандные комплексы металлов 11 группы на основе хелатирующих производных 2,2-бипиридина ( $N^N$  лигандов) и бисфосфинов ( $P^P$  лигандов) на сегодняшний день являются одними из наиболее перспективных для создания LED. Также они находят своё применение в фотокатализе. Преимуществом комплексов данного типа является их простой и доступный синтез с использованием относительно недорогих ионов меди (I) и серебра (I). Комплексы металлов 11 группы проявляют как фосфоресценцию, так и термически активированную замедленную флуоресценцию (TADF), что открывает возможность использовать в эмиссии всю подводимую энергию возбуждения [а, б].

Не так давно было предложено использовать в качестве  $N^N$  лигандов структурные аналоги – производные 2-(пиразол-5-ил)-пиридина [в, г]. Преимуществом пиразол содержащих лигандов является их простой синтез и модификация заместителями различной природы, что позволяет с помощью  $N^N$  лиганда управлять эмиссией комплексов.

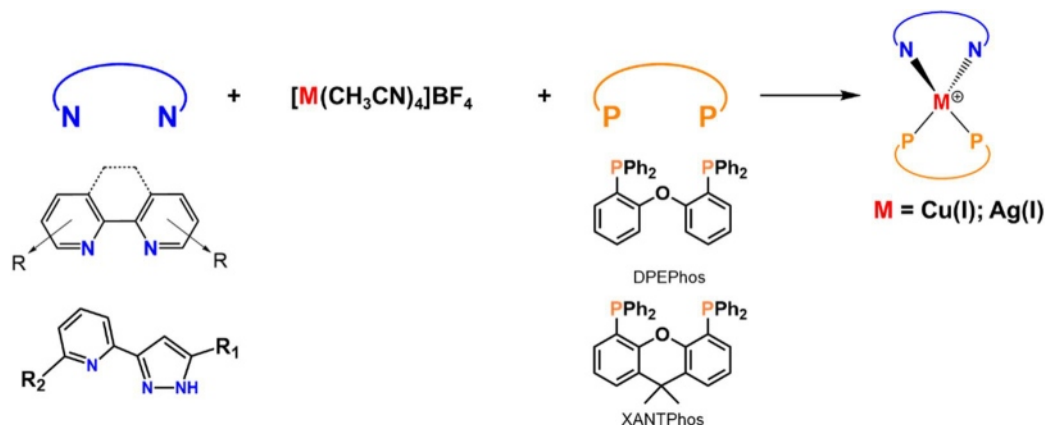


Схема 1. Синтез и строение комплексов  $[M(N^N)(P^P)]$  типа.

### Список литературы:

- J. Beaudelot, S. Oger, S. Peruško et al., Chem. Rev. 2022, 122, 22, 16365–16609
- Housecroft C.E., Constable E.C., J. Mater. Chem. C., 2022, V.10, pp. 4456-4482.
- Baranova K.F., Titov A.A., Smolyakov A.F. et al., Molecules, 2021, V. 26, pp. 6869-6885.
- Huang C.H., Yang M., Chen X.L., Lu C.Z. Dalton Trans, 2021, V. 50, pp. 5171-5176.

**Автор**

**Основной докладчик**

**Бугеря А.А.**

**Яковлев Г.Б.**

19 марта 2026 г.

## КОМПЛЕКСЫ ЛАНТАНОИДОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ БИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОПТОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*ГОГОЛЕВ Илья Александрович*

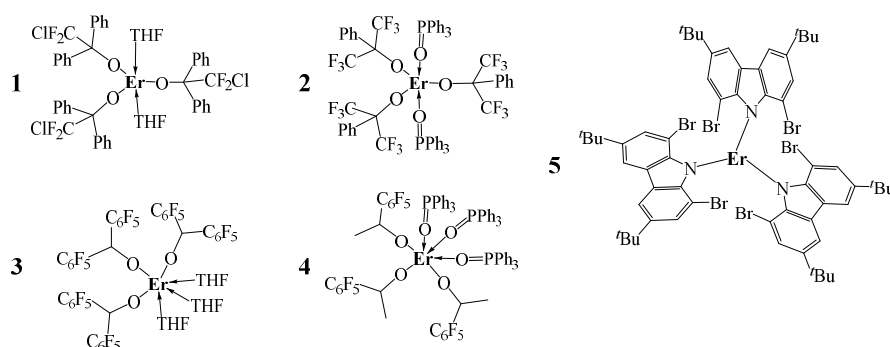
аспирант 4-го года обучения

лаборатория **Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений**, №136

В связи с высокими темпами миниатюризации электронных устройств всё больший интерес исследователей привлекают магнитные материалы, свойства которых определяются не коллективным поведением макроскопических доменов, а электронным строением отдельных молекул или ионов (Single-Molecule Magnets, SMM). Наибольшими перспективами в этом отношении обладают комплексы редкоземельных элементов – соединения на основе лантаноидов проявили способность сохранять намагниченность при температурах выше точки кипения жидкого азота в течение длительного времени. Сочетание SMM-свойств с уникальными люминесцентными характеристиками комплексов лантаноидов (высоким стоксовым сдвигом, большими временами жизни флуоресценции, независимостью положения максимумов испускания от лигандного окружения) потенциально позволит создавать бифункциональные материалы для спинтроники и квантовых вычислений.

Целью нашей работы стало изучение влияния лигандов на геометрию, магнитные и люминесцентные свойства комплексов редкоземельных металлов. В качестве изучаемых систем были выбраны комплексы на основе «сплюснутых» (по модели Райнхарта-Лонга)  $Tb^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$  и  $Ho^{3+}$ , а также «вытянутого»  $Er^{3+}$ . Соответственно, оптимальной геометрией с точки зрения SMM-свойств для первых трёх является октаэдрическая или пентагонально-бипирамидальная, а для последнего – тригональная или тригонально-бипирамидальная.

Протонолизом трис-алкильных комплексов  $Er(CH_2SiMe_3)_3(THF)_2$  соответствующими спиртами были получены соединения 1-5 (Рис. 1). Геометрия отличается в зависимости от стерической загруженности лиганда: в частности, степени разветвлённости при карбинольном атоме углерода: в случае с четвертичным атомом комплексы обладают несколько искажённой тригонально-пирамидальной геометрией, в случае с третичным атомом геометрия становится фас-октаэдрической.



**Рисунок 1.**

Комплекс 1 проявляет SMM-свойства только в приложенном магнитном поле, исключая возможность квантового туннелирования намагниченности. Комплекс 2, содержащий более «сильные» ТРПО лиганды в аксиальных позициях, свойств SMM не проявляет. Слабые взаимодействия атомов брома с ионом эрбия приводят к довольно редкой тригональной геометрии в комплексе 5, вследствие чего он проявляет свойства истинного SMM с барьером перемагничивания до  $24 \text{ cm}^{-1}$ .

Ранее в нашей лаборатории был получен люминесцентный SMM  $trans-[Dy(OCPh_3)_2(THF)_4][BPh_4]$  с высоким барьером перемагничивания ( $1385 \text{ cm}^{-1}$ ) и необычным батохромным сдвигом  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$  полосы испускания диспрозия (с 575 до 588 нм). В данной работе было показано, что при со-кристаллизации комплекса с лутидином или

бипиридином происходит изменение конфигурации: структура становится *cis*-октаэдрической. Это приводит к драматическому падению барьера перемагничивания и исчезновению батохромного сдвига  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^6H_{13/2}$  полосы испускания, в то же время сама эффективность переноса энергии с лиганда на металл не изменяется. Аналогичный эффект был показан при переходе от тригонально-бипирамидального комплекса  $Dy(OCPh_3)_3(THF)_2$  к *fac*-октаэдрическому  $Dy(OCPh_3)_3(Py)_3$ .

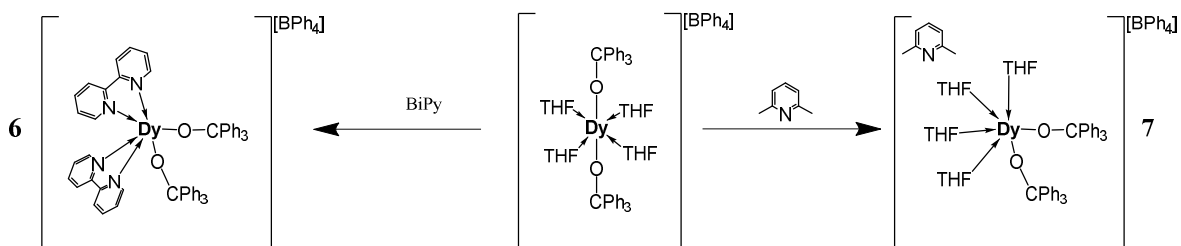


Рисунок 2.

Был синтезирован ряд катионных бис(алкоксидных) комплексов 8-19 с различными фторированными лигандами. Вне зависимости от иона металла, стерического объёма лиганда и степени его фторированности, комплексы представляют собой разделенную ионную пару, состоящую из *cis*-октаэдрического катиона  $[Ln(OR)_2(THF)_4]^+$ , и аниона  $[BPh_4]^-$ .

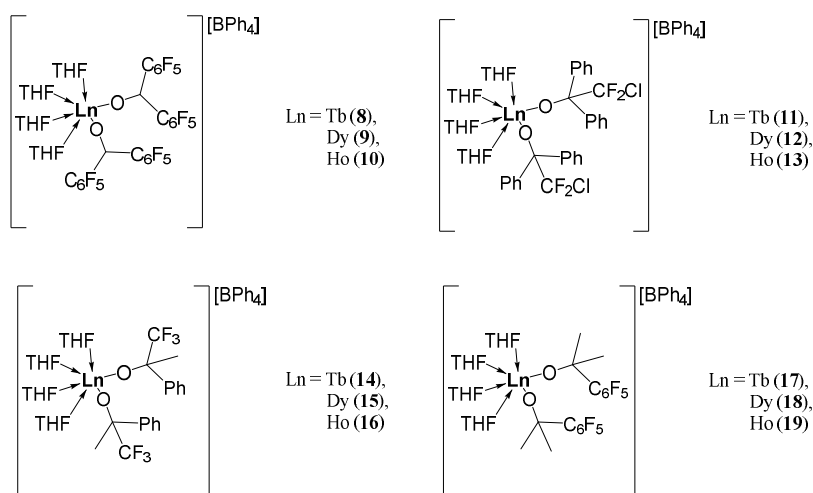


Рисунок 3.

При комнатной температуре бис(пентафторфенил)карбинол и бис(фенил)дифторхлоркарбинол являются эффективными антеннами для иона тербия (8 и 11), однако при охлаждении до 77 К в спектре появляется заметный вклад люминесценции лиганда, что приводит к общему изменению цвета люминесценции и обуславливает возможность использования комплексов в качестве люминесцентных термометров.

## Список литературы:

1. Long, J., Lyubov, D. M., Kissel, A. A., Gogolev, I. A., Tyutyunov, A. A., Nelyubina, Y. V., Salles, F., Guari, Y., Cherkasov, A. V., Larionova, J. & Trifonov, A. A. CrystEngComm, 2022, 24, 6953-6963.
2. Gogolev, I. A., Kissel, A. A., Nelyubina, Yu. V., Tyutyunov, A. A. & Trifonov, A. A. INEOS OPEN, 2023, 6, 5-9.
3. Félix, G., Tolpygin, A. O., Larquey, A., Gogolev, I. A., Nelyubina, Y. V., Guari, Y., ... & Trifonov, A. A. Molecules, 2024, 29, 5343.

Автор:  
Руководитель:

Гоголев И.А.  
Трифонов А.А.

04.03.2026

# БИС(АМИНОБЕНЗИЛЬНЫЕ) КОМПЛЕКСЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С N,N,O-ГЕТЕРОСКОРПИОНАТНЫМИ ЛИГАНДАМИ В КАТАЛИТИЧЕСКОМ ДЕГИДРОКАПЛИНГЕ ГИДРОСИЛАНОВ С АМИНАМИ

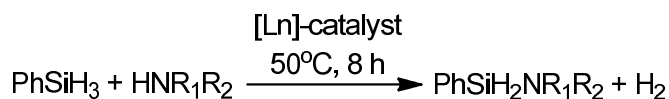
*БАБКИН Александр Игоревич*

аспирант 3-го года обучения

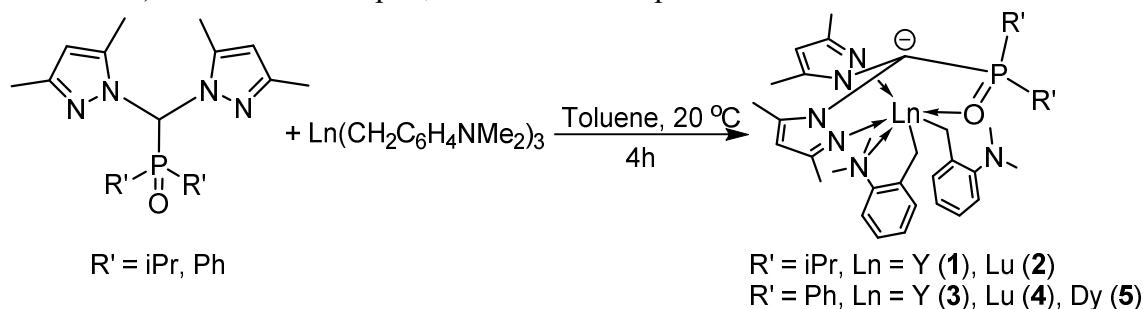
лаборатория **Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений, №136**

Алкильные производные редкоземельных элементов зарекомендовали себя в качестве эффективных катализаторов широкого круга превращений, включая реакции полимеризации и гидрофункционализации олефинов и диенов, активации связи С-Н, а также межмолекулярное дегидросочетание гидросиланов с аренами и аминами. В то же время бис(алкильные) комплексы лантаноидов, содержащие  $-\text{CH}_2\text{SiMe}_3$ -группы в качестве уходящих лигандов, зачастую обладают слабой термической стабильностью, что усложняет их использование в реакциях, требующих высоких температур. В этой связи разработка новых каталитических систем на основе алкильных производных редкоземельных элементов представляет собой актуальную задачу.

Целью работы является получение новых бис(аминобензильных) комплексов редкоземельных элементов, стабилизированных N,N,O-гетероскорпионатными лигандами, изучение их строения, стабильности и каталитической активности в реакции дегидросочетания силанов с аминами, которая является эффективным, экологичным и атом-экономным методом получения кремнийорганических соединений, нашедших применение в различных сферах человеческой деятельности, включая электротехнику, приборостроение, медицину и пищевую промышленность.



Полученные ранее  $\text{Pz}^{(\text{CH}_3)_2}_2\text{CP}(\text{O})\text{iPr}_2$  и  $\text{Pz}^{(\text{CH}_3)_2}_2\text{CP}(\text{O})\text{Ph}_2$  ( $\text{Pz}^{(\text{CH}_3)_2}$  – 3,5-диметилпиразол) были успешно использованы в качестве лигандного окружения для синтеза бис(толуидиновых) комплексов иттрия, лютеция и диспрозия.



Полученные бис(аминобензильные) производные 1-5 продемонстрировали активность в катализе реакции дегидросочетания гидросиланов с аминами с селективным образованием силанов.

**Автор:**

Бабкин А.И.

**Руководитель:**

чл.-корр. РАН, д.х.н. Трифонов А.А.

05.03.2026

## ТОЛУИДИНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАК КАТАЛИЗАТОРЫ ШИРОКОГО СПЕКТРА РЕАКЦИЙ

*МЕНЬЩИКОВ Арсений Евгеньевич*

*аспирант 1-го года обучения*

*1.4.7. Высокмолекулярные соединения*

*Содоклад к работе Бабкина Александра Игоревича*

Металлоорганические соединения редкоземельных элементов (РЗЭ) представляют большой интерес благодаря исключительным каталитическим характеристикам во многих реакциях превращения для современных нужд человечества. Комплексы лантаноидов демонстрируют высокую каталитическую активность в реакциях полимеризации олефинов, диенов, полярных мономеров, а также гидрофункционализации непредельных соединений. Кроме того, был открыт огромный каталитический потенциал соединений РЗЭ в реакциях образования связи С-С и углерод-гетероатом, благодаря которому стало возможным получать из простых и коммерчески доступных субстратов различные органические молекулы.

Однако синтез и выделение комплексов редкоземельных элементов в виду их малой стабильности представляет собой трудоемкую и требующую особых условий задачу. Ключевым методом контроля стабильности, реакционной способности и каталитических свойств металлокомплексного соединения является настройка стерео-электронных свойств вспомогательных лигандов. Так, особое внимание привлекают комплексы редкоземельных элементов, содержащие лиганды на основе N,N-диметил-*o*-толуидина. Такие соединения универсальны и легки в использовании, а за счёт бидентатного характера связывания толуидинового фрагмента сочетают в себе высокую реакционную способность благодаря наличию связи металл-углерод и, в то же время, умеренную стабильность за счёт донорного эффекта атома азота.

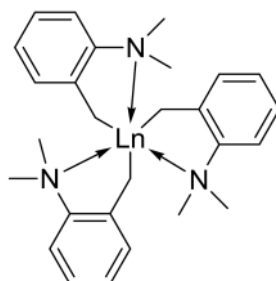


Схема 1. Толуидиновые производные лантаноидов.

Таким образом, толуидиновые производные лантаноидов являются перспективными каталитическими системами для широкого круга превращений. В частности, недавно было показано, что бис(толуидиновые) комплексы редкоземельных элементов, стабилизированные N,N,O-гетеросcorpionатными лигандами, продемонстрировали высокую реакционную способность в катализе реакции межмолекулярного дегидросочетания гидросиланов с аминами.

Список используемой литературы:

а) Otero A. et al. Metal complexes with heteroscorpionate ligands based on the bis (pyrazol-1-yl) methane moiety: Catalytic chemistry //Coordination Chemistry Reviews. – 2013. – Т. 257. – №. 11-12. – С. 1806-1868., б) РАДЬКОВА Н. Ю. Комплексы лантаноидов, содержащие полидентатные N, N, N-, N, N, O-, N, N, N, O-лиганды: синтез, строение, реакционная способность., в) Shi X., Nishiura M., Hou Z. C–H polyaddition of dimethoxyarenes to unconjugated dienes by rare earth catalysts //Journal of the American Chemical Society. – 2016. – Т. 138. – №. 19. – С. 6147-6150.

**Автор:**

Меньщиков А.Е.

**Основной докладчик:**

Бабкин А.И.

19.03.2026

# КОМПЛЕКСЫ RE(I) С БИДЕНТАТНЫМ ННС-ЛИГАНДОМ: СИНТЕЗ И КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ДЕГИДРИРОВАНИЕ АМИН-БОРАНОВ

*КОВАЛЕНКО Сергей Александрович*

аспирант 3-го года обучения

лаборатория Гидридов металлов, №119

Начиная с 2000 года в научной литературе активно обсуждается потенциал амин-боранов как твердых химических хранилищ водорода, высвобождаемого в присутствии катализаторов (Схема 1а).

Ранее нашей лабораторией была разработана высокоэффективная каталитическая система дегидрирования диметиламин-борана (DMAВ) на основе комплекса Mn(I), содержащего бидентатный ННС-лиганд, с рекордными показателями (TON = 18200, TOF = 1200 ч<sup>-1</sup>). Детальное исследование механизма с использованием других комплексов марганца с фосфиновыми и фосфинкарбеновыми лигандами позволило установить, что скорость этого процесса возрастает при увеличении кинетической гидридности ( $\Delta G^{\ddagger}_{\text{H}}$ ) образующихся *in situ* гидридных комплексов [1, 2]. Таким образом, одной из стратегий повышения эффективности каталитической системы является увеличение донорной способности лигандного окружения комплекса. С другой стороны, альтернативным подходом к повышению гидридности является замена 3d-металла (марганца) на более тяжелый 5d-металл (рений).

В связи с этим в отчетном году целью работы был синтез нового бромидного комплекса Re(I), содержащего бидентатный ННС-лиганд, и исследование его каталитической активности в дегидрировании амин-боранов. Оптимизация условий синтеза (bisNHC)Re(CO)<sub>3</sub>Br позволила установить, что возможно образование двух изомеров, различающихся по типу координации ННС-лиганда (Схема 1b), и, как следствие, имеющих кардинально разную каталитическую активность в дегидрировании DMAВ.

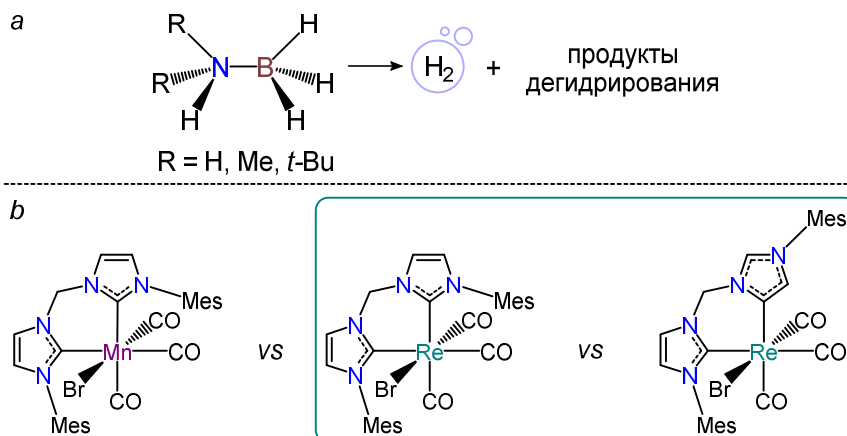


Схема 1. (а) Дегидрирование амин-боранов; (б) объекты исследования.

## Список публикаций:

1. E. S. Osipova, S. A. Kovalenko, E. S. Gulyaeva, N. V. Kireev, A. A. Pavlov, O. A. Filippov, A. A. Danshina, D. A. Valyaev, Y. Canac, E. S. Shubina, N. V. Belkova // *Molecules*, 2023, 28(8), 3368.
2. S. A. Kovalenko, E. S. Gulyaeva, E. S. Osipova, O. A. Filippov, A. A. Danshina, L. Vendier, N. V. Kireev, I. A. Godovikov, Y. Canac, D. A. Valyaev, N. V. Belkova, E. S. Shubina // *Dalton Transactions*, 2025, 54, 122-132.

Автор:

(м.н.с., Коваленко С.А.)

Руководители:

(проф., зав. лаб., д.х.н. Шубина Е.С.)

(д.х.н., в.н.с. Филиппов О.А.)

04.03.2026

*ПЕТРУШИНА Татьяна Новрузовна*

*аспирант 2-го года обучения*

1.4.8. «Химия элементоорганических соединений»

Содоклад к работе Коваленко Сергея Александровича

Комплексы переходных металлов с N-гетероциклическими карбенами (ННС) – один из наиболее широко исследуемых классов металлоорганических соединений<sup>[1]</sup>. Они являются активными катализаторами различных превращений<sup>[2]</sup> и эффективными люминофорами<sup>[3]</sup>.

Существует 3 основных метода синтеза комплексов с ННС, которые являются общими для различных переходных металлов (Схема 1).

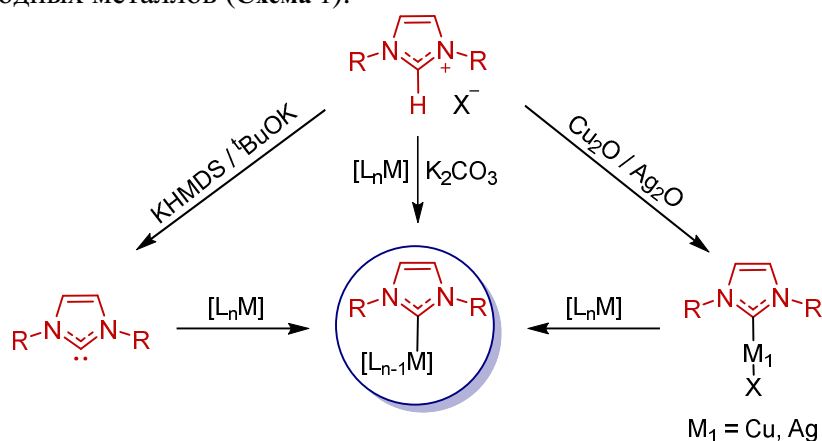


Схема 1. Подходы к синтезу комплексов с ННС-лигандами.

Первый способ основан на реакции вытеснения лиганда свободным карбеном. Данный подход может быть неудобен тем, что необходимо предварительное получение неустойчивого на воздухе свободного карбена под действием сильного основания<sup>[4]</sup>. Подход с использованием реакции переметаллирования через комплексы меди<sup>[5]</sup> или серебра<sup>[6]</sup> с ННС-лигандами исключает выделение свободного карбена, но ведет к образованию побочных солей и требует работы со светочувствительными соединениями серебра. Более мягким и атом-экономным способом получения комплексов различных переходных металлов с ННС-лигандами является прямой синтез из имидазолиевой соли в присутствии слабых оснований<sup>[7-9]</sup>. Этот подход позволяет проводить реакцию *one pot*, что делает его наиболее удобным для практического применения из всех рассмотренных.

### Список литературы

- [1] T. Scattolin, S. P. Nolan, Trends in Chemistry 2020, 2, 721–736.
- [2] S. S. Bera, M. Szostak, ACS Catal. 2022, 12, 3111–3137.
- [3] J. Li, L. Wang, Z. Zhao, X. Li, X. Yu, P. Huo, Q. Jin, Z. Liu, Z. Bian, C. Huang, Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 59, 8210–8217.
- [4] F. Ullah, G. Bajor, T. Veszprémi, P. G. Jones, J. W. Heinicke, Angew. Chem. Int. Ed. 2007, 46, 2697–2700.
- [5] M. R. L. Furst, C. S. J. Cazin, Chem. Commun. 2010, 46, 6924.
- [6] H. M. J. Wang, I. J. B. Lin, Organometallics 1998, 17, 972–975.
- [7] A. Collado, A. Gómez-Suárez, A. R. Martín, A. M. Z. Slawin, S. P. Nolan, Chem. Commun. 2013, 49, 5541.
- [8] O. Santoro, A. Collado, A. M. Z. Slawin, S. P. Nolan, C. S. J. Cazin, Chem. Commun. 2013, 49, 10483.
- [9] R. Savka, H. Plenio, Dalton Trans. 2015, 44, 891–893.

Автор:

(Петрушина Т.Н.), 19.03.2025

Основной докладчик:

(Коваленко С.А.), 19.03.2025

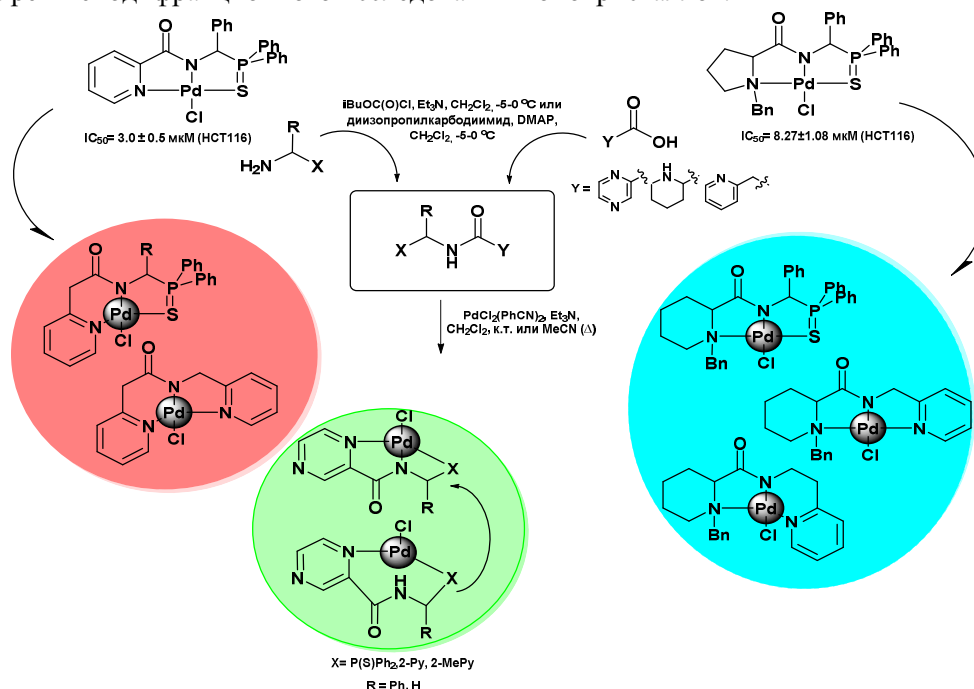
# ПИНЦЕРНЫЕ ЛИГАНДЫ В РЯДУ АМИДОВ ПИРИДИНКАРБОНОВЫХ И РОДСТВЕННЫХ КИСЛОТ: СИНТЕЗ И ПРОТИВООПУХОЛЕВАЯ АКТИВНОСТЬ

**КОНОВАЛОВ** Александр Васильевич

аспирант 3-го года обучения

лаборатория **Фосфорорганических соединений, № 112**

Пинцерные комплексы переходных металлов представляют большой интерес в катализе, органическом синтезе, а в последнее время, как потенциальные биологически активные вещества. Ряд соединений, в частности комплексы палладия(II) на основе функционализированных карбоксамидов продемонстрировали широкий профиль противоопухолевой активности. Амиды карбоновых кислот, по нашему мнению, являются крайне удобными лигандами пинцерного типа в силу простоты синтеза методом модульной сборки. Ранее нами был получен ряд карбоксамидов на основе пролина, пиколиновой и др. кислот, где в качестве аминокомпоненты использовались аминоктилфосфинсульфиды, которые гладко претерпевали реакцию прямого циклопалладирования, демонстрируя эффективную тридентатную координацию лиганда с дальнейшим образованием металлокомплексов. С целью изучения влияния строения кислотной составляющей на координационные способности полученных амидов, а также на биологическую активность металлоциклов за отчетный период нами осуществлен синтез функционализированных лигандов пинцерного типа на основе аналогов этих кислот. Основной задачей было получение амидов карбоновых кислот и изучение их способности к комплексообразованию. В качестве объектов исследования были выбраны 6-членные гетероциклические карбоновые кислоты: 2-пиридинуксусная, пиазинкарбоновая, пипиколиновая. При взаимодействии с фосфорорганическими аминами в присутствии конденсирующих агентов с высоким выходом образовывались соответствующие карбоксамидные лиганды, дальнейшее циклопалладирование которых осуществлялось с применением предшественника бис-бензонитрилпалладий дихлорида. Так, в большинстве случаев в мягких условиях были получены  $k^3$ -S(N), N, N комплексы палладия(II) как с тридентатной пинцерной, так и с бидентатной координацией. Структура полученных соединений была подтверждена данными спектральных методов анализа и метода рентгенодифракционного исследования монокристаллов.



Синтезированные комплексы были протестированы на противоопухолевую активность в НИИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина и показали высокий уровень эффективности как на солидных, так и на гемопозитических линиях раковых клеток, причем даже незначительная модификация структуры каркаса лиганда приводит к существенному изменению профиля биоактивности комплексов Pd(II).

**Автор:**

**Руководитель:**

Коновалов А.В.

Козлов В.А.,

05.03.26

# ПЕРЕХОД ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ КООРДИНАЦИОННОЙ ХИМИИ ЦИСПЛАТИНА К АРХИТЕКТУРЕ ПИНЦЕРНЫХ КОМПЛЕКСОВ КАК СТРАТЕГИЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЕГО ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ

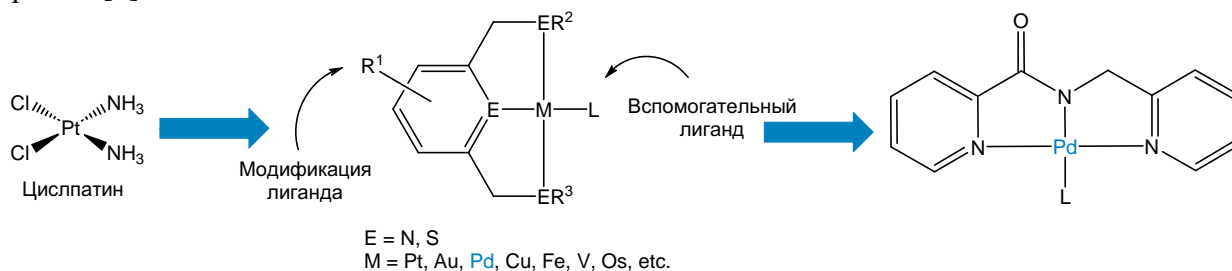
**ПОСЫПАЙКО** *Елизавета Евгеньевна*

*Аспирант 1-го года обучения*

*1.4.4. Физическая химия*

*Содоклад к работе Коновалова Александра Васильевича*

Химиотерапия является основным методом лечения рака. С момента одобрения цисплатина он широко используется для лечения различных опухолей как первое координационное соединение металла. Однако его побочные эффекты и лекарственная устойчивость представляют собой серьезные проблемы для клинического применения. Поэтому разработка новых координационных соединений металлов с лучшей противоопухолевой активностью и меньшими побочными эффектами является общей задачей исследователей. Пинцерные металлокомплексы, образованные координацией тридентатных лигандов и переходных металлов не только повышают стабильность координационных соединений металлов по отношению к биологическому восстановлению и реакциям обмена лигандами, но и сочетают в себе характеристики металлических центров и органических каркасов[1].



**Рис. 1.** Развитие химии пинцерных комплексов от клинически успешного цисплатина.

Ранее в литературе были рассмотрены различные виды пинцерных систем на основе платины, золота, меди железа и прочих металлов с использованием N,N,N и N,N,S-пинцеров. Противоопухолевая активность пинцерных комплексов определяется природой металла. Высокостабильные комплексы Pt(II) нацелены на ДНК и ядерные белки. Au(III) производные ингибируют тиоредоксинредуктазу, причем их цитотоксичность коррелирует с липофильностью. Для Cu(II) комплексов характерна специфичность к отдельным линиям и АФК-зависимый механизм, не связанный с аффинностью к ДНК. Комплексы Fe(III) перспективны для фотодинамической терапии, однако ограничены высокой токсичностью и низкой растворимостью. Os(II) системы проявляют умеренную активность (IC<sub>50</sub> на уровне цисплатина). Наибольший интерес представляют Pd(II) комплексы, демонстрирующие широкий спектр действия (IC<sub>50</sub> = 1.4–21.7 мкМ), избирательность в отношении здоровых клеток, способность ингибировать ангиогенез и сигнальные пути, а также превосходить цисплатин по цитотоксичности более чем в 100 раз.

## Список литературы:

1. Wu S, Wu Z, Ge Q, et al. Antitumor activity of tridentate pincer and related metal complexes. *Org. Biomol. Chem.*, 2021, 19, 5254–5273.

**Автор:** \_\_\_\_\_

Посыпайко Е.Е.

**Основной докладчик:** \_\_\_\_\_

Коновалов А.В.

19.03.2026

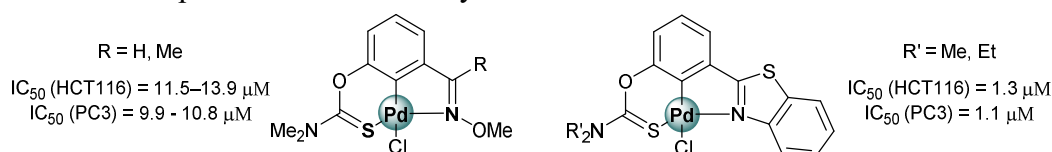
# ГИБРИДНЫЕ ПИЦЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ Pd(II) С ТИОКАРБАМАТНОЙ ДОНОРНОЙ ГРУППОЙ: СИНТЕЗ И СВОЙСТВА

СПИРИДОНОВ Александр Анатольевич

аспирант 3-го года обучения

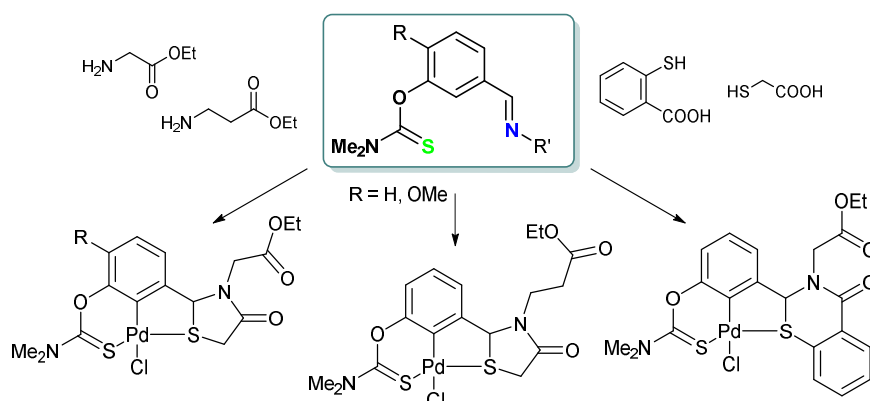
лаборатория Фосфорорганических соединений, №112

Металлоорганические соединения широко используются в различных областях химии и смежных дисциплинах, включая бионеорганическую и медицинскую химию. Особый интерес представляет разработка новых потенциальных противоопухолевых средств на основе комплексов Pd(II) пинцерного типа, обладающих моноанионным тридентатным лигандным каркасом. Ранее нами были получены несимметричные тиокарбаматные производные с дополнительной иминной группой или бензотиазольным кольцом и комплексы Pd(II) на их основе, которые показали высокую цитотоксическую активность по отношению к клеткам различных линий опухолей человека.



За отчетный период круг пинцерных лигандов, содержащих тиокарбаматную донорную группировку, был расширен серией иминных производных на основе аминокислотной и аминопропионовой кислот, а также родственными системами с изованилиновым остовом. Для полученных соединений были исследованы комплексообразующие свойства по отношению к ионам Pd(II), в результате чего были синтезированы новые представители гибридных лигандов S,C,N-типа. Кроме того, иминные производные оказались удобными предшественниками для получения тиазолидинонов, для которых характерен широкий спектр биологической активности.

Синтез S,C,S'-лигандов, сочетающих тиокарбаматную группу с тиазолидиноновым фрагментом, был осуществлен как взаимодействием готовых иминных предшественников с различными меркаптозамещенными кислотами, так и путем последовательной обработки *m*-тиокарбамоилзамещенного бензальдегида амино- и меркаптокислотами. Полученные лиганды гладко подвергались прямому циклометаллированию под действием PdCl<sub>2</sub>(NCPH)<sub>2</sub> в мягких условиях.



Новые лиганды и их циклопалладированные производные были переданы на первичную оценку цитотоксической активности в НМИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина.

Автор:

Спирidonov А.А.

Руководитель:

Алексян Д.В., 05.03.2026

## ПИНЦЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПАЛЛАДИЯ(II) С ТИОННЫМИ ДОНОРНЫМИ ЦЕНТРАМИ: СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ

*РУМЯНЦЕВ Андрей Вячеславович*

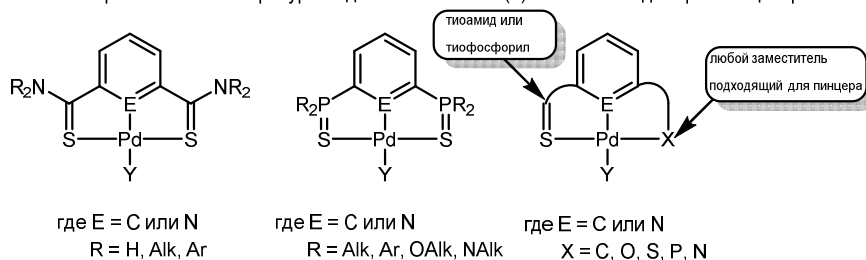
*аспирант 2 года обучения*

1.4.8 «Химия элементоорганических соединений»

Содоклад к работе Спиридонова Александра Анатольевича

Быстрое развитие химии пинцерных комплексов переходных металлов за последние несколько десятилетий внесло существенный вклад в расширение теоретической и практической металлоорганической химии, а также органического синтеза, катализа и материаловедения. Хотя в течении долгого времени преобладали бисфосфиновые и бисамидные пинцерные комплексы, где в качестве соединительной части выступает бензольное кольцо, в последние десятилетия в литературе также встречаются пинцерные комплексы с фосфинитными и иминными донорными группами, соединяемые как бензольным кольцом, так и гетероциклами. В тоже время представляют интерес их тио-аналоги – бистиамидные, бистиофосфинитные производные, а также гибридные пинцерные системы, где наряду с тионным донорным центром может находиться любая другая функциональная группа [1]. Такие комплексы палладия(II) обладают целым рядом уникальных свойств. Для бистиоамидных комплексов свойственно высокая каталитическая активность в реакции Хека и в реакции кросс-сочетания Сузуки. Бисфосфорильные палладоциклы не только эффективны в роли люминофоров, но и рассматриваются как перспективные фотосенсибилизаторы. Для комплексов гибридного строения также характерна каталитическая активность в различных процессах [2], а вместе с тем и проявление противоопухолевых свойств, что делает их перспективными в разработке противоопухолевых средств. Так же для всех трех видов тионных пинцерных комплексов Pd(II) характерна высокая термоустойчивость. В данной работе будут рассмотрены синтез и применение пинцерных комплексов Pd(II) всех трех видов [3].

Наиболее встречаемые в литературе виды комплексов Pd (II) с тионными донорными центрами



Наиболее распространенным методом синтеза бистиоамидных лигандов является тиолирование ароматических диамидов с помощью реагента Лоуссена, а также тиоаминирование ароматических диальдегидов с помощью вторичных аминов и ромбической серы. В случае бистиофосфиноксидов используется палладий-катализируемое фосфилирование ароматических галогенидов, а также их реакция с фосфорными металлорганическими предшественниками с последующим тиолированием S<sub>8</sub>.

### Список литературы:

1. D.V. Aleksanyan, V.A. Kozlov, Top. Organomet. Chem., 2015, 54, 209-238.
2. L.T. Scharf, A. Kowsari, T. Scherpf, K.-S. Feichtner, V. H. Gessner, Organometallics, 2019, 38, 4093–4104.
3. S. Kumar, F. Saleem, M. Kumar Mishra, A.K. Singh, New J. Chem., 2017, 41, 2745–2755.

**Автор:**

/Румянцев А.В.

**Основной докладчик:**

/Спиридонов А.А.

19.03.2026

## СИНТЕЗ И ЦИТОТОКСИЧНОСТЬ ХИРАЛЬНЫХ БЕНЗИЛАМИНАТНЫХ ПАЛЛАДАЦИКЛОВ

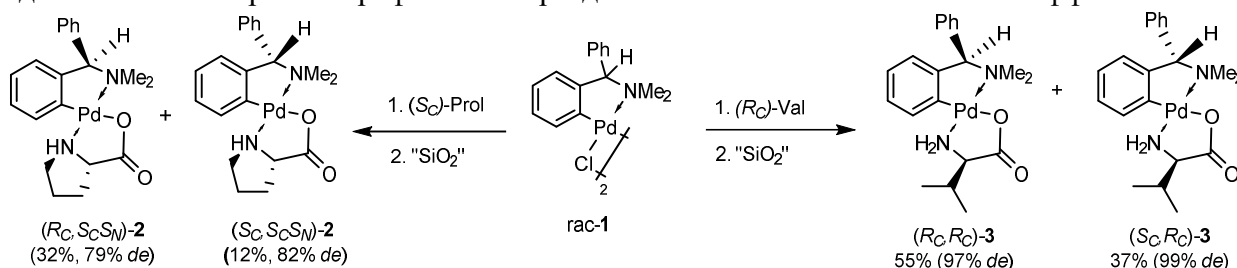
ТИМЕРКАЕВА Маргарита Павловна

аспирант 2-го года обучения

лаборатория Гомолитических реакций элементоорганических соединений, №128

На первом году исследования была показана высокая каталитическая активность в реакции Сузуки-Мияуры бензиламинатного димерного палладацикла *rac*-1 [1-4]. В связи с известной способностью подобных соединений подавлять рост опухолевых клеток, нами планировались изучение цитотоксичности комплекса 1 и его производных, а также оценка возможного влияния на это свойство конфигурации *C*-стереоцентра.

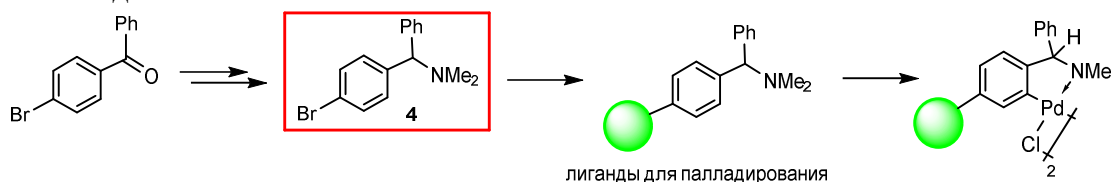
Ранее только (*R*)-энантиомер палладацикла 1 был получен в результате фракционной кристаллизации смеси пролинатных диастереомеров (*R<sub>C</sub>,S<sub>C</sub>S<sub>N</sub>*)-2 и (*S<sub>C</sub>,S<sub>C</sub>S<sub>N</sub>*)-2. В качестве альтернативного метода получения комплексов (*R*)-1 и (*S*)-1 была выбрана хроматография, однако попытки хроматографического разделения этой смеси оказались неэффективны:



Замена (*S<sub>C</sub>*)-пролината на (*R<sub>C</sub>*)-валинат позволила после колоночной хроматографии выделить диастереомеры (*R<sub>C</sub>,R<sub>C</sub>*)-3 и (*S<sub>C</sub>,R<sub>C</sub>*)-3 с чистотой 97% и 99% *de*, соответственно. Энантиомерно чистые димеры (*R*)-1 и (*S*)-1 получали протонированием в смеси HCl/CHCl<sub>3</sub>.

Изучение цитотоксичности *in vitro* на трех опухолевых линиях и одной нормальной линии человеческих фибробластов показало, что палладациклы *rac*-1 и (*R*)-1 обладают высокой активностью, однако зависимости от энантиомерного состава не выявлено. При этом оба комплекса продемонстрировали повышенную селективность в отношении линии глиобластомы U-87 MG по сравнению с цисплатином и темозоломидом.

С целью изучения возможного синергетического эффекта структурных фрагментов в палладацикле 1 на его цитотоксические свойства будет получен ряд новых комплексов, содержащих в фенильном кольце дополнительные фармакофорные группы. В настоящее время осуществляется оптимизация метода синтеза бромзамещенного амина 4 для его последующей модификации по реакции Сузуки-Мияуры и дальнейшего палладирования новых лигандов:



### Список публикаций

1. М.Р. Тимеркаева, О.Н. Горунова, *ИХЭОС OPEN*, 2024, 6, 126-137.
2. М.Р. Тимеркаева, К.А. Кочетков, О.Н. Горунова, *ИХЭОС OPEN*, 2025, 8, 54-56.
3. О.Н. Горунова, М.Р. Тимеркаева, К.А. Кочетков, V.V. Dunina, *Russ. Chem. Bull.*, 2024, 73, 733-737.
4. М.Р. Тимеркаева, К.А. Кочетков, О.Н. Горунова, *Mendeleev Commun.*, 2026, 36, 41-43.

Автор:

Руководители:

/М.П. Тимеркаева /  
/с.н.с., к.х.н. О.Н. Горунова/ 05.03.2026  
/проф., д.х.н. К.А. Кочетков/ 05.03.2026

## МОДИФИКАЦИЯ БЕНЗИЛАМИНАТНЫХ ПАЛЛАДАЦИКЛОВ ДЛЯ ДИЗАЙНА ЦИТОТОКСИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

**КОВАЛЕВА Мария Алексеевна**

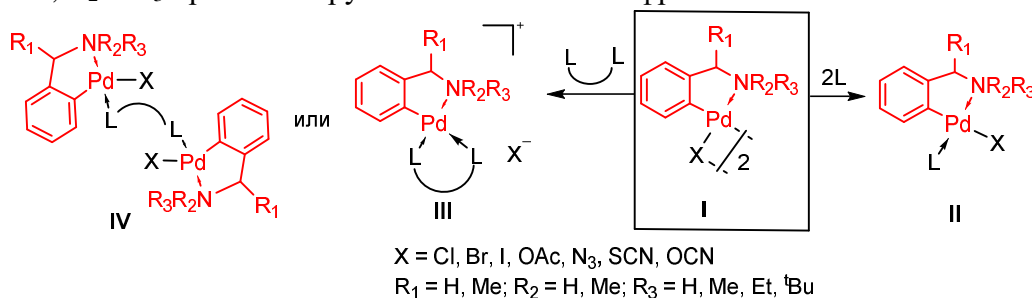
аспирант 2-го года обучения

1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

Содоклад к работе Тимеркаевой Маргариты Павловны

Палладациклы – это класс металлоорганических комплексов, содержащих, по меньшей мере, одну ковалентную связь Pd–C, стабилизированную дополнительной координационной связью с донорным гетероатомом (N, P, S, O). Эти соединения обладают широким спектром биологической активности, однако в последние годы интерес к ним сильно вырос в связи с обнаруженными для них отличными противоопухолевыми свойствами [а].

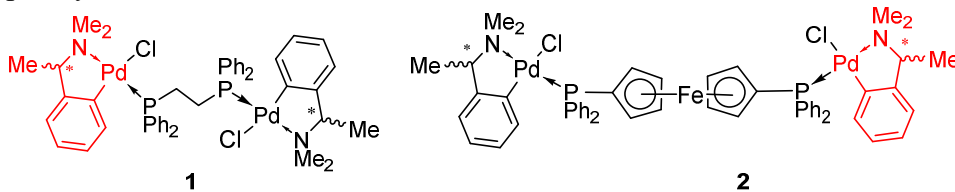
Наиболее популярными палладациклами для исследования цитотоксичности являются комплексы на основе бензиламина. Стартовые димеры типа I различаются заместителями R<sub>1</sub> в α-положении, R<sub>2</sub> и R<sub>3</sub> при аминогруппе и мостиковыми фрагментами X:



Дальнейшая модификация димеров происходит путем раскрытия мостиковых связей. В случае взаимодействия с монодентатным лигандом (пиридин, триарилфосфины, карбены) образуются нейтральные комплексы типа II. Реакция с бидентатным лигандом (бифосфины) приводит к образованию или нейтральных (тип IV), или ионных (тип III) палладациклов.

Известно, что такие модификации позволяют эффективно влиять на цитотоксичность (бифосфиновые производные по активности превосходят цисплатин на 1-2 порядка). Однако в отличие от широкого разнообразия лигандов, структурные вариации самого остова (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> и группы в Ph-кольце) представлены крайне ограниченным числом примеров [а].

Кроме того, дополнительную возможность для модуляции биологической активности предоставляет наличие хирального α-углеродного атома бензиламинатного палладацикла. Однако литературные данные о сравнении энантиомеров единичны и неоднозначны: в одном случае комплексы (R)-1 и (S)-1 были равноактивны *in vitro*, но *in vivo* активность проявил только (S)-изомер [б]; в другом – более цитотоксичный *in vitro* комплекс (R)-2 уступил (S)-энантиомеру благодаря его преимуществам *in vivo* [в]:



### Список литературы:

- а. О. А. Zalevskaya, Ya. A. Gur'eva, A. V. Kutchin, Russ. Chem. Rev., 2025, 94, RCR5188.
- б. E. G. Rodrigues, L. S. Silva, D. M. Fausto, M. S. Hayashi, S. Dreher, E. L. Santos, J. B. Pesquero, L. R. Travassos, A. C. Caires, Int. J. Cancer, 2003, 107, 498-504.
- в. C. Bincoletto, I. L. S. Tersariol, C. R. Oliveira, S. S. Dreher, D. M. Fausto, M. A. Soufen, F. D. Nascimento, A. C. F. Caires, Bioorg. Med. Chem., 2005, 13, 3047-3055.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

Ковалева М.А.

Тимеркаева М.П.

19.03.2026

**СТРОЕНИЕ И ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО  
3,5-БИСТРИФТОРМЕТИЛПИРАЗОЛАТА СЕРЕБРА(I)  
С ПРОИЗВОДНЫМИ ТОЛАНА И АНИЛИНА**

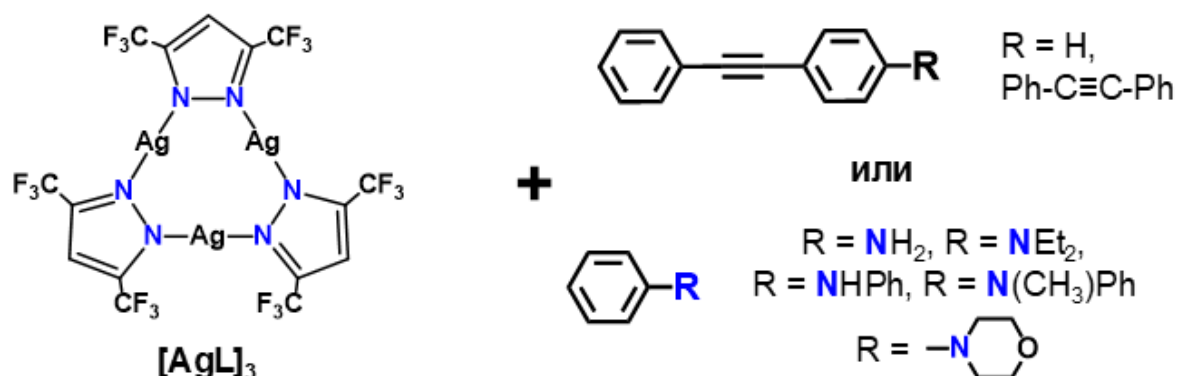
*ОЛЬБРЫХ Арина Павловна*

аспирант 1-го года обучения,

**Лаборатория гидридов металлов, №119**

M-π взаимодействия d<sup>10</sup>-металлов 11 группы с аренами играют ключевую роль в формировании функциональных свойств супрамолекулярных систем. Они оказывают влияние не только на характер и эффективность люминесценции, но также на биологическую активность и протекание каталитических процессов, что было подробно рассмотрено в обзоре. [1] Эти данные подтверждают перспективность развиваемого в нашей лаборатории подхода к созданию межмолекулярных комплексов на основе циклического пиразолатного комплекса серебра(I) и ароматических органических молекул. (Схема 1)

В текущем исследовании было показано, что при взаимодействии [AgL]<sub>3</sub> с внутренними ароматическими ацетиленами и анилина происходит образование бесконечных колонн, в которых молекула-гость чередуется с [AgL]<sub>3</sub>. Координация циклического пиразолата серебра(I) способствует активации триплетной эмиссии гостевой молекулы люминофора. Комплексы [AgL]<sub>3</sub> с дифенилацетиленом и 4,4'-бис(фенилэтинил)-1,1'-бифенилом в твёрдом состоянии демонстрируют синюю флуоресценцию (380-400 нм) и фосфоресценцию в красной области спектра (590-650 нм). Показано, что эффективность фосфоресценции зависит от симметрии комплекса. В случае производных анилина полученные комплексы проявляли полосу фосфоресценции в красной области (550-650 нм). Комплексы с первичными и вторичными аминами не проявляли выраженной фотолюминесценции.



**Схема 1.** Схема реакции и набор используемых лигандов

Список публикаций:

1. А. Р. Olbrykh, G.B. Yakovlev, A. A. Titov, O. A. Filippov, E.S. Shubina, Coord. Chem. Rev., 2026, 552, 217477.

Автор:

(Ольбрых А.П.)

Руководители:

(Титов А.А.)

(Филиппов О.А.)

05.03.2026

## МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПИРАЗОЛАТА СЕРЕБРА(I) И АРОМАТИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ

**ПЕРЕПЕЛКИН Евгений Игоревич**

аспирант 3-го года обучения

1.4.7. «Высокомолекулярные соединения»

Содоклад к работе Ольбрых Арины Павловны

Циклические пиразолатные комплексы (ЦПК) металлов 11 группы, содержащие акцепторные  $\text{CF}_3$  группы, являются кислотами Льюиса и способны координировать различные  $\pi$ -системы. В результате формируются супрамолекулярные структуры в виде бесконечных колонн с чередованием ЦПК и ароматических молекул [а]. На примере трёхъядерного пиразолатного комплекса серебра(I) показано, что такие системы могут выступать в роли сенсоров для бензола и его метилзамещённых производных: при воздействии паров ароматических соединений на ЦПК в твердом состоянии наблюдается усиление интенсивности полосы флуоресценции арена [б]. Использование *o*-терфенила в качестве гостевой молекулы для образования межмолекулярного комплекса с пиразолатом серебра, для которого при температуре 77 К в твёрдом состоянии в зависимости от длины волны возбуждения комплекс может испускать свет в различном диапазоне [в]. Аналогичный эффект наблюдается уже при комнатной температуре в комплексах с 4,4'-галогензамещёнными бифенилами, также формирующими бесконечные колонны за счет М- $\pi$  взаимодействий. (Рисунок 1) Вместо слабой люминесценции исходного лиганда в УФ диапазоне (350–370 нм), при возбуждении светом с длиной волны 340–350 нм наблюдается синяя флуоресценция ( $\lambda_{\text{эм}}=400\text{--}430$  нм), а при  $\lambda_{\text{возб}}<320$  нм – зеленая флуоресценция ( $\lambda_{\text{эм}}=480\text{--}540$  нм) [г]. Двойственная эмиссия таких систем делает их перспективными для создания материалов защитных меток от подделки.

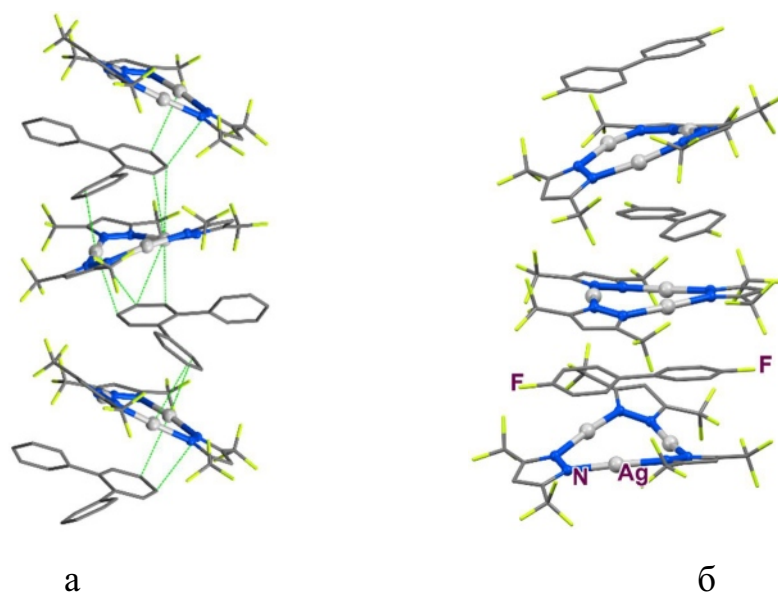


Рисунок 1. Супрамолекулярная структура комплексов циклического пиразолата серебра(I) с *o*-терфенилом (а) и 4,4'-дифторбифенилом (б).

**Список литературы:**

- а) M.A. Omary, M.A. Rawashdeh-Omary, M.W.A. Gonser, et al., Inorg. Chem., 2005, 44, 8200–8210.  
 б) M. A. Omary, M. D. Rashdan, S. Dharanipathi, et al., Chem. Comm., 2011, 47, 1160.  
 в) S. Z. Zhan, F. Ding, X.W. Liu, G.H. Zhang, J. Zheng, D. Li, Inorg. Chem., 2019, 58, 12516–12520.  
 г) A.P. Olbrykh, A.V. Tsorieva, V.M. Korshunov, et al. Inorg. Chem. Front., 2025, 12, 812–820.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

Перепелкин Е.И.

Ольбрых А.П.

18.03.2026

# ИССЛЕДОВАНИЕ АКТИВНОСТИ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ ТРЕТ-БУТИЛИМИДНЫХ ПИРРОЛИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ТИТАНА В РЕАКЦИЯХ ОКСО-ИМИДНОГО ГЕТЕРОМЕТАТЕЗИСА

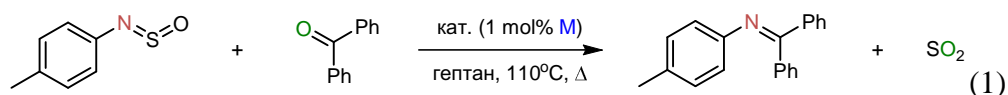
*РУМЯНЦЕВ Андрей Вячеславович*

аспирант 2-го года обучения

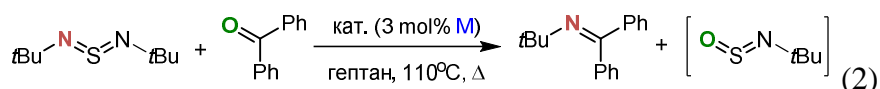
группа Гетерогенного металлокомплексного катализа, №137

Настоящая работа посвящена изучению реакций оксо-имидного гетерометатезиса, катализируемых иммобилизованными на силикагеле имидными комплексами титана. Приоритетными задачами текущего года были: 1) каталитические исследования комплексов, полученных в предыдущий отчетный период, и 2) изучение методологических проблем каталитического тестирования, выявленных в ходе предыдущей работы.

Ранее в качестве стандартной тестовой реакции оксо-имидного гетерометатезиса в нашей лаборатории использовалась реакция между  $\text{Ti}(\text{NSO})_2$  и бензофеноном (Схема 1). В ходе настоящей работы было установлено, что при использовании данной тестовой реакции активность полученных катализаторов меняется в широких пределах в зависимости от присутствия в реакционной смеси *n*-толуидина, следовые количества которого неизбежно образуются в результате гидролиза  $\text{Ti}(\text{NSO})_2$ . Более того, колебания значений активности для одного катализатора могут превышать разницу между разными каталитическими системами, что затрудняет их ранжирование и делает невозможным построение зависимости структура-активность, что является главной целью данной работы. В ходе проверки различных гипотез мы пришли к выводу, что наиболее обоснованной причиной влияния анилина на активность является его участие на стадии инициации катализатора, т.е. замещения *tert*-бутилимидной группы на толилимидную, что делает данную реакцию непригодной для тонкой оценки влияния лигандного окружения на активность.



Решение данной проблемы может заключаться в использовании такой тестовой реакции, в которой стадия инициации отсутствует. В качестве такой реакции нами предложено взаимодействие между диимином серы  $\text{tBuN}=\text{S}=\text{NtBu}$  и бензофеноном (Схема 2). В результате этой работы было показано, что: 1) при использовании данной тестовой реакции влияние *n*-толуидина на активность имидо-ароксидных катализаторов становится пренебрежимым, и 2) зависимость активности катализатора от его лигандного окружения лучше соответствует выдвинутой нами ранее гипотезе об увеличении активности при использовании донорных и стерически нагруженных лигандов.



## Список публикаций:

1. P. A. Zhizhko, A. V. Pichugov, N. S. Bushkov, A. V. Rumyantsev, K. I. Utegenov, V. N. Talanova, T. V. Strelkova, D. Lebedev, D. Mance, D. N. Zarubin. *Organometallics* 2020, 39 (7), 1014.
2. A. V. Pichugov, N. S. Bushkov, A. V. Rumyantsev, A. A. Zhizhin, D. Y. Aleshin, T. V. Strelkova, V. N. Talanova, R. U. Takazova, D. Mance, F. Allouche, V. Mougel, F. M. Dolgushin, N. A. Ustynyuk, P. A. Zhizhko, D. N. Zarubin. *Helv. Chim. Acta* 2022, 105 (6), e202200030.
3. A. V. Pichugov, A. V. Rumyantsev, N. S. Bushkov, A. A. Zhizhin, D. Y. Aleshin, V. N. Talanova, R. U. Takazova, D. Trummer, D. Mance, P. A. Zhizhko, D. N. Zarubin. *Inorg. Chem. Front.* 2023, 10 (18), 5357.

**Автор:**

/Румянцев А.В.

**Руководитель:**

/Жижко П.А.

## РЕАКЦИИ СТЕХИОМЕТРИЧЕСКОГО ОКСО/ИМИДНОГО ГЕТЕРОМЕТАТЕЗИСА

**СОЛДАТОВА Анастасия Викторовна**

Аспирант 1-го года обучения

1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

Содоклад к работе Румянцева Андрея Вячеславовича

Для металлокомплексных соединений с кратносвязными лигандами являются довольно распространенными реакции гетерометатезиса (Схема 1), проходящие через стадии [2+2]-циклоприсоединения/циклораспада, ведущие к перераспределению заместителей (по аналогичному механизму происходят реакции метатезиса олефинов). Реакции данного класса, в которые вовлечены =O/=NR фрагменты, можно назвать реакциями оксо/имидного гетерометатезиса [1]. Однако, для применения этого класса реакций в каталитическом варианте, необходимо понимать способность металлов к переносу имидной группы на оксо-субстраты и закономерность ее изменения.

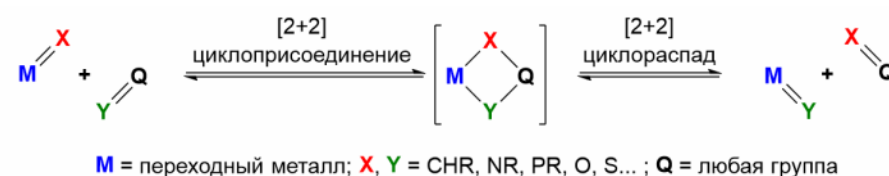


Схема 1. Общий вид процесса стехиометрического X/Y-гетерометатезиса

В общем виде тенденцию увеличения активности металлов в реакциях оксо/имидного гетерометатезиса влево по периоду и вниз по группе объясняет модель Ньюджента, которая связывает реакционную способность комплекса со вкладом азота в энергию ВЗМО этого комплекса и, следовательно, с нуклеофильностью имидного азота [2]. Также важно отметить, что в том же ряду увеличивается сродство металлов к электроотрицательным элементам, т.е. прочность кратных связей металл-лиганд убывает в ряду  $O > NR > CHR$  [3].

Активное участие в реакциях гетерометатезиса не характерно для имидных комплексов 7-10 групп, хотя существуют единичные примеры образования N,O-карбаматов и уреатов, за редким исключением устойчивых к циклораспаду. Для комплексов переходных металлов 6 группы круг реакционноспособных оксо-субстратов по большей части ограничен лишь альдегидами, однако некоторые низковалентные комплексы Mo и W в зависимости от условий и лигандного окружения не без трудностей способны имидировать  $CO_2$ , халкон и бензофенон. Хотя комплексы металлов 5 группы склонны к димеризации, их отличает способность образовывать имины, кетимины и изоционаты в более мягких условиях. Начиная с 4 группы реакции комплексов с  $CO_2$  становятся достаточно распространенными. Описаны также лишь единичные случаи имидирования амидов, сложных эфиров, нитро- и нитрозо-соединений. Для металлов 3 группы характерна высокая полярность связи  $L_n=NR$ , что, в сочетании с ярко выраженной оксофильностью редкоземельных металлов, ведет к их высокой реакционной способности в отношении органических оксо-субстратов.

1. P.A. Zhizhko, N.S. Bushkov, A.V. Pichugov, D.N. Zarubin, Coord. Chem. Rev., 2021, 448, pp 2-41.

2. W.A. Nugent, R.J. McKinney, R.V. Kasowski, F.A. Van-Catledge, Inorganica Chim. Acta., 1982, 62, pp 91-93.

3. S. M. RocklageR., R. Schrock J. Am. Chem. Soc. 1980, 102, pp 7808–7809

**Автор:**  
**Основной докладчик:**

Солдатова А.В.            19.03.2026  
Румянцев А.В.            19.03.2026

## МОНТМОРИЛЛОНИТ КАК СТИМУЛЯТОР РОСТА И АНТИДОТ ДЛЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

*ХАЛИКОВ Марат Салаватович*

аспирант 2-го года обучения

лаборатория **Физиологически активных фторорганических соединений**, №115

Для сравнения эффективности внесения в почву глин Глины 0 и Глины МХ и МРТ опыты проводились в лаборатории искусственного климата (ЛИК) фирмы "Фетч" (ФРГ) во Всероссийском научно-исследовательском институте фитопатологии (ВНИИФ) при влажности воздуха в камере 70%, длительности дня 16ч, ночи 8 ч, освещенности днем 20 тыс. лк, температуре воздуха днем 25°C, ночью 16°C Выращивание тест-растений осуществляли в контролируемых условиях, влажность почвы поддерживали на уровне 60% ПВ путем ежедневного полива каждого вегетационного сосуда водопроводной обессоленной водой.

В результате кислотной обработки бентонита изменилось соотношение основных элементов его алюмосиликатного каркаса Si/Al, увеличиваясь от 2.10 для исходного образца до 3.02 для кислотно-активированного бентонита. Это произошло за счет частичного вымывания соляной кислотой оксида алюминия. Вместе с тем, по данным рентгено-фазового анализа кристаллическая структура образцов бентонита до и после обработки кислотой изменилась лишь в незначительной степени. При этом, образцы бентонита и монтмориллонита К-10 очень близки по своему фазовому составу. По данным рентгено- флуоресцентного анализа в образце кислотно-активированного бентонита содержание элементов включения в кристаллическую решетку алюмосиликата, магния и натрия, уменьшилось в 1.7 и 6.3 раза соответственно. В результате ионного обмена этих щелочно-земельных металлов на водородные катионы резко снизилась способность алюмосиликата к гидратации. Поэтому частицы кислотно-активированного бентонита при контакте с водой набухают очень мало. Степень объемного набухания изменилась от 2.2 для исходного образца до 1.1 для образца обработанного 1.8 н. соляной кислотой.

Из рассмотрения результатов испытаний в ЛИК (лаборатория искусственного климата), следует, что Глина 0 и Глина МХ стимулировали увеличение массы надземной части растений на 21-25%. При этом Глины МХ обладала несколько более высокой активностью. Таким образом, оценка эффективности продемонстрировала сопоставимую активность обеих глин, которая по предварительным данным превосходила активность МРТ - монтмориллонита К-10.

### Список литературы

- [1] В.А. Абубикеров, Г.С. Босак, М.С. Халиков, и др., *Агрoхимия*, 2025, 2, 56-59.
- [2] М.С. Халиков, В.А. Абубикеров, И.В. Мальгин и др., *Агрoхимия*, 2025, 12, 12-17.

**Автор:**

Халиков М.С.

**Руководитель:**

д.х.н. Чкаников Н.Д.

## СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ЗАМЕЩЕННЫХ ТРИС(АМИНОФЕНИЛ)ФОСФИНОКСИДОВ

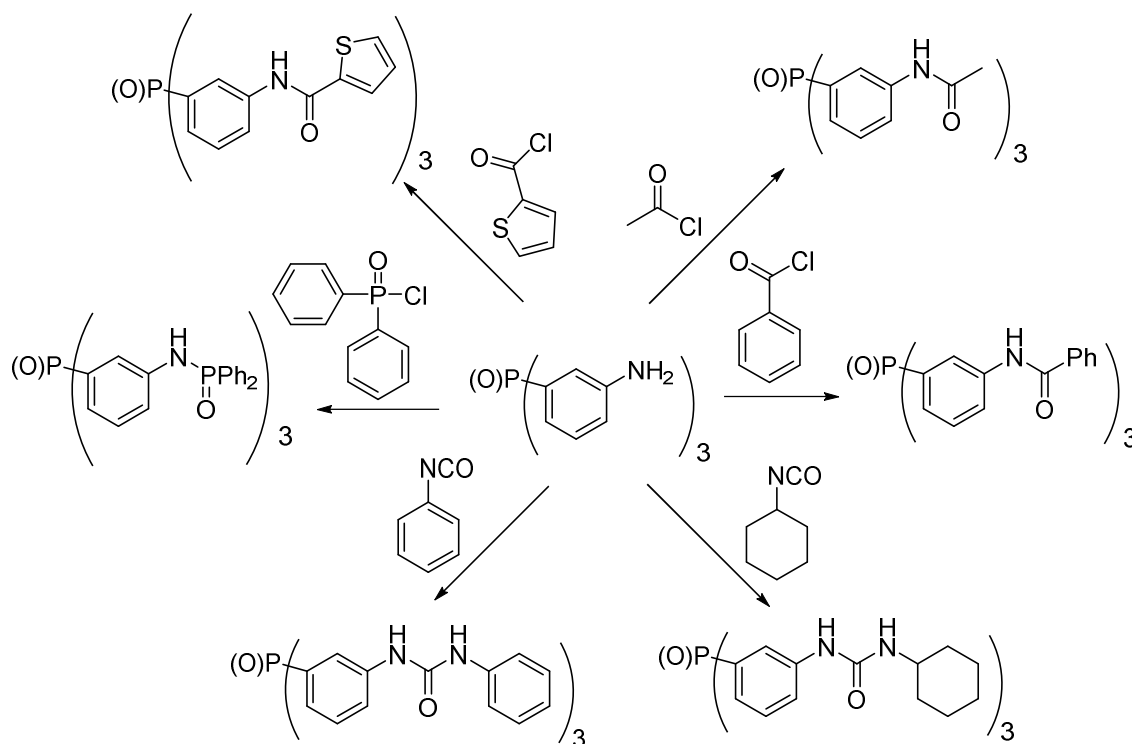
*ФАДЕЕВА Вероника Алексеевна*

выпускник магистратуры РХТУ им. Д.И. Менделеева 2026 г.

лаборатория **Фосфорорганических соединений, № 112**

Мета-замещенные политопные триарилфосфиноксиды представляют интерес в качестве лигандов и строительных блоков для создания металлоорганических каркасов (MOF) и координационных полимеров (CPs), обладающих каталитическими, магнитными, люминесцентными, сорбционными и т.д. свойствами. Целью данной работы является получение новых фосфорорганических лигандов и комплексов с f-элементами на их основе.

Изучена возможность получения функционализированных мета-замещенных триарилфосфиноксидов, содержащих NH-C(O)-NH, P(O), NH-C(O) и др. группы.



Состав и структура полученных триподальных лигандов были изучены с помощью мультаядерной ЯМР-спектроскопии, ИК-спектроскопии, РСА и данными элементного анализа. Изучена каталитическая активность лиганда, содержащего мочевиный фрагмент, в реакции Фентона. Показана высокая каталитическая активность данного лиганда в реакции фотохимического разложения метиленового синего. Были изучены координационные свойства лигандов по отношению к f-элементам. Структура полученных комплексов с солями металлов была изучена в твердом виде и в растворе методами ЯМР, ИК-спектроскопии, а состав данными элементного анализа.

**Автор:**

Фадеева В.А.

**Руководитель:**

к.х.н., с.н.с. Баулина Т.В.  
05.03.2026

## ДОМИНО-РЕАКЦИИ ЦИКЛИЧЕСКИХ АМИДИНОВ И ДИЭФИРА ПРОПИОЛОВОЙ КИСЛОТЫ

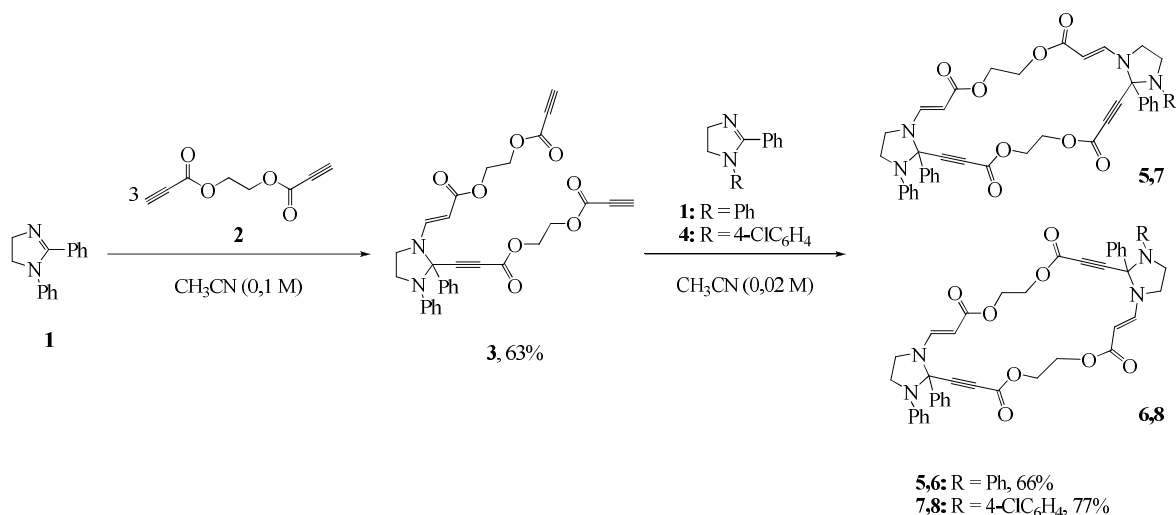
**СМИРНОВА Анастасия Сергеевна**

выпускник РУДН имени Патриса Лумумбы, ФФМиЕН  
лаборатория  $\pi$ -комплексов переходных металлов, №102

На кафедре органической химии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы изучается взаимодействие различных алкинов с азотсодержащими гетероциклическими соединениями [1]. Ранее нашей научной группой были изучены реакции 2-имидазолинов с метилпропиолатом [2]. В рамках данной работы исследовалось взаимодействие 2-имидазолинов с диэфиром этиленгликоля и пропиоловой кислоты, а также изучалась дальнейшая термически индуцированная трансформация выделенных аддуктов. Образующиеся соединения представляют интерес как возможные аналоги краун-эфиров.

Для 2-имидазолина **1** нами было показано, что его взаимодействие с избытком этиленгликоль дипропиолата **2** при комнатной температуре в апротонных растворителях проходит как псевдотрехкомпонентный процесс – в реакцию с одной молекулой имидазолина вступает две молекулы диэфира. Полученное вещество представляет собой 1,2,2,3-тетразамещённый имидазолидин **3**.

Была проведена реакция выделенного аддукта **3** с 2-имидазолинами **1,4** в соотношении 1:1. Для прохождения реакции требовалось 4 дня, аддукты **5,6** и **7,8** были выделены хроматографически. Эквимольное соотношение реагентов **1** и **2** в условиях высокого разбавления в *o*-ксилоле дает смесь региоизомеров **5,6** с низкими выходами. Данная реакция демонстрирует возможность образования макроциклических молекул с фрагментом имидазолина в составе.



### Ссылки

- 1) Golantsov N. E., Hung M Nguyen, Golubenkova A. S., Varlamov A. V., Erik V Van der Eycken, Voskressensky L. G. Three-Component Reaction of 3-Arylidene-3 H-Indolium Salts, Isocyanides, and Alcohols // *Front. Chem.* Vol. 7, № 345.
- 2) Golantsov, N. E.; Golubenkova, A. S.; Festa, A. A.; Varlamov, A. V.; Voskressensky, L. G. A Domino Route toward Polysubstituted Pyrroles from 2-Imidazolines and Electron-Deficient Alkynes. *Org. Lett.* 2020, Vol.22, № 12. P 4726–4731.

Автор:

Смирнова А.С.

Руководитель:

Логинов Д.А.  
13.03.2026

*Секция*  
*«Физическая химия»*

# IN SITU СПЕКТРОСКОПИЯ ЯМР pH-ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТАЛЛОВ СО СПИНОВЫМ ПЕРЕХОДОМ

САФИУЛЛИНА Эльнара Саяровна

Аспирант 4-го года

лаборатория «Группа исследования молекулярных материалов», №210

Комплексы d-металлов, способные обратимо переключаться между разными спиновыми состояниями под действием внешних факторов (т.е. претерпевать спиновый переход) и значительно менять при этом свои магнитные свойства, представляют интерес исследователей благодаря множеству их потенциальных применений. В частности, представители такого класса соединений потенциально могут использоваться в качестве молекулярных «термометров» или pH-чувствительных зондов для локализации очагов различных заболеваний методами магнитно-резонансной томографии [Gaudette et al., Chem. Commun., 2017, 53, 12962], как альтернатива применяемым сейчас соединениям с ионами лантаноидов.

Для анализа спинового состояния соединений со спиновым переходом в растворе наиболее подходящим методом является спектроскопия ЯМР. Благодаря различным подходам, индифферентным к наличию в образце примесей, спектроскопия ЯМР позволяет изучать воздействие внешних факторов (изменение температуры, pH среды и т.д.), влияющих на спиновое равновесие комплексов, непосредственно в ампуле (in situ), например, после получения их простым смешением выбранных лигандов и солей металлов. Это существенно ускоряет поиск новых соединений со спиновыми переходами и построение для них корреляций «структура-свойство», необходимых для дальнейшей оптимизации их свойств под требования конкретных применений.

В работе с помощью оптимизации указанных подходов нами был синтезирован и проанализирован ряд гомолептических комплексов железа(II) и кобальта(II) вида  $[M(L)_2](ClO_4)_2$  ( $M = Fe, Co$ ) с лигандами бис(пиразол-3-ил)пиридинового ряда (3-bpp), способными к селективному протонированию или депротонированию (рис. 1). Представители этого семейства лигандов образуют вокруг иона металла координационное окружение, благоприятствующее протеканию у него спинового перехода в доступном для анализа методом ЯМР спектроскопии диапазоне температур [Nikovskiy et al., Chem. Eur. J., 2020, 26, 5629] и подходящее для тонкой «настройки» параметров такого перехода за счёт широких синтетических возможностей их модификации. Так, вошедшие в работу лиганды содержали 4-пиридинильную, гидроксильные, amino- или иминогруппы, способные к обратимому (де-)протонированию, или их комбинации.

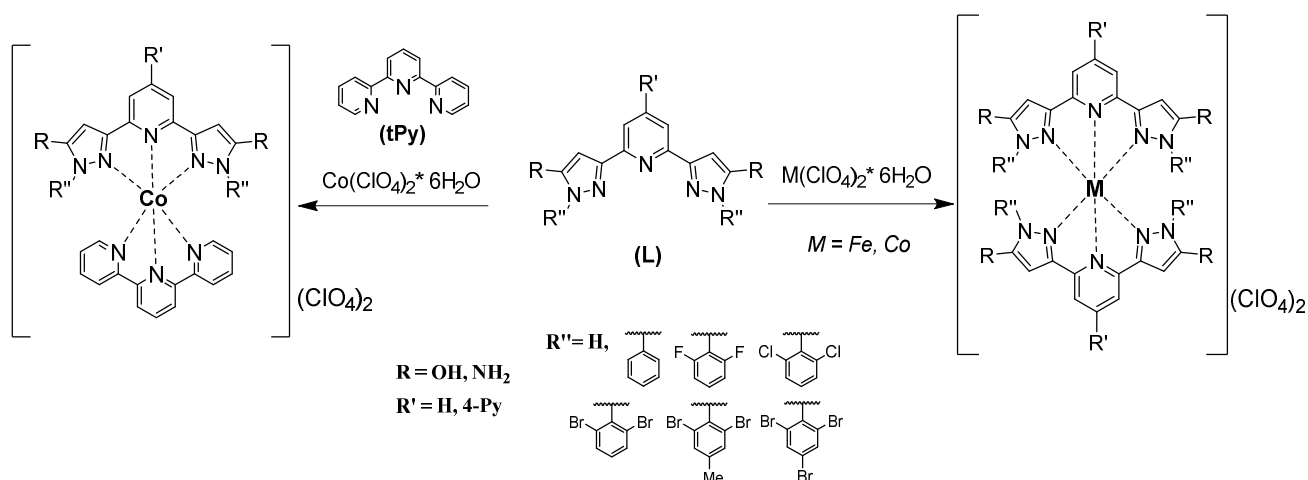


Рисунок 1. Схема получения комплексов железа(II) и кобальта(II) с выбранными лигандами.

Для иона кобальта(II), требующего более сильного поля лигандов для наблюдения спинового перехода в доступном температурном интервале, был также получен и проанализирован *in situ* ряд гетеролептических комплексов вида  $[\text{Co}(\text{L})(\text{tPy})](\text{ClO}_4)_2$ , сочетающих в одной молекуле лиганд семейства 3-bpp (L) и лиганд сильного поля 2,2':6',2''-терпиридин (tPy) (Рис. 1). Сочетание двух видов лигандов в совокупности с возможностью менять силу одного из них за счёт (де-)протонирования призвано расширить возможности тонкой «настройки» параметров спинового перехода.

Для ряда гетеролептических комплексов, образование которых затруднено из-за плохой растворимости лиганда был разработан новый способ получения *in situ*, подразумевающий предварительное депротонирование 3-bpp лиганда и сборку депротонированной формы комплекса с последующим протонированием (рис.2).

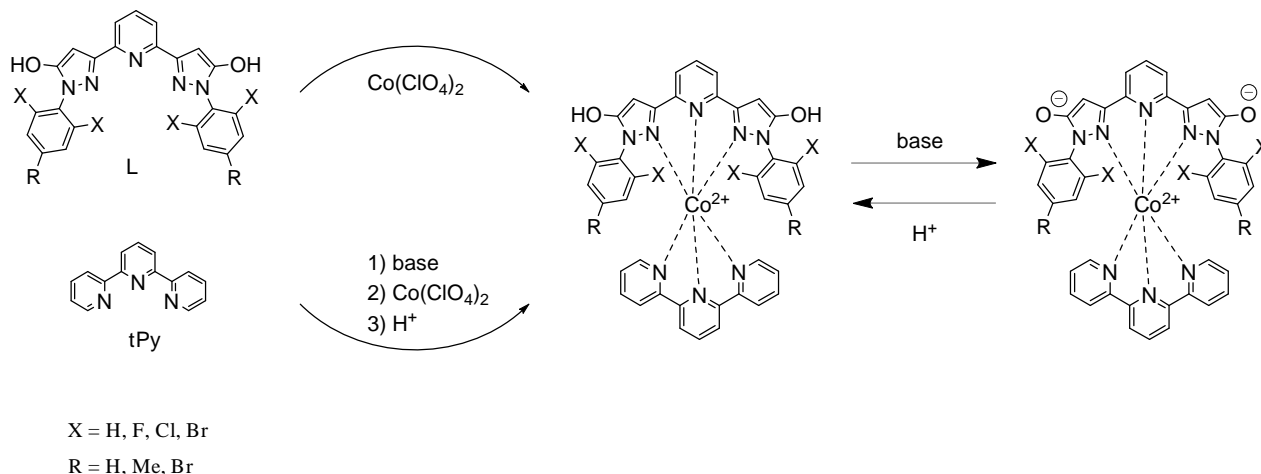


Рисунок 2. Схема получения и обратимого депротонирования гетеролептических комплексов кобальта(II) с выбранными лигандами

С помощью *in situ* спектроскопии ЯМР, а именно подхода, основанного на анализе зависимостей химического сдвига от обратной температуры, оценено влияние обратимого (де)протонирования бис(пиразол-3-ил)пиридинового лиганда на спиновое состояние соответствующих комплексов, полученных непосредственно в ампуле для спектроскопии ЯМР, и их способность к температурно-индуцированному спиновому переходу. Использованный подход позволил выявить влияние кислотности среды на параметры спинового перехода в гомолептических комплексах железа, а также обнаружить редкий случай спинового перехода в растворе для гетеролептического комплекса кобальта(II) с представителем семейства 3-bpp.

#### Список публикаций:

1. Safiullina E. S., Nikovskii I. A., Antoshkina E. P., Nelyubina Y. V. Spin state of the iron (II) complex with a new representative of the 2, 6-bis (pyrazol-3-yl) pyridine series and the effect of protonation in solution // Russian Journal of Coordination Chemistry/Koordinatsionnaya Khimiya. — 2025. — Vol. 51, No. 9. P. 842—850.
2. Safiullina E. S., Nikovskii I. A., Nelyubina Y. V. Analysis of the spin state of the iron complexes with hydroxysubstituted 2,6-bis(pyrazol-3-yl)pyridines for deprotonation in solution // Russian Journal of Coordination Chemistry/Koordinatsionnaya Khimiya. — 2025. — Vol. 51, No. 8. — P. 723–731.
3. Safiullina E. S., Nikovskiy I. A., Nelyubina Y. V. Spin state of the pH-sensitive cobalt(II) complex with the bis(pyrazol-3-yl)pyridine-based ligand // Russian Journal of Coordination Chemistry/Koordinatsionnaya Khimiya. — 2025. — Vol. 51, No. 6. — P. 531–538.
4. Safiullina E. S., Anisimov A. A., Nikovskiy I. A., Nelyubina Y. V. Deprotonation-triggered pathway to heteroleptic complexes: an NMR search for spin-crossover in multicomponent mixtures// Inorg. Chem. (на рецензировании)

Автор: \_\_\_\_\_

Руководитель: \_\_\_\_\_

Сафиуллина Э.С.  
к.х.н., н.с. Никовский И.А.  
05.03.2026



## УЛУЧШЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ СУБСТАНЦИЙ МЕТОДОМ ПОЛУЧЕНИЯ МУЛЬТКОМПОНЕНТНЫХ КРИСТАЛЛОВ

**РАТНИКОВ** Андрей Кириллович

аспирант 2-го года обучения

Содоклад к работе Посыпайко Елизаветы Евгеньевны

Переход к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению невозможен без разработки медицинских материалов и препаратов нового поколения. В последнее время большое внимание, как в научной литературе, так и в фармацевтической индустрии уделяется исследованию увеличения биодоступности препаратов. Значительная доля веществ, представленных на рынке, и подавляющее большинство соединений, находящихся на стадиях разработки в фармацевтических компаниях, имеют плохую растворимость в водных средах. Это существенно снижает терапевтическую эффективность лекарственных препаратов и способствует появлению побочных эффектов.

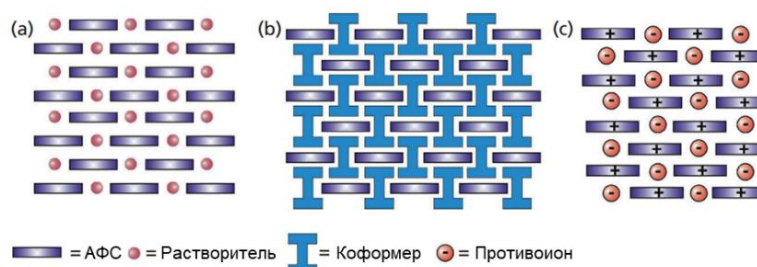


Рисунок 1. Схематическое изображение мультикомпонентных кристаллов.

(а) Сольват, (b) Сокристалл, (c) Соль.

Свойства активной фармацевтической субстанции (АФС) часто улучшают путем создания аморфной или солевой формы чистой молекулы лекарственного препарата (рис. 1). Успешными примерами применения таких подходов являются препараты Гемцитабин, Дапаглифлозин, Маропитант и Нилотиниб. Корректировка свойств АФС может осуществляться и с использованием более современных подходов, основанных на целенаправленной настройке физико-химических свойств многокомпонентных молекулярных кристаллов – сокристаллов. Сокристаллы состоят из активного компонента и коформера – добавки, которая способствует улучшению растворимости, стабильности и механических свойств лекарственной композиции. Метод сокристаллизации АФС активно исследуется и развивается, о чём свидетельствует рост количества публикаций и патентов за последние несколько лет. Тем не менее, не смотря на большие успехи в области мультикомпонентной кристаллизации, до сих пор не удалось успешно улучшить характеристики ряда важных АФС, таких как, например, кабозантиниб – перспективный противоопухолевый препарат, крайне плохо растворимый в водных средах.

### Список литературы:

- а) X. Dai, J. Chen, T. Lu, CrystEngComm, 2018, 20, 5292-5316  
 б) Frišćić T, Jones W. J Pharm Pharmacol. 2010, 11, 1547-59.

**Автор**

**Основной докладчик**

А.К. Ратников 19.03.2026

Е.Е. Посыпайко 19.03.2026

# АНАЛИЗ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ МЕТОДОМ ПАРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В БИОСИСТЕМАХ

*РОМАНЕНКО Александр Романович*

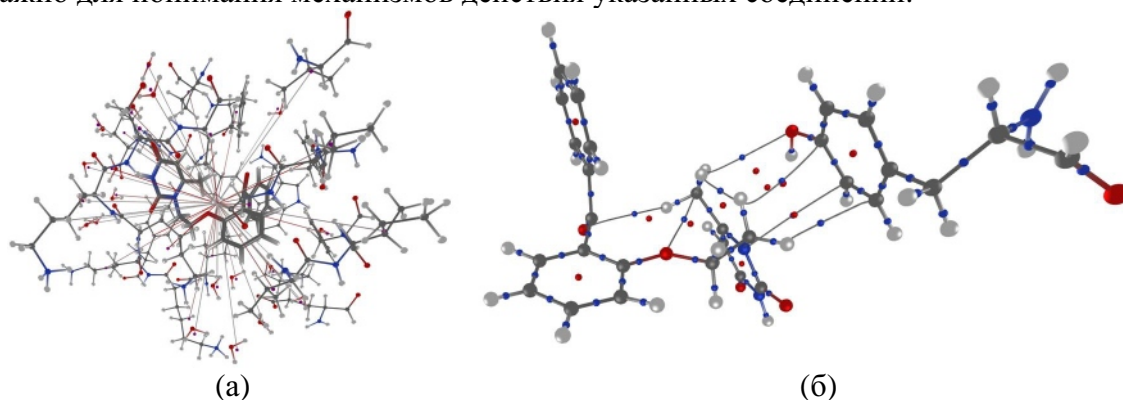
аспирант 2-го года обучения

лаборатория рентгеноструктурных исследований, №201

Целью данной работы является адаптация реализованного ранее метода парных взаимодействий для расчета и анализа энергии связывания в биосистемах, а именно в комплексах типа «лиганд-рецептор». Для достижения поставленной цели была модифицирована предложенная ранее методика и адаптированы разработанные программные инструменты для работы с биосистемами.

За отчетный период нами была разработана комплексная методика расчета, включающая этапы подготовки исходных структур, проведения молекулярно-динамических расчетов для получения репрезентативных конформаций области активного центра комплексов и последующего расчета энергии взаимодействия «лиганд-рецептор» методом парных взаимодействий. Для автоматизации данного процесса были адаптированы существующие и разработаны новые программные инструменты, позволяющие в полуавтоматическом режиме подготавливать данные и производить вычисления для систем типа «лиганд-рецептор».

Так, в результате применения разработанной методики был проведен анализ энергии взаимодействия в комплексах трех соединений с биологическими мишенями: соединения VMU-2021-05 с ВИЧ-1 обратной транскриптазой, азацитидина с пептидил-тРНК-гидролазой и ламивудина с дезоксицитидинкиназой. Применение модифицированного метода парных взаимодействий позволило не только оценить общую энергию связывания, но и изучить вклад отдельных фрагментов лиганда и аминокислотных остатков рецептора в стабилизацию комплекса с использованием методов различного уровня теории (B3LYP, DLPNO-CCSD(T)), что важно для понимания механизмов действия указанных соединений.



**Рисунок 1.** (а) Визуализация активной зоны ВИЧ-1 обратной транскриптазы с VMU-2021-05 и энергий взаимодействия в ней, (б) критические точки и связевые пути пары с самой сильной энергией взаимодействия.

## Список публикаций:

1. Романенко А. Р., Корлюков А. А. // Журнал структурной химии. — 2025. — Т. 66, № 11. — С. 155042–155042.
2. Романенко А. Р., Дяченко В. И., Корлюков А. А. // Известия Академии наук. Серия химическая. — 2026. — Т. 75, № 4.

Автор:

Романенко А.Р.

Руководитель:

в.н.с., д.х.н., проф. РАН Корлюков А.А.

3.03.2026

# ФХ

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В СИСТЕМАХ «ЛИГАНД-РЕЦЕПТОР»

*КОВАЛЕНКО Сергей Александрович*

*аспирант 3-го года обучения*

*1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.4.4. Физическая химия*

*Содоклад к работе Романенко Александра Романовича*

Межмолекулярные взаимодействия (Ван-дер-Ваальсовы взаимодействия, водородные связи, стэкинг и др.) представляют собой основу и определяют физические свойства веществ, растворимость и селективность реакций. В биологических системах эти слабые нековалентные взаимодействия играют ключевую роль: они обеспечивают формирование вторичной и третичной структуры ДНК и белков, лежат в основе ферментативного катализа и молекулярного узнавания по принципу комплементарности, а также регулируют стабильность мембран и обеспечивают внутриклеточный транспорт.

Особое значение межмолекулярные взаимодействия приобретают в контексте систем «лиганд-рецептор», где они выступают физико-химической основой фармакологического эффекта. Понимание природы этих взаимодействий позволяет осуществлять рациональный дизайн лекарств, модифицируя структуру лекарственной молекулы для достижения максимальной комплементарности активному центру.

Изучение и количественная оценка межмолекулярных взаимодействий требуют комплексного подхода, сочетающего экспериментальные и теоретические методы. Экспериментально анализ этих взаимодействий проводят с использованием рентгеноструктурного анализа (для визуализации контактов в кристаллах белков и комплексов), а также спектроскопии ядерного магнитного резонанса (для изучения динамики и расстояний в растворе). Зачастую массив полученных данных формализуется в набор чисел – дескрипторов, количественно описывающих свойства молекулы (молекулярный объем  $V_{mol}$ , кислотность  $pK_a$ , число функциональных групп и др.) [а]. Такой подход позволяет классифицировать молекулы на основе их свойств (или выявлять группы сходных по свойствам молекул) и значительно упростить анализ, но имеет ограниченную предсказательную силу.

Широко используются и теоретические методы моделирования, например, QM/MM – сочетание точности квантовой механики и скорости вычислений молекулярной механики. Так, для моделирования наиболее важной части белка, активного центра, используются методы QM и вычисляется волновая функция, в то время как остальная часть белка описывается методом MM [б; в]. Наряду с этим, возможно использование квантовой теории Бейдера «Атомы в молекулах», метода нековалентных взаимодействий (NCI) [г] и метода парных взаимодействий, раскладывающего энергию связывания на сумму вкладов отдельных молекулярных пар. Набор перечисленных методов позволяет выявлять ключевые структурные фрагменты, отвечающие за связывание, что дает основу для целенаправленной модификации структуры лиганда.

Список литературы:

а) Andrews, P. R., D. J. Craik, and J. L. Martin., J. Med. Chem., 1984, 27(12) 1648-1657; б) Khrenova M.G., Krivitskaya A.V., Tsirelson V.G., New J. Chem., 2019, 43(19), 7329–7338; в) Hu, L., Soderhjelm, P., & Ryde, U., J. Chem. Theory Comput., 2013, 9(1), 640-649; г) Johnson, E. R., Keinan, S., Mori-Sánchez, P., Contreras-García, J., Cohen, A. J., & Yang, W., J. Am. Chem. Soc., 2010, 132(18), 6498-6506.

**Автор:**

*(Коваленко С.А.), 19.03.2026*

**Основной докладчик:**

*(Романенко А.Р.), 19.03.2026*

*Секция*  
*«Органическая и биоорганическая*  
*химия»*

## ГАЗОВЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ СО В РЕАКЦИЯХ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ

*БАЛАЛАЕВА Александра Игоревна*

аспирант 4-го года обучения

лаборатория **Эффективного катализа, №103**

Разработка доступных синтетических путей для создания ключевых структурных фрагментов в ценных органических соединениях неразрывно связана с использованием селективных реагентов. Монооксид углерода показал себя селективным восстановителем в ряде реакций восстановительного присоединения. В промышленности основной объем монооксида углерода образуется в виде газовых смесей. Разработка и изучение реакций с использованием таких доступных форм монооксида углерода представляет интерес в поиске селективных восстановительных процессов создания связей C–C и C–N.

Синтез-газ (смесь CO, H<sub>2</sub>) как восстановитель совмещает в себе селективность CO и активность H<sub>2</sub>, открывая возможности для более эффективных восстановительных процессов. В ходе исследования применения синтез-газа в родий-катализируемой реакции восстановительного аминирования (Схема 1) были достигнуты условия реакции, в которых сохранялись ценные функциональные фрагменты, встречающиеся в лекарственных препаратах.[1] Процесс протекает в доступной каталитической системе с использованием ацетата родия в качестве катализатора.

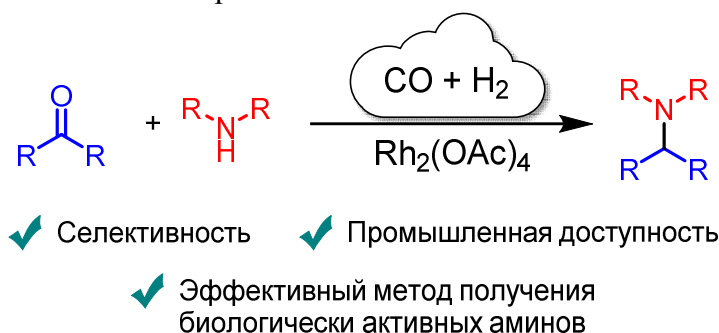


Схема 1. Использование синтез-газа в реакции восстановительного аминирования.[1]

Применение синтез-газа в качестве восстановителя открыло возможность использования производных тетрагидрофурана в качестве доступных источников C-4 и C-5 фрагментов (Схема 2) в реакции N-алкилирования анилинов.[2] Реакция протекает с раскрытием тетрагидрофуранового кольца и введением алифатических фрагментов. Оптимизация условий реакции показала возможность селективного моно- или бис-N-бутилирования анилинов тетрагидрофураном в простой каталитической системе, где в качестве катализаторов использовались простые соли кобальта. Показана возможность применения 2-метил-тетрагидрофурана в качестве алкилирующего агента для получения производных N-пентиланилинов. Структурный фрагмент N-алкиланилинов встречается в структуре фармацевтических субстанций, фотосенсибилизаторов солнечных батарей и флуоресцентных красителей в гистологии. Разработанный метод является более атом-экономичной и экологичной альтернативой реакции алкилирования с использованием канцерогенных и токсичных производных алкилгалогенидов.

# ОБОХ

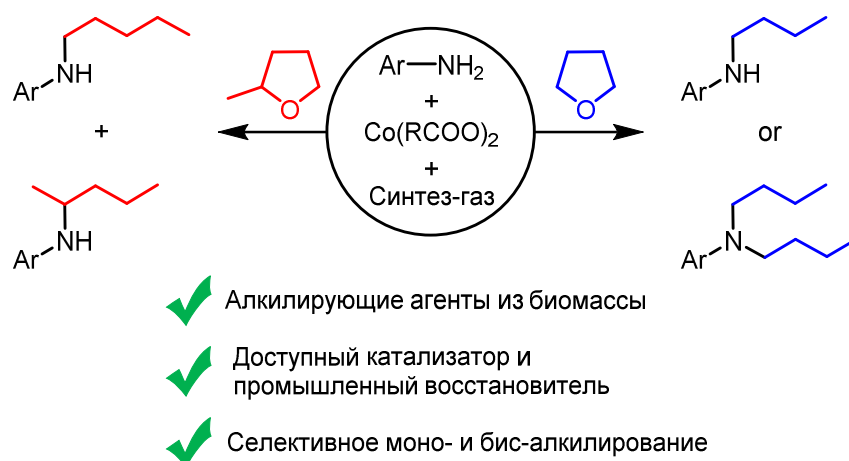


Схема 2. Алкилирование анилинов производными тетрагидрофурана.[2]

Еще одной распространенной промышленной газовой смесью на основе СО является конвертерный газ (СО, СО<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) – отход производства стали. Применение этой газовой смеси было рассмотрено на примере реакции восстановительной альдольной конденсации (Схема 3) для создания связи С–С.[3] В ходе оптимизации процесса было найдено, что подходящие условия для синтеза ряда субстратов с функциональными фрагментами могут быть достигнуты при контринтуитивной стратегии – вместо использования более структурно сложного катализатора для селективного проведения реакции было проведено повышение температуры на простом катализаторе (RuCl<sub>3</sub>). Такой метод позволил получить ряд субстратов, включающий лекарственные субстанции, не прибегая к затратному синтезу комплексных соединений. Сохранение функциональных фрагментов непосредственно связано с использованием селективного восстановителя, который, в отличие от распространенных гидридных восстановителей и молекулярного водорода, не допускает протекание побочных процессов гидрирования функциональных групп.

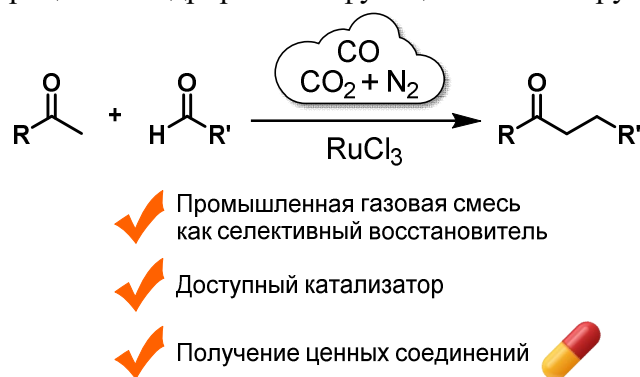


Схема 3. Применение конвертерного газа в реакции восстановительной альдольной конденсации.[3]

## Список публикаций:

- [1] E. Podyacheva, A. I. Balalaeva, O. I. Afanasyev, S. A. Runikhina, O. Chusova, A. S. Kozlov, S. Liao, D. Chusov, *New J. Chem.* 2023, 47, 10514–10518.
- [2] A. I. Balalaeva, Z. Wu, E. Podyacheva, O. I. Afanasyev, R. V. Jagadeesh, M. Beller, D. Chusov, *ChemSusChem.* 2025; 18, e202402622.
- [3] E. Podyacheva, Z. Ma, A. I. Balalaeva, O. I. Afanasyev, R. V. Jagadeesh, M. Beller, D. Chusov, *J. Catal.* 2026, 454, 116583.

Автор:

/Балалаева А.И.

Руководитель:

/г.н.с., д.х.н. Чусов Д.А.

05.03.2026

## ПОИСК НОВЫХ ФТОРАРОМАТИЧЕСКИХ МОНОМЕРОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН

*ХРОМОВ* Георгий Алексеевич

аспирант 3-ого года обучения

лаборатория **Фторорганических соединений**, №114

Топливные элементы являются одним из приоритетных направлений развития водородной энергетики и привлекают значительное внимание научного и промышленного сообществ. Традиционно для низкотемпературных топливных элементов в качестве протонообменных мембран используются коммерческие перфторированные мембраны (Nafion®, Hyflon®, Aciplex®, Dyneon®), представляющие собой сополимеры тетрафторэтилена с перфторалифатическими виниловыми эфирами, содержащими сульфокислотные группы. Ранее нами были синтезированы перфторароматические аналоги данных эфиров и изучена их полимеризационная активность [1-2], которая, од нако, оказалась весьма ограниченной. С учетом полученных результатов работа была продолжена в направлении поиска новых ароматических фторированных мономеров.

В отчетном периоде исследованы пути синтеза ряда функционализированных фторароматических стиролов, а также полисульфотриидных мономеров. Успешно синтезирован фтормономер бугадиенового типа, для которого изучена прививочная полимеризация к пленкам поливинилиденфторида. Кроме того, исследованы возможности синтеза сульфамидных мономеров на основе ранее синтезированных фторароматических виниловых эфиров. Накопленный экспериментальный материал позволяет определить наиболее эффективные синтетические пути для получения новых фторомономеров, перспективных для создания протонпроводящих мембран.

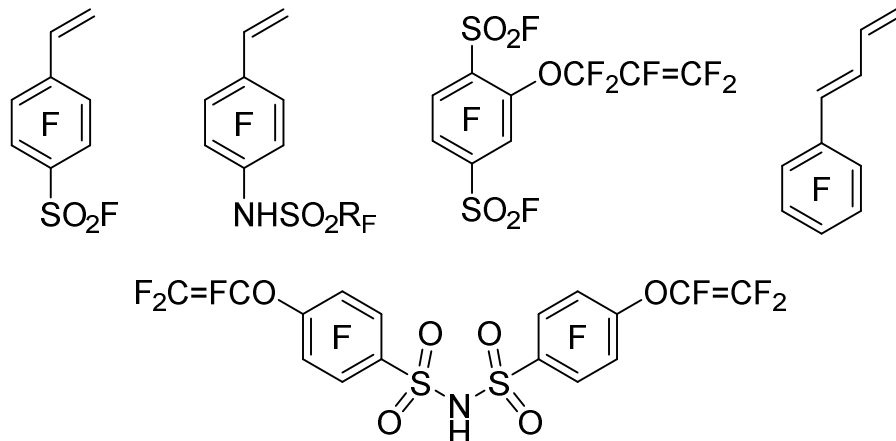


Рис. 1. Фторароматические мономеры для создания протонпроводящих мембран

### Список публикаций:

- [1] Tyutyunov A.A., Goriachuk I.O., Polunin E.V., Sokolov V.I., Khromov G.A., Igumnov S.M. // Fluorine notes, 2025, 6(163).  
 [2] Тютюнов А.А., Хромов Г.А. Патент РФ № 2855910. Бюл. 2026. № 4.

Автор:

Руководитель:

\_\_\_\_\_

асп. Хромов Г.А.

к.х.н., с.н.с. Тютюнов А.А. (05.03.2026)

## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЕРФТОРИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МЕМБРАН

*ГАЖЕЕВ Сорол Тумэнович*

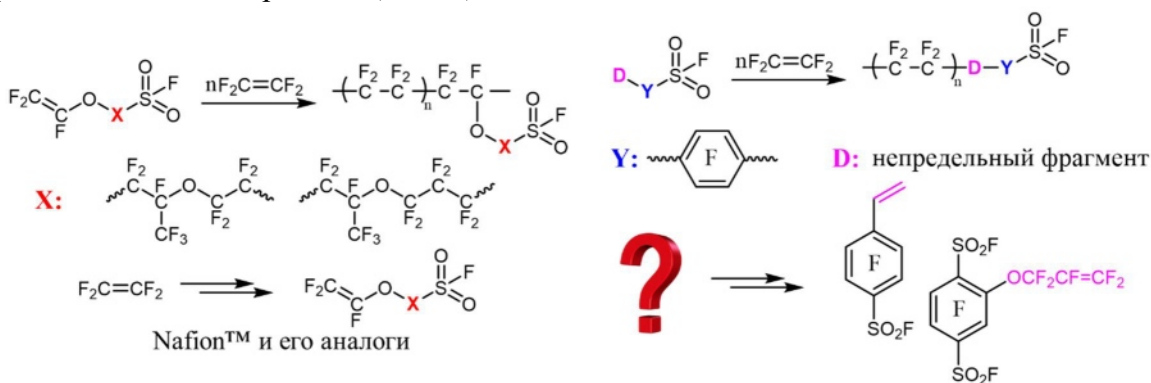
*аспирант 3-го года обучения*

*Секция 1.4.7. Высокмолекулярные соединения*

*Содоклад к работе Хромова Георгия Алексеевича*

В последние десятилетие наблюдается повышенное внимание мирового сообщества к проблеме антропогенного воздействия на окружающую среду. Ключевым фактором негативного влияния на экологию нашей планеты является выработка энергии за счет интенсивного сжигания ископаемого топлива. В связи с этим на сегодняшний день одним из приоритетных направлений развития химической промышленности и энергетики является разработка альтернативных источников энергии, в частности, экологически чистых топливных элементов (ТЭ).

В ТЭ используются различные типы электролитов, среди которых особое место занимают протонпроводящие мембраны на основе фторированных полимеров, содержащих кислотные группы. Такие полимерные электролитные мембраны для ТЭ, как правило, получают сополимеризацией коммерчески доступных перфторированных алифатических виниловых эфиров с тетрафторэтиленом. Данные технологии реализованы рядом компаний, такими как DuPont, Dow Chemical, Asahi Glass Company и др., с небольшими различиями в длине и структуре алифатических фрагментов исходных мономеров. Традиционные перфторированные мембраны обладают удовлетворительными протонпроводящими свойствами ( $10^{-1} - 10^{-2}$  См/см), однако их эксплуатация ограничена низким температурным диапазоном (до  $80^{\circ}\text{C}$ ) из-за обезвоживания, что приводит к резкому снижению проводимости. К дополнительным недостаткам относятся высокая стоимость и склонность к деградации. Одним из перспективных подходов для дальнейшего улучшения проводящих свойств полимерных материалов для ТЭ является переход от перфторалифатических мономеров в пользу перфторароматических аналогов, поскольку перфторированные ареновые производные обладают потенциально большей способностью к введению нескольких сульфогрупп, что напрямую коррелирует с повышением протонной проводимости и общей эффективностью мембраны<sup>a, б</sup> (Рис. 1).



**Рисунок 1.** Подходы к синтезу перфторированных полимерных мембран

Список используемой литературы:

- A.A. Tyutyunov, G.A. Khromov, S.M. Igumnov, Fluorine Notes, 2024, 154, 3-4
- B. Améduri, B. Boutevin, G. Kostov, J. Prog. Polym. Sci., 2001, 26, 105-187

**Автор:**

Гажеев С.Т. 19.03.26

**Основной докладчик:**

Хромов Г.А. 19.03.26

# МЕТАЛЛ-ТЕМПЛАТНЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ АМИНОКИСЛОТ С ИЗОКУМАРИНОВЫМ ЯДРОМ НА ОСНОВЕ ХИРАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ НИКЕЛЯ

ЗАВАЛЮЕВ Владислав Юрьевич

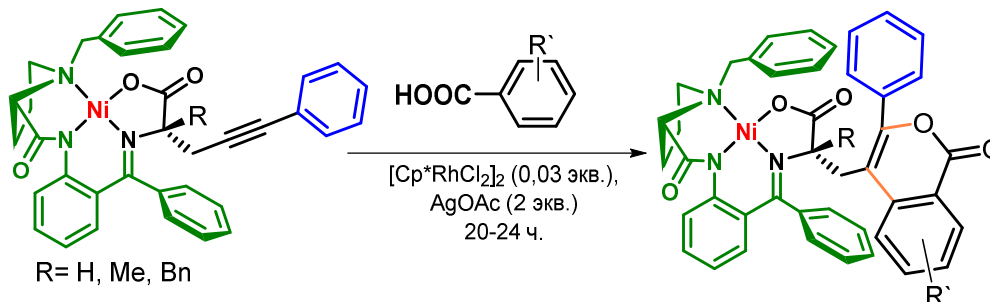
Аспирант 2-го года

лаборатория **Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений № 136**

Использование в органическом синтезе металл-темплатного подхода к синтезу новых неприродных аминокислот остается очень востребованным и перспективным направлением, несмотря на достаточное количество работ в данной области. Использование в качестве субстратов хиральных комплексов Ni(II) позволяет вводить в  $\alpha$ -положение аминокислот различные заместители, что открывает возможность получения практически неограниченного количества потенциально полезных аминокислот для применения в различных областях науки.

Одним из перспективных направлений разработки новых лекарств является получение небелковых аминокислот содержащих изокумариновый фрагмент. Молекулы, содержащие указанный фрагмент, могут находить применение в получении новых противоопухолевых препаратов.

Целью данной работы является синтез комплексов изокумариновых аминокислот с различными заместителями для последующего выделения целевых аминокислот.



**Схема 1.** Реакция присоединения бензойной кислоты к хиральным комплексам никеля(II).

В работе проведен синтез хиральных комплексов никеля, содержащих аминокислоты с изокумариновым фрагментом, с использованием в качестве субстратов глицинового, аланинового и фенилаланинового комплексов. Обнаружено, что в процессе реакции образуется второй региоизомер.

Полученные комплексы охарактеризованы методом ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , а также масс-спектрометрией. Структура некоторых комплексов подтверждена рентгеноструктурным анализом.

Автор: \_\_\_\_\_

В.Ю. Завалюев

Руководитель: \_\_\_\_\_  
Ларионов

д.х.н., в.н.с. В.А.

05.03.2026

## ХИРАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МЕТАЛЛОВ КАК ТЕМПЛАТЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ НЕПРИРОДНЫХ АМИНОКИСЛОТ

*Жуков Рустам Олегович*

*аспирант 2-го года обучения*

*1.4.7. «Высокомолекулярные соединения»*

*Содоклад к работе Завалюева Владислава Юрьевича*

Неприродными (непротеиногенными) называются аминокислоты и их производные, не используемые для рибосомального синтеза белков. Несмотря на это, многие из них выполняют важные функции в живых организмах. Например, ГАМК является важнейшим нейромедиатором, а D-аланин входит в состав пептидогликана клеточных стенок бактерий. Кроме того, неприродные аминокислоты существуют в организмах в качестве промежуточных продуктов биосинтеза многих природных соединений. Данное свойство делает их важным фармацевтическим сырьем. Синтетическое получение неприродных аминокислот возможно из протеиногенных аналогов путем химических модификаций, таких как замещение в углеродном скелете, алкилирование аминогруппы. В настоящее время внимание исследователей сосредоточено на методах асимметрического синтеза с помощью хиральных комплексов металлов с подвижным водородом, также известных как комплексы Белокопя (рис.1).

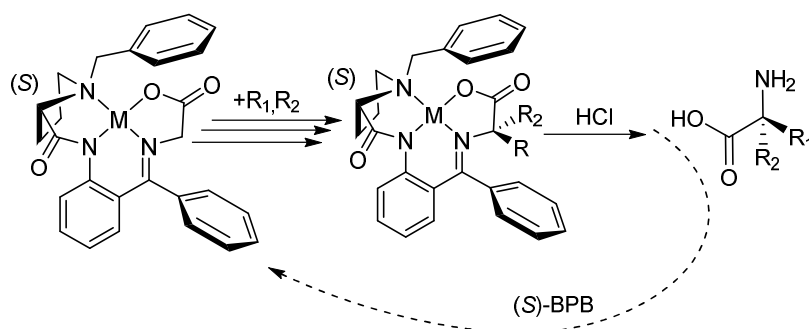


Рис. 1. Получение аминокислот методом Белокопя.

Хорошо изучены комплексы Белокопя всего нескольких металлов. Хронологически первыми были исследованы комплексы меди<sup>а</sup>, которые, несмотря на сложность, многоступенчатость проведения реакции, показали свою высокую эффективность. В дальнейшем тщательно исследовались комплексы никеля<sup>б,в</sup>, оказавшиеся значительно более эффективными в проведении реакции Михаэля. С помощью комплексов никеля также была показана потенциальная пригодность комплексов Белокопя для промышленного производства аминокислот<sup>г</sup>. В настоящее время внимание исследователей сосредоточено на комплексах металлов платиновой группы, которые по некоторым данным<sup>д</sup> могут обладать антибактериальной активностью, а значит потенциально ценны сами по себе с фармацевтической точки зрения.

Перспективными материалами для синтеза новых лекарств являются соединения, содержащие изокумариновый фрагмент, благодаря своим противоопухолевым свойствам, следовательно, получение аминокислот содержащих в своей структуре данное ядро представляет интерес для медицинской химии.

Список литературы:

а) Yu. N. Belokon' et al., J. Am. Chem. Soc. 1983, 105, 2010–2017.

б) Yu. N. Belokon', S. M. Motsishkite, V. I. Tararov, and V. I. Maleev, Org. Chem.. 1991, 1355–1360.

в) Yu. N. Belokon', et al., Tetrahedron. 1988, 44, 17, 5507–5514.

г) Yu. N. Belokon', et al., Tetrahedron: Assymetry. 1998, 9, 4249–4252.

д) Huajian Z., Jiang W., Yunfu L., V. A. Soloshonok, Lefu L., Jinyi Xu, Hong L., J. Org. Chem. 2023, 88, 3808–3821.

Автор:

/Жуков. Р.О./ 19.03.2026

Основной докладчик:

/Завалюев В.Ю./ 19.03.2026

# ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕНОЛЯТОВ И АЛКОГОЛЯТОВ МАГНИЯ В КАЧЕСТВЕ АКТИВАТОРОВ В ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭТИЛЕНА

*ВИХРОВ Антон Олегович*

аспирант 2 года обучения

лаборатория **Асимметрического катализа, №116**

На сегодняшний день большая часть полиолефинов производится на классических и модифицированных катализаторах Циглера-Натта, однако, по данным открытой печати, в мировую промышленность активно внедряются катализаторы металлоценовой и пост-металлоценовой природы. Серьезным ограничением широкого применения металлоценов 4-группы является сложность их синтеза, высокая себестоимость и потребность в использовании дорогих оригинальных активаторов – полиалюмоксанов или производных перфторфенилбората. Активному использованию разработанных в нашей научной группе биметаллических металлоорганических со-катализаторов общего состава  $\{n\text{Alk}_m\text{AlCl}_3\cdot m+\text{Alk}_2\text{Mg}\}$  также сопутствуют некоторые трудности. Так, например, сложность получения несольватированных алкилмагниевых соединений в связи с их склонностью образовывать ассоциаты. Именно поэтому работы по разработке новых каталитических систем, лишенных вышеперечисленных недостатков, по-прежнему актуальны.

Ранее нами были представлены несколько первых примеров фенолятов и алкоголятов магния как эффективных и доступных активаторов в полимеризации этилена. За прошедший отчетный период для расширения серии новых составов со-катализаторов нами были исследованы аналоги как фенолметанолята, так и феноксидов магния (Схема 1). Все полученные активаторы тестировались на модельной реакции полимеризации этилена на титандихлоридном комплексе с салигениновым лигандом. В ходе экспериментов был использован прием преактивации, заключающийся в предварительном взаимодействии алюмоорганического соединения с феноксидами магния до начала каталитического процесса. Для установления оптимальных условий проведения реакции в данных экспериментах варьировались соотношения Al/Mg, метода формирования активатора, температуры и времени преактивации.

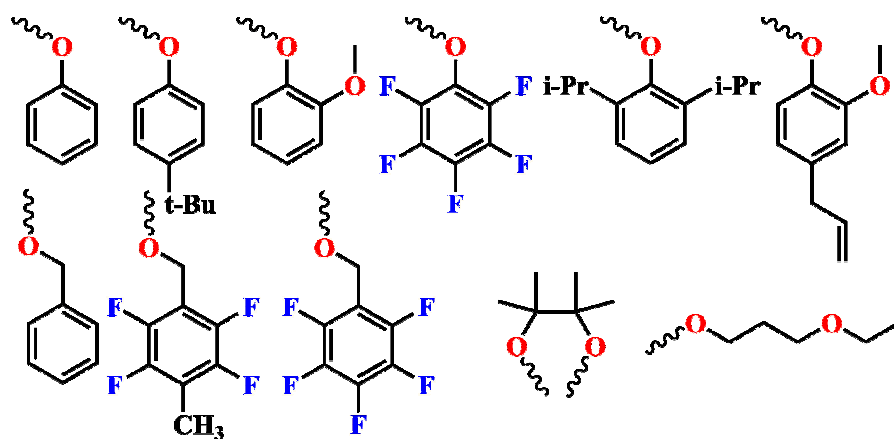


Схема 1. Исследованные алкоксиды и феноксиды магния

Автор:

Руководитель:

Вихров А.О.

д.х.н., проф. Малеев В.И.

05.03.2026

## АКТИВИРУЮЩИЕ КОМПОНЕНТЫ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ОЛЕФИНОВ

*ДРОЗДОВ Антон Павлович*  
аспирант 3-го года обучения

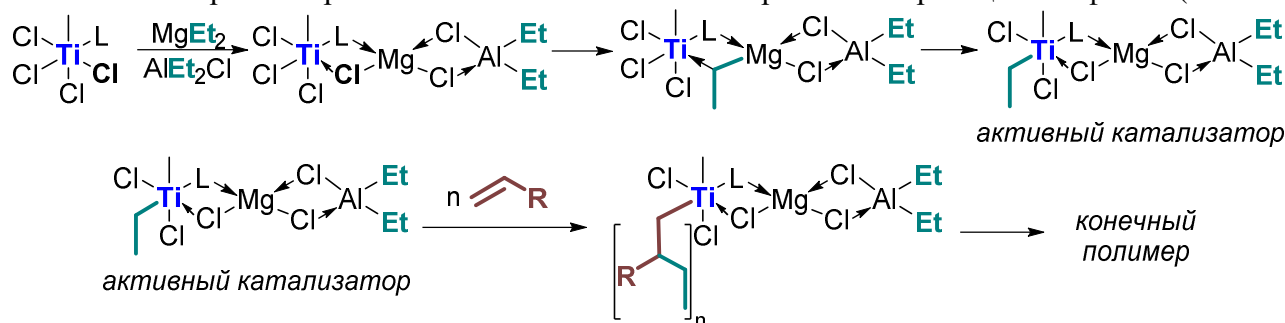
1.4.3. Органическая химия

Содоклад к работе Вихрова Антона Олеговича

Использование полимерных материалов высоко востребовано во многих отраслях промышленности. Например, гибкость и химическая стойкость материалов на основе полиэтилена предпочтительна для упаковочных материалов – пленок, пакетов, контейнеров и т.д. Полипропилен, с другой стороны, лучше всего подходит для применений, где требуются более высокие температуры плавления и большая жесткость материала.

В настоящее время линейные полиолефины производятся с использованием трех типов катализаторов: (а) Филлипса на основе оксида хрома, (б) Циглера-Натта на основе тетрахлорида титана, и (в) металлоценов. Кроме того, в последние десятилетия активное развитие получили пост-металлоценовые катализаторы, в которых ранние переходные металлы стабилизированы другими типами (неметаллоценовых) лигандов. При этом каждый из перечисленных типов катализаторов (а-в) удовлетворяет потребности разных сегментов рынка полиолефинов.

Еще в 1950-х годах было обнаружено, что добавление небольших количеств алкилов металлов ( $\text{AlEt}_3$ ,  $\text{VEt}_3$ ,  $\text{ZnEt}_2$ ,  $\text{Al}(\text{i-Bu})_3$ ,  $\text{Et}_2\text{AlOEt}$ ,  $\text{MgBuOct}$ ,  $\text{Al}(\text{i-Bu})_2\text{H}$ ,  $\text{n-BuLi}$  и т.д.), в качестве «активаторов», может повысить активность катализаторов, а также модифицировать производимые ими полимеры. Каждый тип активатора способен по-разному влиять на структуру и свойства получаемых полимеров. Здесь значительный интерес представляет смесь Al- и Mg-алкилов, способная активировать практически все типы катализаторов полимеризации олефинов (схема 1).



**Схема 1.** Предполагаемое взаимодействие компонентов каталитической системы

Однако высокая стоимость активаторов, их низкая химическая стабильность, требующая использования инертной атмосферы, ограниченная растворимость и необходимость их применения в избыточных количествах являются серьезной проблемой. Решение этих задач является одним из центральных вызовов в этой области.

Список используемой литературы:

- а) Max P. McDaniel, *Advances in Catalysis*, 53, 2010.
- б) Mikenas T.B., Zhao Zenghui, Guan P. Matsko M. A., Zakharov V.A., *Catalysts*, 2022, 12, 9, 351-359.
- в) Jugal Kumawat, Virendra Kumar Gupta, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2021, 33, 3332-3343.
- г) Kurmaev D.A., Tuskaev V.A., Gagieva S.C., Golubev E.K., Evseeva M.D., Strelkova T.V., Bulychev B.M., *Organometallics*, 2024, 23, 3022-3030.
- д) Nifant'ev I.E., Komarov P.D., Kostomarova O.D., Kolosov N.A., Ivchenko P.V., *Polymers*, 2023, 15, 3095.

**Автор:**

(Дроздов А.П.), 19.03.25

**Основной докладчик:**

(Вихров А.О.), 19.03.25

# ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ RET-СЕНСОР НА КАТИОНЫ МЕДИ (II) НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ 4-МЕТОКСИ-1,8-НАФТАЛИМИДА И СТИРИЛПИРИДИНА

КУЦЕВАЛОВА Ульяна Александровна

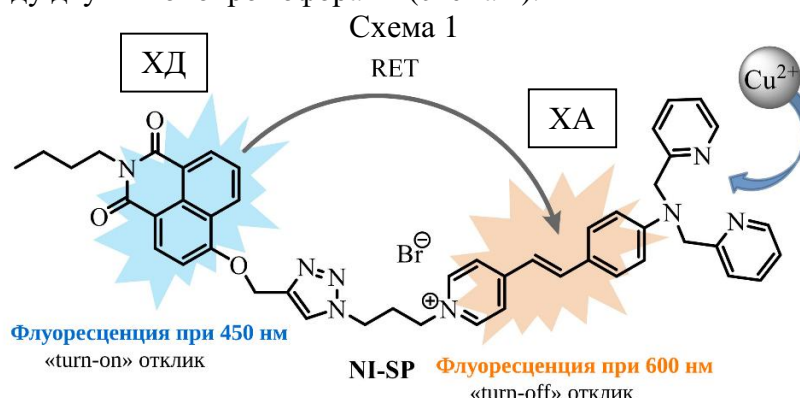
аспирант 1 года обучения

лаборатория **Фотоактивных супрамолекулярных систем, №107**

Катионы меди (II) участвуют во многих процессах, происходящих в живом организме, таких как клеточное дыхание, метаболизм железа и синтез нейромедиаторов, а нарушение обмена катионов меди может служить маркером заболеваний. Кроме того,  $\text{Cu}^{2+}$  относится к распространенным неорганическим загрязнителям, что делает мониторинг его содержания в биологических системах и объектах окружающей среды важной аналитической задачей.

Одним из наиболее высокочувствительных способов детектирования ионов металлов является оптическая спектроскопия. Молекулы оптического сенсора на катионы металлов, используемые в данном методе, включают в себя два функциональных фрагмента: рецептор, связывающийся с аналитом, и хромофор, изменение оптических характеристик которого служит аналитическим сигналом. В последние годы набирает популярность ратиометрический подход, в рамках которого в состав сенсора включают два хромофора, что позволяет проводить количественное определение аналита за счет регистрации отношения интенсивностей флуоресценции на двух длинах волн.

Цель работы заключается в получении бисхромофорной системы с ратиометрическим откликом на  $\text{Cu}^{2+}$ , в которой осуществляется резонансный перенос энергии (resonance energy transfer, RET) между двумя монохромофорами (схема 1).



В рамках данной работы хромофор-акцептор (ХА) энергии с рецепторной группой, демонстрирующий тушение флуоресценции при образовании комплекса с  $\text{Cu}^{2+}$ , комбинируется с хромофором-донором (ХД), испускающим в другой спектральной области. При этом в составе бисхромофорной системы сигнал флуоресценции ХД уменьшается из-за резонансного переноса энергии на ХА, а в присутствии  $\text{Cu}^{2+}$  – разгорается, так как RET частично блокируется. В результате, при разном содержании  $\text{Cu}^{2+}$  в растворе соотношение интенсивностей полос испускания на двух длинах волн будет отличаться, следовательно, появится возможность калибровать один сигнал по отношению к другому и проводить ратиометрическое определение концентрации  $\text{Cu}^{2+}$  в условиях, когда концентрация сенсора неизвестна, например, в клетках.

В качестве ХД выступает производное 4-алкокси-1,8-нафталимида, а в качестве ХА – производное стирилпиридина, содержащее рецепторный дипиколиламиновый фрагмент и имеющее отклик «turn-off» на  $\text{Cu}^{2+}$ . В рамках работы был осуществлен синтез моно- и бисхромофорных сенсоров на катион меди (II), изучены оптические и комплексообразующие свойства NI-SP в водном растворе, а также проведены исследования в условиях *in vitro*.

## Научные публикации

Panchenko P.A., Pavlova M.A., Efremenko A.V., Kutsevalova U.A., et. al., *Front. Chem. Sci. Eng.*, 2025, 19(9), 82.

**Автор:**

**Руководители:**

У.А. Куцевалова

М.А. Павлова

П.А. Панченко,

05.03.2026

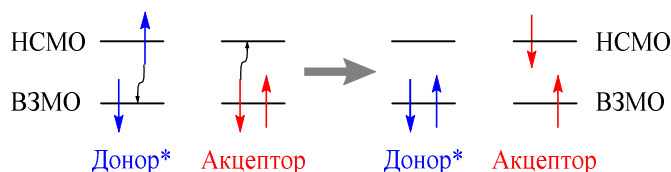
## РЕЗОНАНСНЫЙ ПЕРЕНОС ЭНЕРГИИ В БИСХРОМОФОРНЫХ СЕНСОРАХ

*БАРАННИКОВА Лада Владимировна  
аспирант 2-ого года обучения*

1.4.7. «Высокомолекулярные соединения»  
Содоклад к работе Куцеваловой Ульяны Александровны

В оптической спектроскопии бисхромороформными сенсорами называют молекулярные системы, состоящие из двух связанных линкером светочувствительных фрагментов – хромофора-донора (ХД) и хромофора-акцептора (ХА), один из которых обычно содержит рецептор, способный связываться с аналитом. Между двумя хромофорами может осуществляться резонансный перенос энергии (RET, Resonance Energy Transfer), эффективность которого зависит от определенных условий – расстояние между ХД и ХА должно находиться в диапазоне 10–100 Å, спектр испускания хромофора-донора должен перекрываться со спектром поглощения хромофора-акцептора, а также взаимной ориентации дипольных моментов электронных переходов ХД и ХА.

Резонансный перенос энергии представляет собой процесс безызлучательной передачи энергии, основанный на дальнедействующих диполь-дипольных взаимодействиях между донором и акцептором. При фотовозбуждении энергия донора в возбужденном состоянии может быть передана акцептору, который находится в основном состоянии.



При этом в спектре испускания системы при фотовозбуждении донорного компонента наблюдается тушение его эмиссии и разгорание более длинноволновой флуоресценции акцептора. Связывание аналита рецепторным фрагментом индуцирует изменения сенсора, которые приводят к нарушению условий эффективного переноса энергии, что проявляется в разгорании флуоресценции донора и тушении акцептора.

Ключевым преимуществом бисхромороформных сенсоров, функционирующих на основе RET-процесса, является возможность ратиометрического детектирования. В данном методе регистрация сигнала осуществляется не по абсолютной интенсивности флуоресценции одного хромофора, а по отношению интенсивностей эмиссии донора и акцептора. При этом это отношение меняется от лиганда к комплексу и зависит от концентрации аналита. Такой подход обеспечивает самокалибровку сигнала и делает анализ независимым от флуктуаций концентрации сенсора, нестабильности источника возбуждения или изменений оптических свойств среды.

### Список литературы

- Pavlova M.A., Panchenko P.A., Fedorova O.A. Mendeleev Communications, 2024. Vol. 34. 335-337.
- Panchenko P.A., Fedorov Y.V., Fedorova O.A., Jonusauskas G. Phys. Chem. Chem. Phys., 2015. Vol. 17. 22749-22757

Автор: \_\_\_\_\_ Баранникова Л.В.

Основной докладчик: \_\_\_\_\_ Куцевалова У.А.

17.03.2026

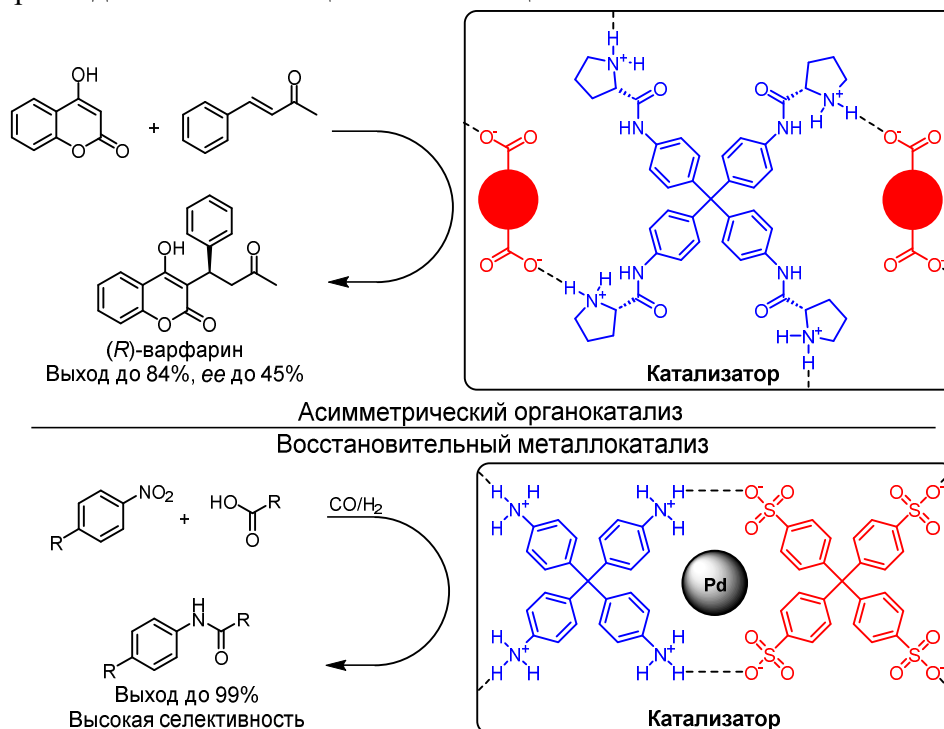
# ОРГАНИЧЕСКИЕ ИОННЫЕ КАРКАСЫ КАК ПЛАТФОРМА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

*АНИСЬКИН Илья Сергеевич*

аспирант 1 года обучения

лаборатория Эффективного катализа, №103

Сравнительно недавно появились органические каркасные материалы, связанные ионными и водородными взаимодействиями (САНОФ), которые являются перспективной платформой для создания настраиваемых гетерогенных катализаторов. Данные материалы легко синтезируются, а также обладают структурной гибкостью их кристаллической решетки, это увеличивает диффузию субстрата, что полезно для гетерогенного катализа. Исследуемые материалы могут сами по себе выступать в качестве катализаторов, а также быть платформой для иммобилизации наночастиц металла.



В рамках данной работы были получены гетерогенные катализаторы на основе хиральных САНОФ, которые были протестированы в реакции асимметрического получения (R)-варфарина с выходом до 84% и ee до 45%. Помимо этого, была произведена иммобилизация наночастиц палладия в объеме САНОФ. Полученный композитный катализатор исследовался в тандемной реакции восстановительного амидирования карбоновых кислот нитроаренами, где обеспечивал препаративные выходы и более высокую в сравнении с применяемым палладием на угле селективность.

Автор:

/Аниськин И.С.

Руководители:

/г.н.с., д.х.н. Чусов Д.А.

/с.н.с., к.х.н. Афанасьев О.И.

04.03.2026

## ОРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ, СВЯЗАННЫЕ ВОДОРОДНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

*АРИФУЛИН Рамиль Жаферович*

*аспирант 1-го года обучения*

*1.4.3. «Органическая химия»*

*Содоклад к работе Аниськина Ильи Сергеевича*

Органические каркасные материалы являются перспективными кристаллическими материалами с широким потенциалом к модификации и настройке кристаллической структуры. В 2025 году С. Китагава, Р. Робсон и О. Ягхи получили Нобелевскую премию по химии за исследования в области металлорганических каркасов (МОФ), что подтверждает важность такого рода материалов. Относительно недавно появился новый тип органических каркасных материалов, связанных водородными взаимодействиями (НОФ). В отличие от МОФ, где структурообразующие фрагменты связываются благодаря взаимодействию с металлами, и ковалентно-связанных каркасов (СОФ), где фрагменты связаны друг с другом ковалентной связью, структура НОФ образуется благодаря водородным связям между структурообразующими группами низкомолекулярных соединений, имеющих определенное строение (Схема 1).

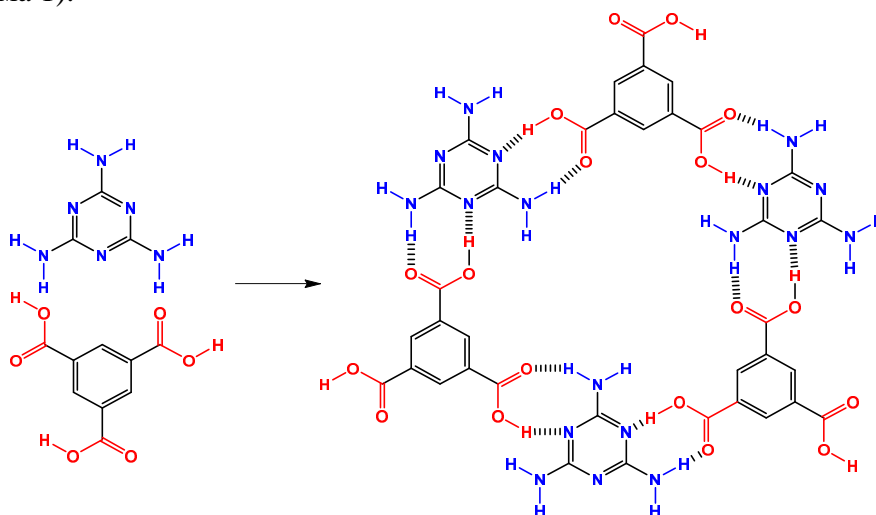


Схема 1. Пример образования структурной единицы НОФ

Благодаря необходимой структуре НОФ образуют упорядоченную кристаллическую решетку с повышенной пористостью. Подобные материалы легко синтезируются, не содержат в своей структуре металлов, а также обладают гибкой кристаллической решеткой, что делает их перспективными материалами для создания сорбентов, очистки сточных вод, разделения газов, и создания материалов-носителей для гетерогенного катализа.

### Список литературы:

- 1) X. Song, Y. Wang, C. Wang, D. Wang, G. Zhuang, K. O. Kirlikovali, P. Li and O. K. Farha, Journal of the American Chemical Society, 2022, 144, 10663-10687.
- 2) J. Luo, J. W. Wang, J. H. Zhang, S. Lai and D. C. Zhong, CrystEngComm, 2018, 20, 5884-5898.
- 3) I. Hisaki, C. Xi, K. Takahashi, and T. Nakamura, (2019). Angewandte Chemie International Edition, 2019, 58, 11160-11170.
- 4) S. Yu, G. L. Xing, L. H. Chen, T. Ben and B. L. Su, Advanced Materials, 2020, 32, 2003270.
- 5) T. Chen, H. Li, X. Shi, J. Imbrogno and D. Zhao, Journal of the American Chemical Society, 2024, 146, 14433-14438.

Автор: \_\_\_\_\_

/ Арифудин Р.Ж. / 19.03.26

Основной докладчик: \_\_\_\_\_

/ Аниськин И.С. / 19.03.26

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ БЕЗ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА

*ЧЕРЕЗОВ Егор Александрович*

аспирант 1-го года

лаборатория **Эффективного катализа №103**

Водород известен как проверенный временем восстановитель во многих процессах. Однако это не лишает его недостатков: пожароопасность и низкая селективность восстановления накладывают ограничения на его использование. Существуют альтернативные восстановители для разнообразных реакций.

Данная работа направлена на поиск подходов к использованию восстановительных систем в качестве безопасных восстановительных агентов в процессах восстановительного аминирования и восстановления хинолина (Схема 1). Так, было показано, что лекарственный препарат циклизин может быть получен взаимодействием бензгидрилпиперазина и формалина, выступающего одновременно в качестве метилирующего и восстанавливающего реагента. Также было проведено сравнение между возможными восстановителями в реакции синтеза циклизина, в том числе молекулярным водородом, по критериям экологичности и стоимости. Также, показана возможность применения гипофосфорной кислоты в качестве восстановителя в реакции восстановления хинолинов.

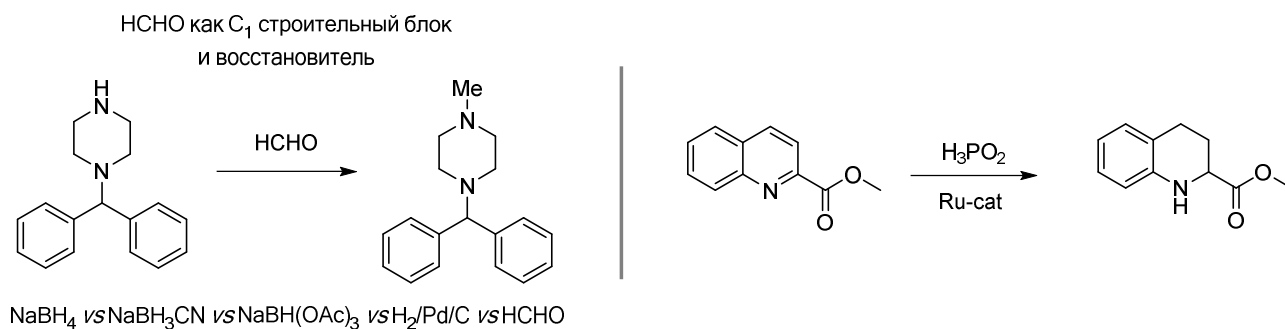


Схема 1. Предлагаемые восстановительные системы

**Автор:**

/ Черезов Е.А. /

**Руководители:**

/ г.н.с., д.х.н. Чусов Д.А. /

/ с.н.с., к.х.н. Афанасьев О.И. /

05.03.2026

КОЛЕСНИКОВ Алексей Сергеевич

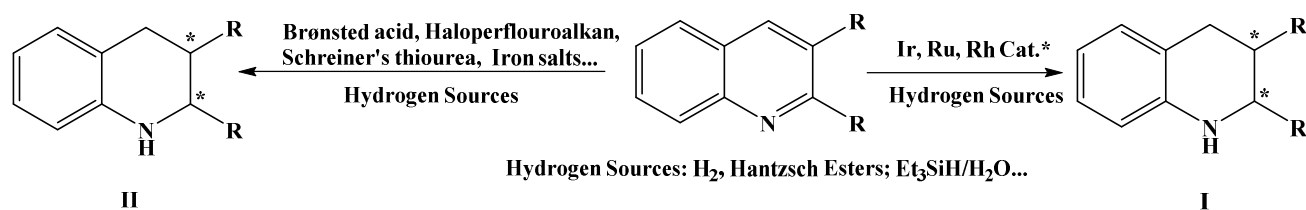
аспирант 2-ого года

1.4.3. «Органическая химия»

Содоклад к работе Черезова Егора Александровича

1,2,3,4-тетрагидрохинолины широко распространены в природных алкалоидах и искусственных молекулах и нашли широкое применение в фармацевтическом синтезе<sup>а</sup>. Асимметрическое гидрирование легкодоступных хинолинов водородом обеспечивает прямолинейный доступ к хиральным 1,2,3,4-тетрагидрохинолинам с точки зрения простоты и атомной эффективности, поэтому оно привлекло значительное внимание. Однако существует сложность подбора катализаторов из-за необходимости соблюдать ряд причин: резонансной стабильности гетероароматических соединений, которая может препятствовать энантиоселективному восстановлению; соединения, содержащие атомы азота и серы, могут отравлять металлические катализаторы, а также возможна низкая активность ароматических соединений<sup>б</sup>. Несмотря на эти трудности, поиск эффективных способов асимметрического гидрирования хинолинов продолжается из-за важности получения оптически активных продуктов их восстановления.

Схема 1



Основные подходы к получению хиральных хинолинов предполагают либо использование металлоорганических катализаторов на основе переходных металлов (I), либо органокаталитические пути (II), где используются катализаторы, как правило, более доступные и устойчивые. Помимо этого установлено, что трансферное гидрирование дает в некоторых случаях лучший показатель энантиомерного избытка по сравнению с прямым гидрированием с использованием иридиевого катализатора<sup>в</sup>.

Асимметрическое восстановление достигается за счет правильной конструкции катализатора, выбора источника водорода, растворителей и прочих факторов. Несмотря на значительный прогресс в этой области, асимметрическое гидрирование хинолинов по-прежнему остается серьезной проблемой.

## Список литературы

- а) M. El-Shahat, J. Heterocyclic Chem., 2022, 59, 399–421.
- б) D.-Sh. Wang et al., Chem. Rev., 2012, 112, 2557–2590.
- в) J. Barrios-Rivera et al., Org. Chem. Front., 2020, 7, 3312–3342.

Автор:  
19.03.26

Колесников А.С.

Основной докладчик:

Черезов Е.А. 19.03.26

# СИНТЕЗ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ГОМО- И ГЕТЕРОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ РУТЕНИЯ(II) С ПРОИЗВОДНЫМИ ИМИДАЗО[4,5-F][1,10]ФЕНАНТРОЛИНА

*БОТЕЗАТУ Анатолий*

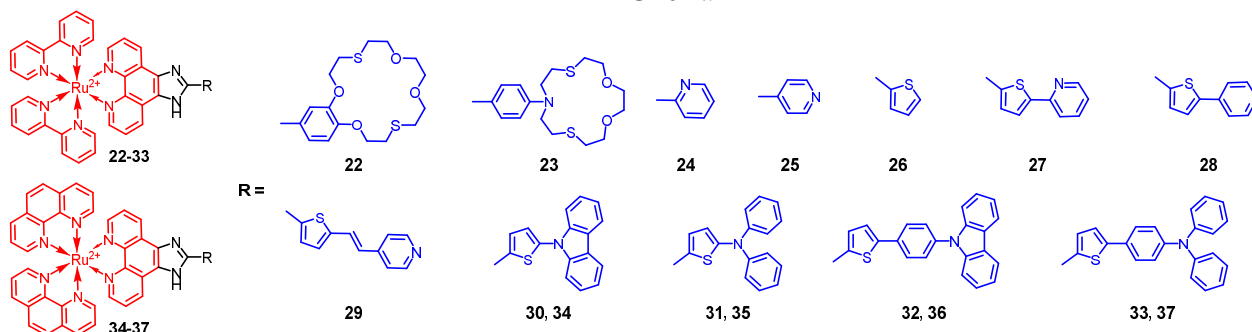
аспирант 4-го года обучения

лаборатория По разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов, №135

Полипиридиновые комплексы рутения(II) широко исследуются на протяжении нескольких десятилетий благодаря своим привлекательным фотофизическим и окислительно-восстановительным свойствам. Основное направление их применения – фотосенсибилизация различных акцепторов энергии: неорганических полупроводников в сенсibilизированных красителем солнечных элементах, молекул воды в системах искусственного фотосинтеза, молекул O<sub>2</sub> в люминесцентных сенсорах и препаратах фотодинамической терапии. Ключевым инструментом настройки свойств координационных соединений является рациональный дизайн лигандного окружения металла. При этом фрагменты лигандов, непосредственно участвующие в связывании иона металла, определяют основные физико-химические характеристики комплекса, тогда как функциональные заместители в их структуре позволяют осуществлять тонкую настройку этих свойств под конкретные практические задачи.

В настоящей работе были синтезированы новые гетеролептические комплексы рутения(II) с лигандами на основе производных имидазо[4,5-f][1,10]фенантролина для задач молекулярной электроники и медицины (Схема 1). Введение дополнительного катиона металла во вторую координационную сферу позволяет настраивать свойства комплекса за счет изменения электронной плотности, при этом сам металл может выполнять функцию рецепторного центра, обеспечивая селективное взаимодействие с молекулами-аналитами. Для включения в состав рутениевого комплекса второго катиона требуется добавить в структуру комплекса ионофорный фрагмент. В структурах 22–23 такими фрагментами служат краун-эфир, а в 24–29 — ароматические гетероциклы с донорными атомами. Для соединений 30-37 введение сопряженных донорных ароматических заместителей направлено на усиление способности комплексов к интеркаляции ДНК и оптимизацию фотофизических параметров, необходимых для генерации активных форм кислорода, что является ключевым требованием для агентов фотодинамической терапии.

Схема 1



Комплексообразование комплексов 22-29 с широким набором катионов металлов было изучено методами УФ-видимой, ЯМР спектроскопии и циклической вольтамперометрии. Было обнаружено, что при координации катионов металла с донорными рецепторными фрагментами (краун-эфир, имидазол-тиофен) подавляет безызлучательные переходы, происходящие через триплетные состояния <sup>3</sup>IL/<sup>3</sup>LLCT, что приводит к усилению люминесценции с триплетного уровня <sup>3</sup>MLCT. Напротив, связывание с акцепторным фрагментом (пиридин) вызывает

# ОБОХ

конкуренцию между синглетными переходами  $^1MLCT$  и  $^1IL$ , что приводит к уменьшению заселенности уровня  $^3MLCT$  и снижению интенсивности люминесценции (рис. 1.).

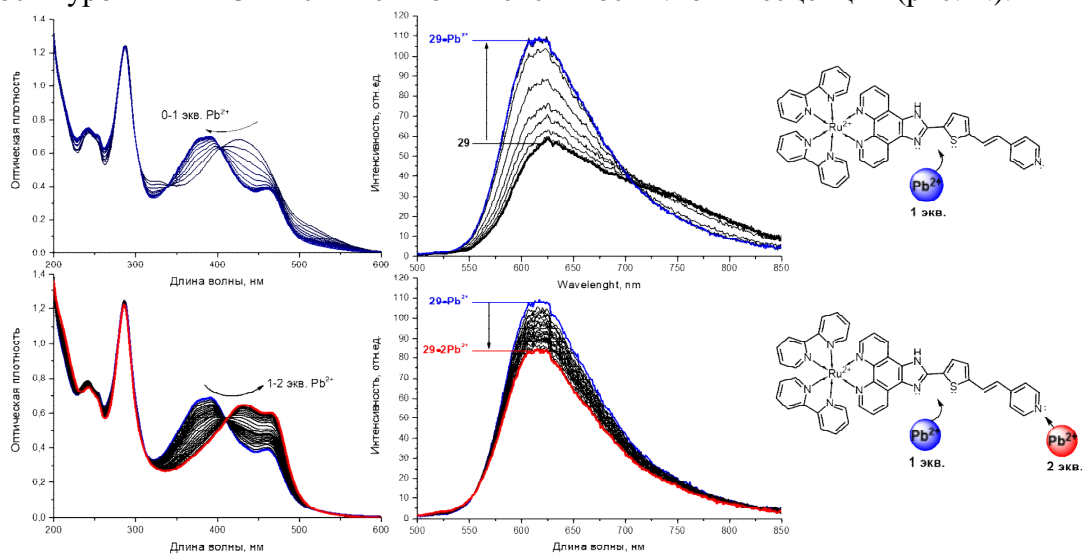


Рис.1. Спектры поглощения и испускания раствора 29 в  $CH_3CN$  при различных концентрациях перхлората свинца(II).

На следующем этапе работы была получена серия гетеробиметаллических комплексов на основе соединений 22 и 23, которые использовались в качестве модификаторов полупроводниковых газовых сенсоров. Подобный подход позволил соединить фотосенсибилизирующие свойства рутения и рецепторные свойства переходных металлов, что привело к существенному повышению энергоэффективности и чувствительности анализа газовых смесей.

На заключительном этапе работы было изучено применение комплексов 30-37 в качестве фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии. Установлено, что взаимодействие синтезированных соединений с ДНК индуцирует её конформационный переход с последующей конденсацией в визуально наблюдаемые частицы. Этот процесс сопровождался характерными изменениями в спектрах кругового дихроизма, а также повышенной устойчивостью ДНК в составе конденсатов к фотоиндуцированному повреждению.

## Список публикаций:

1. S. D. Tokarev, A. Botezatu, Y. V. Fedorov and O. A. Fedorova, Russian Chemical Bulletin, 2025, 73, 11, 3291–3303.
2. A. Botezatu, S. D. Tokarev, Y. V. Fedorov and O. A. Fedorova, Russian Journal of Inorganic Chemistry, 2024, 69, 1860–1867
3. A.V. Khoroshutin, L. Martynov, P. Yaltseva, E. Kostenko, D. Cheshkov, A. Botezatu, O. Fedorova, New Journal of Chemistry, 2024, 48(31), 13927-13936.
4. S. D. Tokarev, A. Botezatu, ИИЭОС OPEN, 2023.
5. A. Nasriddinov, S. Tokarev, V. Platonov, A. Botezatu, O. Fedorova, M. Romyantseva and Y. Fedorov, Molecules, 2022, 27(16), 5058
6. A.V. Khoroshutin, D.A. Lypenko, A.A. Korlyukov, A. Botezatu, S.D. Tokarev, A.R. Tameev and O.A. Fedorova, Synthetic Metals, 2022, 287, 117094.
7. S. D. Tokarev, A. Botezatu, A.V. Khoroshutin, Y. V. Fedorov and O. A. Fedorova, Mendeleev Communications, 2022, 32, 367-370.

**Автор:**

**Руководители:**

Ботезату А.  
к.х.н. Токарев С.Д.  
д.х.н. Федорова О.А.  
05.03.2026

## СИНТЕЗ И КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗОАЗАКРАУН-СОЕДИНЕНИЙ

*ПАШАНОВА Анна Вячеславовна*

аспирант 4-го года обучения

**Лаборатория по разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для  
получения радиофармпрепаратов №135**

Одним из методов диагностики и лечения онкологических заболеваний является ядерная медицина. Она использует радиофармпрепараты, которые доставляют радионуклид к раковым клеткам. Современные радиофармпрепараты состоят из радионуклида, связывающего его хелатора, линкера и транспортной биомолекулы. Для возможности применения хелаторов в качестве компонентов радиофармпрепаратов они должны обладать быстрым комплексообразованием при комнатной температуре, высокой термодинамической и кинетической устойчивостью комплексов в водных растворах и в биологических средах, а также функциональную группу для конъюгации с векторной молекулой. Поскольку существующие в настоящее время хелаторы обладают рядом недостатков, ограничивающих их медицинское применение, а именно медленное комплексообразование, требующее повышенных температур, а также низкая устойчивость образуемых комплексов *in vivo*, проблема поиска новых хелаторов все еще остается крайне актуальной.

Цель диссертационного исследования заключается в создании высокоэффективных хелаторов на основе бензоазакраун-соединений, способных связывать катионы медицинских металлов в водных растворах и получение на их основе бифункциональных производных, которые могут быть введены в состав биоконъюгатов.

В ходе работы нами был осуществлен синтез серии бензоазакраун-соединений с различным размером макроцикла, в составе которого варьировались гетероатомы, тип и количество хелатирующих групп (Рисунок 1) [1-5].

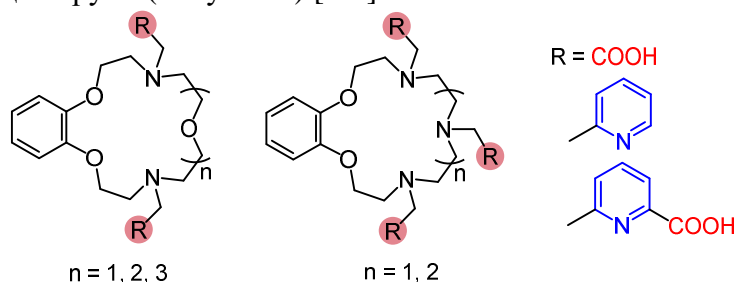


Рисунок 1. Синтезированные бензоазакраун-соединения

Комплексообразующие свойства полученных соединений исследовали с катионами  $Ba^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Y^{3+}$  и  $La^{3+}$ . Состав и стехиометрию комплексов определяли с помощью масс-спектрометрии, их устойчивость изучали методом потенциометрического титрования, методом ЯМР-спектроскопии устанавливали геометрию комплекса в водном растворе, кристаллическую структуру комплекса изучали методом РСА. На следующем этапе проводили исследование меченых радионуклидами  $^{226}Ra$ ,  $^{64}Cu$ ,  $^{210}Pb$ ,  $^{207}Bi$  и  $^{225}Ac$ , а также оценивали кинетическую стабильность полученных комплексов *in vitro*. Для наиболее перспективных комплексов изучали биораспределение *in vivo*. Среди полученных соединений были выявлены четыре хелатора-лидера, показавших высокую устойчивость комплексов в биологических средах. Для введения данных хелаторов в состав радиофармпрепаратов нами были разработаны методы синтеза их бифункциональных производных, содержащих карбоксильную, amino-, изотиоцианатную и азидную группы в бензольном кольце (Рисунок 2) [6-9].

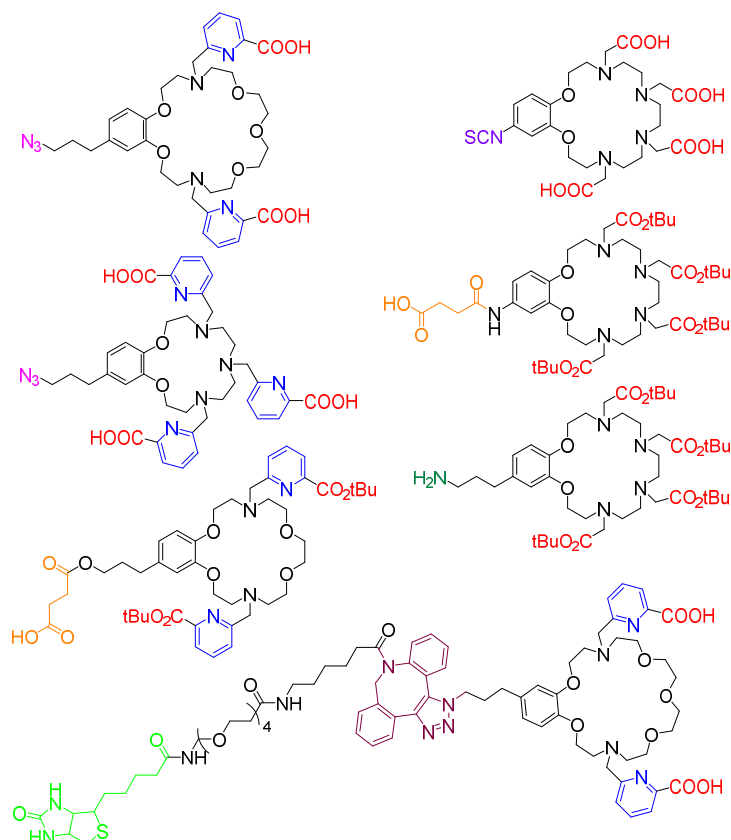


Рисунок 2. Синтезированные бифункциональные хелаторы и конъюгат

Кроме того, на основе азидного производного бензоазакраун-соединения был получен и охарактеризован конъюгат с биотином, который является векторной молекулой для белка авидина (Рисунок 2). Данный биоконъюгат в дальнейшем может быть использован в качестве прототипа таргетного радиофармпрепарата для лечения онкологических заболеваний.

## Список публикаций

1. A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, S. P. Mosaleva, E. Y. Chernikova, V. A. Karnoukhova, I. V. Fedyanin, B. V. Egorova, A. A. Shchukina, Yu. V. Fedorov, O. A. Fedorova, *Inorg. Chem.*, 2024, 63, 21652–21669.
2. B. V. Egorova, L. S. Zamurueva, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, A. A. Mitrofanov, A. B. Priselkova, Y. V. Fedorov, A. L. Trigub, O. A. Fedorova, S. N. Kalmykov, *Molecules*, 2022, 27, 3115.
3. E. V. Matazova, B. V. Egorova, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, A. A. Mitrofanov, O. A. Fedorova, S. V. Ermolaev, A. N. Vasiliev, S. N. Kalmykov, *Inorg. Chem.*, 2023, 62, 12223–12236.
4. L. S. Zamurueva, B. V. Egorova, I. Ikonnikova, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, V. A. Karnoukhova, A. A. Mitrofanov, A. L. Trigub, A. A. Moiseeva, A. B. Priselkova, O. A. Fedorova, S. N. Kalmykov. *Dalton Trans.*, 2023, 52, 8092-8106.
5. E. V. Matazova, B. V. Egorova, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, O. A. Fedorova, S. N. Kalmykov, *ChemistrySelect*, 2022, 7, e202203108.
6. Патент № 2846278 Российская Федерация, МПК C07D 273/00 (2006.01), A61K 51/04 (2006.01). Изотиоцианатное производное бензоазакраун-соединения как бифункциональный хелатирующий агент для радионуклида тория: № 2024123396: заявл. 14.08.2024; опубл. 03.09.2025 / Пашанова А. В., Зубенко А. Д., Егорова Б. В., Замуруева Л. С., Федорова О. А.; заявитель АО "Всерегionalное объединение "Изотоп".
7. B. V. Egorova, E. V. Matazova, G. Y. Aleshin, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, E. A. Konopkina, A. A. Mitrofanov, A. A. Smirnova, A. L. Trigub, V. A. Karnoukhova, O. A. Fedorova, S. N. Kalmykov, *Eur. J. Inorg. Chem.*, 2021, 2021, 3344-3354.
8. B. V. Egorova, L. S. Zamurueva, A. D. Zubenko, A. V. Pashanova, Z. S. Pillai, O. A. Fedorova, S. N. Kalmykov, *Macrocyclics*, 2021, 14, 157-163.
9. P. A. Panchenko, A. D. Zubenko, E. Y. Chernikova, Y. V. Fedorov, A. V. Pashanova, V. A. Karnoukhova, I. V. Fedyanin, O. A. Fedorova, *New J. Chem.*, 2019, 43, 15072-15086.

Автор:

Пашанова А.В.

Руководитель:

д.х.н., проф. Федорова О.А., 05.03.26

# СИНТЕЗ В ЭНАНТИОМЕРНО ОБОГАЩЁННОЙ ФОРМЕ НЕБЕЛКОВЫХ $\alpha$ -АМИНОКИСЛОТ В УСЛОВИЯХ МЕТАЛЛОТЕМПЛАНТНОЙ СТЕРЕОДИФФЕРЕНЦИАЦИИ

СТУКАЛОВА Мария Петровна

аспирант 4-го года

лаборатория Асимметрического катализа, №116

Одним из наиболее востребованных направлений в современной синтетической органической химии является разработка эффективных и стереоселективных методов синтеза неприродных  $\alpha$ -аминокислот. Являясь важными строительными блоками, они играют ключевую роль в разработке фармацевтических препаратов, в биотехнологии, молекулярной генетике, а также в области биокатализа и материаловедения.

Начальный этап данной работы был посвящен изучению реакции комплекса (S)-BPB-Ni- $\Delta$ -Ala 1 с 2,2,2-трифторэтиламином различных изатиннов в условиях основного катализа. Было установлено, что в ходе реакции, катализируемой триэтиламино, образовывались комплексы 3 с выходами 36–71%. Данный процесс можно формально рассматривать как [3+2]-циклоприсоединение. При смене основания на гидроксид лития происходит преимущественное образование продукта присоединения по Михаэлю 5a с выходом 76%. Можно предположить, что катион щелочного металла стабилизирует енолят-ион, образовавшийся после присоединения основания Шиффа 2, в результате протонирование происходит быстрее, чем циклизация по Манниху. Таким образом, наблюдавшееся [3+2]-циклоприсоединение фактически нужно рассматривать как последовательные реакции Михаэля-Манниха. Целевая аминокислота 4 с 3,2'-пирролидинил спирооксиндольным фрагментом была получена после разложения полученного комплекса 3 с выходом 90%. При разложении комплекса 5a в аналогичных условиях происходит гидролиз иминиевой связи с отщеплением изатинового фрагмента с образованием аминокислоты 6 (схема 1). [1]

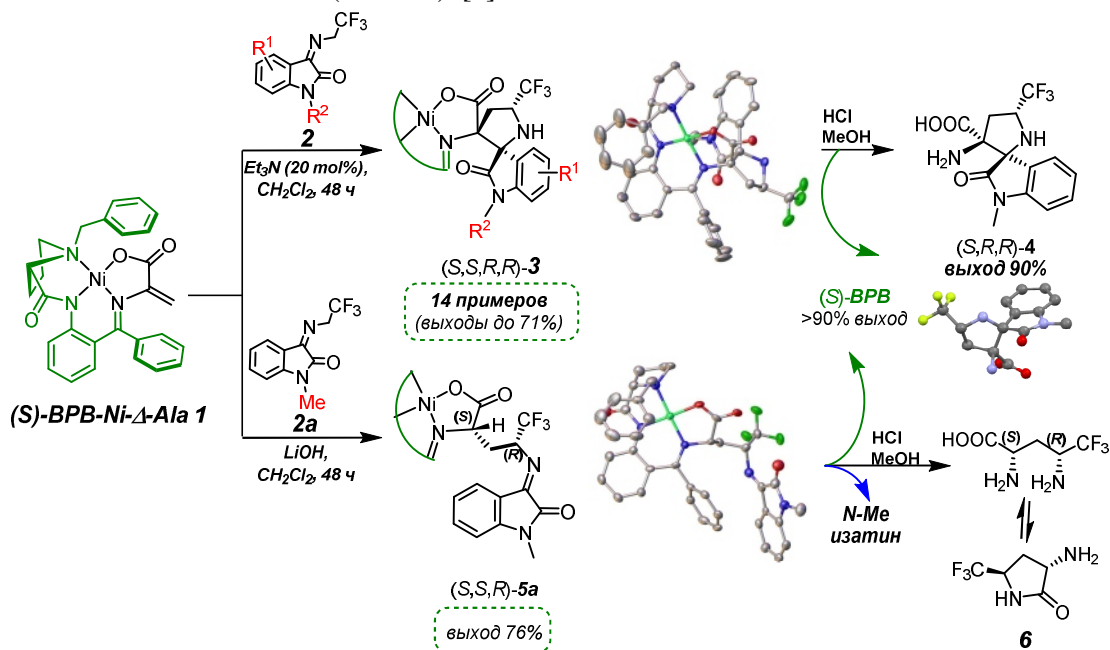


Схема 1. Присоединения иминов изатина к хиральному Ni(II) комплексу.

Далее мы предположили возможность реализации реакции формального [3+2]-циклоприсоединения основания Шиффа индоло[2,1-b] хинолазин-6,12-диона (триптантрин) и 2,2,2-трифторэтиламином к комплексу 1. В результате было обнаружено, что в присутствии различных оснований образуется только продукт 1,4-присоединения по Михаэлю. Оптимальными условиями оказались Et<sub>3</sub>N (20 моль.%) в CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> при комнатной температуре. В результате были получены диастереомерные комплексы 6a и 6б с dr 5:1 и выходом преобладающего диастереомера 63% (схема 2). [2]

# ОБОХ

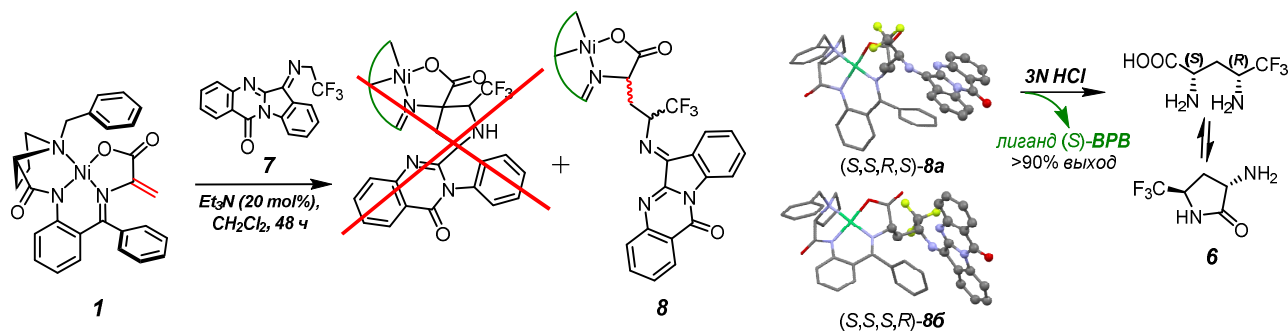


Схема 2. Присоединение имида триптамина к хиральному Ni(II) комплексу.

На следующем этапе работы исследовалось присоединение оснований Шиффа 9 различных бензальдегидов с эфирами ряда аминокислот к 1 (схема 3). В ходе экспериментов было установлено, что данная реакция протекает только в присутствии каталитических количеств AgOAc. В результате была получена библиотека субстратов с выходами до 91%. Разложением в кислой среде из комплексов 10 были получены целевые аминокислоты 11 с выходами до 91%. Также была показана возможность гидролиза сложноэфирных групп для получения дикислоты 12. Полученный ряд аминокислот был исследован на цитотоксическую и гемостатическую активность. Планируются также исследования на иные виды биологической активности.

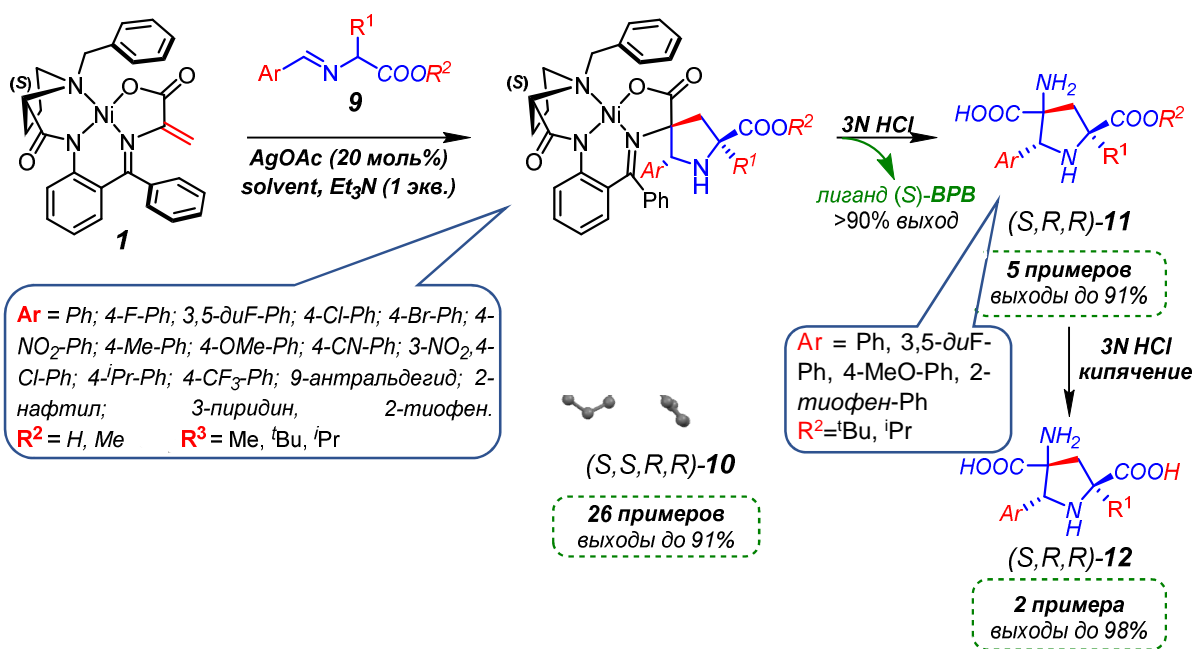


Схема 3. Присоединение иминов эфиров аминокислот к хиральному Ni(II) комплексу.

## Список публикаций:

- [1] Z. Gugkaeva, M. Stukalova, A. Smol'yakov, A. Tsaloev, V. Maleev, V. Larionov, Adv. Synth & Cat., 2023, 366 (5), 1205-1211;  
 [2] Z. Gugkaeva, M. Stukalova, T. Savelyeva, A. Tsaloev, A. Smolyakov, V. Larionov, V. Maleev, Rus. J. Gen. Chem, 2024, 94(12), 3234-3240;  
 [3] M. Stukalova, Z. Gugkaeva, A. Smol'yakov, V. Maleev, V. Larionov, Org. Lett, 2026, in press

Автор:

Руководитель:

асп. М. П. Стукалова  
д.х.н., зав. лаб. В. И. Малеев

05.03.2026

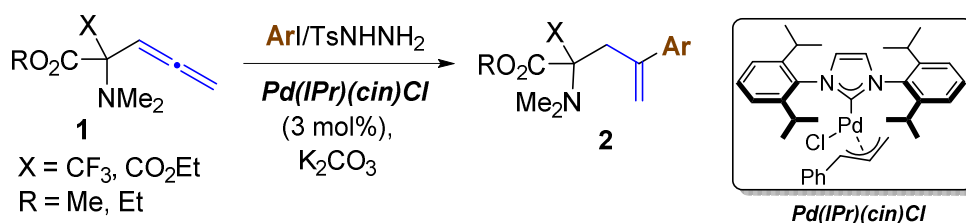
**Pd-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ГИДРОАРИЛИРОВАНИЕ  
ФУНКЦИОНАЛЬНО ЗАМЕЩЕННЫХ АЛЛЕНОВ:  
РЕГИОСЕЛЕКТИВНЫЙ СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ  $\alpha$ -АМИНОКИСЛОТ  
С ЭКЗО-ДВОЙНОЙ СВЯЗЬЮ В БОКОВОЙ ЦЕПИ**

*БУБНОВА Александра Сергеевна*  
аспирант 3-го года обучения  
лаборатория Экологической химии, № 126

Металлокатализируемые трансформации с участием алленов и ацетиленов представляют чрезвычайно богатую и бурно развивающуюся область органической химии и позволяют с высокой эффективностью и атом-экономичностью получать структурно разнообразные молекулы. Ранее нами было показано, что использование аллен- и пропаргилсодержащих  $\alpha$ -аминокарбоксилатов в Rh-катализируемых реакциях C-H активации/аннелирования открывает доступ к новым производным  $\alpha$ -аминокислот с гетероциклическими фрагментами в боковой цепи [1-3].

Несмотря на значительные достижения в химии алленов, часто исход реакций трудно спрогнозировать заранее, поскольку функционализация алленовой системы возможна по любой из двух ортогональных  $\pi$ -связей и на селективность процесса могут влиять свойства металла и его лигандного окружения, природа заместителей в реагентах, а также их структурные особенности. В прошлом отчетном году нами были предложены регио- и стереоселективный метод синтеза новых  $\alpha,\beta$ -ненасыщенных производных  $\alpha$ -аминокислот, основанный на Pd-катализируемой реакции гидроариллирования функциональных алленов с арилборными кислотами [4, 5].

Данная работа посвящена разработке эффективного синтетического подхода к новым  $\beta,\gamma$ -ненасыщенным производным  $\alpha$ -аминокислот с экзо-двойной связью в боковой цепи. Так, было обнаружено, что взаимодействие  $\alpha$ -алленил- $\alpha$ -аминокарбоксилатов **1** с арилиодидами в присутствии TsNHNH<sub>2</sub> при катализе NHC-содержащим комплексом палладия приводит к региоселективному образованию соответствующих производных **2** с хорошими выходами. Найдена оптимальная каталитическая система и условия для осуществления данного превращения, а также определены границы метода.



**Список публикаций:**

- [1] Vorobyeva D.V., Bubnova A.S., Godovikov I.A., Danshina A.A., Osipov S.N. Asian Journal of Organic Chemistry, 2022, e202200485.
- [2] Bubnova A.S., Vorobyeva D.V., Godovikov I.A., Smol'yakov A.F., Osipov S.N. Molecules, 2023, 28(23), 7809.
- [3] Vorobyeva D.V., Bubnova A.S., Godovikov I.A., Smol'yakov A.F., Osipov S.N. Asian Journal of Organic Chemistry, 2024, e202400476.
- [4] Bubnova A.S., Philippova A.N., Gribanov P.S., Smol'yakov A.F., Osipov S.N., Vorobyeva D.V. Organic and Biomolecular Chemistry, 2025, 23, 5396-5400.
- [5] Bubnova A.S., Vorobyeva D.V., Godovikov I.A., Philippova A.N., Gribanov P.S., Antoshkina E.P., Osipov S.N., Molecules, 2025, 30(17), 3623.

**Автор:** \_\_\_\_\_ Бубнова А.С.

**Руководитель:** \_\_\_\_\_ Осипов С.Н., 05.03.2026

## МЕТОДЫ РЕГИОСЕЛЕКТИВНОГО ГИДРОАРИЛИРОВАНИЯ АЛЛЕНОВ С ОБРАЗОВАНИЕМ ПРОДУКТОВ РЕАКЦИЙ С ЭКЗО-ДВОЙНОЙ СВЯЗЬЮ

**БАБКИН** Александр Игоревич

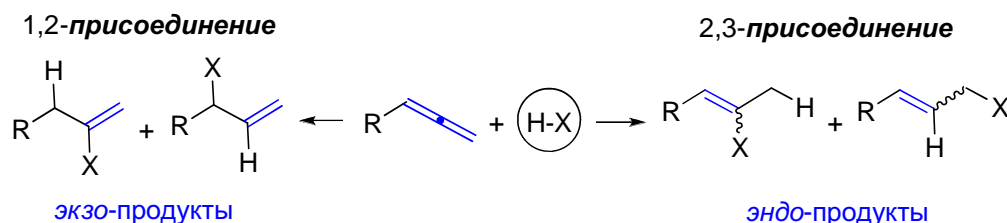
аспирант 3-го года обучения

1.4.8. «Химия элементоорганических соединений»

Содоклад к работе Бубновой Александры Сергеевны

Метод гидрофункционализации алленов в присутствии каталитических систем на основе комплексов переходных металлов является эффективным и атом-экономичным подходом к селективному получению синтетически ценных функционализированных аллильных и винильных структур. Наиболее широко изученными являются реакции гидроариллирования, служащие мощным инструментом для образования связи С-С с широким кругом ароматических субстратов в мягких условиях. Несмотря на значительные успехи в данной области, функционализация алленовой системы может протекать с образованием различных продуктов (Схема 1). На регио- и стереоселективность данных превращений влияет множество факторов - природа металла и его лигандного окружения, используемые добавки и условия, а также структура субстратов, что делает затруднительным прогнозирование исхода реакций.

Схема 1



К настоящему моменту разработано большое количество подходов селективного получения *эндо*-продуктов гидроариллирования, в то время как синтез преимущественно *экзо*-продуктов ограничивается несколькими примерами. Основные методы получения соответствующих соединений включают в себя разработку специфичных каталитических систем при использовании в реакциях арилбороновых кислот, а также введение дополнительного источника гидрида в случае проведения реакций с арилиодидами.

Таким образом, поиск новых эффективных и селективных методов получения *экзо*-продуктов гидроариллирования алленов является важной фундаментальной задачей. Кроме того, актуальной остаётся проблема поиска новых алленовых субстратов, способных образовывать продукты 1,2-присоединения, поскольку, на данный момент, область применения представленных методов существенно ограничена.

### Список литературы:

1. R. Blicek, M. Taillefer, F. Monnier, Chem. Rev., 2020, 120, 13545-13598.
2. L. Pagès, R. Abed Ali Abdine, F. Monnier, M. Taillefer, Eur. J. Org. Chem., 2022, e202200724.

Автор:

Бабкин А.И., 18.03.2026

Основной докладчик:

Бубнова А.С., 18.03.2026

## ФОТО-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЕ

ДРОЗДОВ Антон Павлович

аспирант 3-го года обучения

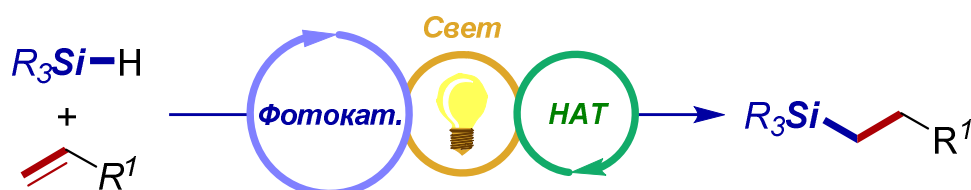
лаборатория **Функциональных элементоорганических соединений (ЛФЭС), №133**

Гидросилилирование – реакция присоединения Si–H-группы к кратной C=C-связи. Данная реакция стала первым примером масштабного применения гомогенного катализа в промышленности и является одним из основных методов получения кремнийорганических соединений.

В настоящее время гидросилилирование чаще всего проводят в присутствии гомогенных Pt-катализаторов. Несмотря на высокую активность этих катализаторов, их высокая стоимость, образование коллоидной платины и проблема ее отделения от продуктов приводят к ряду научно-технических, экономических и экологических проблем.

Для решения проблем [Pt]-катализа нами были предложены методы радикального гидросилилирования с использованием [Mn]-предкатализатора под действием белого света [1]. Следующим этапом исследования был переход на каталитические системы без содержания металлов, т.е. «безметалльные» катализаторы. Так, нами было предложено термо-инициируемое гидросилилирование с использованием органических пероксидов [2]. Недостатком этих систем является высокая температура реакции и низкая селективность для ряда функционализированных алкенов и алкинов. В связи с этим на следующем этапе мы перешли к разработке каталитической системы для «безметалльного» фото-катализируемого гидросилилирования в «мягких» условиях.

Разработанная каталитическая система состоит из комбинации фотокатализатора и НАТ-реагента (Hydrogen Atom Transfer, перенос атома водорода) и позволяет получать целевые продукты под действием света при комнатной температуре [3]. Метод применим к широкому ряду N-, O- и галоген-функционализированных алкил- и арил-содержащих терминальных алкенов, а также к алкил-, фенил- и силокси-замещенным гидросиланам. Реакции протекают селективно и с высокими выходами, образуя *анти*-Марковниковские продукты в «мягких» реакционных условиях.



$R$  = Алкил, Арил, Силокси.  $R^1$  = O-, N- & Hal-содержащие Алкил & Арил

Схема 1. Фото-катализируемое гидросилилирование

## Список публикаций:

1. I. K. Goncharova, S. A. Filatov, A. P. Drozdov, A. A. Tereshchenko, P. A. Knyazev, A. A. Guda, I. P. Beletskaya, A. V. Arzumanyan, Journal of Catalysis, 2024, 429, 115269.
2. A. P. Drozdov, I. K. Goncharova, M.S. Sokolova, G.D. Kochiev, B.O. Protsenko, M.A. Novikov, I.P. Beletskaya, A. V. Arzumanyan. Peroxides Instead of Metals as Hydrosilylation Catalysts. – *отправлена на рецензию*
3. A. P. Drozdov, I. K. Goncharova, A. V. Arzumanyan – *готовится к публикации*

Автор:

Дроздов А.П.

Руководитель:

зав. лаб. №133, к.х.н. Арзуманян А.В.

05.03.2026

## «БЕЗМЕТАЛЛЬНОЕ» ФОТОКАТАЛИЗИРУЕМОЕ ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*БИЛЬ Игорь Витальевич*

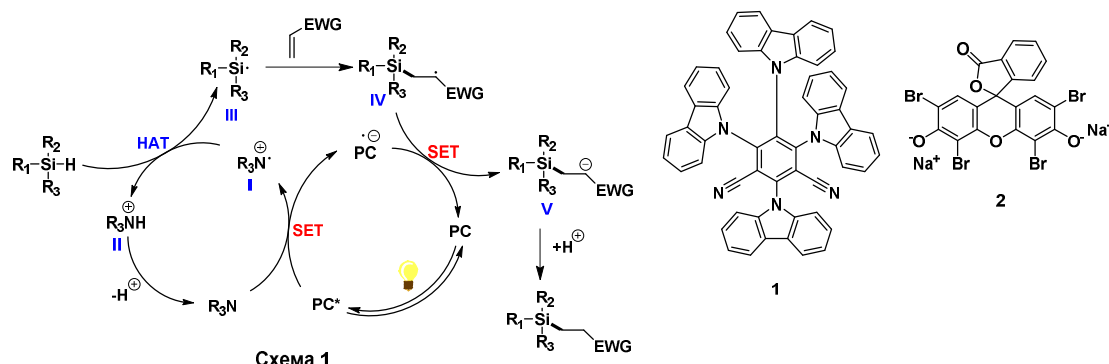
*аспирант 3-го года обучения*

1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

*Содоклад к работе Дроздова Антона Павловича*

Реакция гидросилилирования – присоединение связи Si–H по кратной связи C=C или C≡C – является одной из ключевых трансформаций в кремнийорганической химии, отличающейся 100%-ной атомной экономичностью. В промышленности данная реакция катализируется платиновыми комплексами Спайера и Карстедта. Однако Pt-катализаторы обладают существенными недостатками: высокая стоимость, загрязнение продуктов следами металла и побочные реакции. Для преодоления этих ограничений развиваются альтернативные подходы: катализ комплексами 3d-металлов (Fe, Mn, Co, Ni), гетерогенный и бифазный катализ, а также «безметалльное», в том числе фотокатализируемое, гидросилилирование.

Безметалльное фотокатализируемое гидросилилирование базируется на синергетическом сочетании органического фоторедокс-катализатора и агента переноса атома водорода (HAT). В качестве фотокатализаторов могут применяться, например, органические красители 4CzIPN (1), Эозин Y (2) и др. В качестве HAT-реагентов можно использовать тиолы или органические основания – третичные амины. Общий механизм включает возбуждение фотокатализатора (PC\*), который генерирует электрофильный радикал (I), способствуя отрыву атома H (HAT) от более гидридной Si–H связи. Полученные Si-радикалы (III) присоединяются к ненасыщенному соединению с образованием C-радикалов (IV), которые могут в условиях реакции восстановиться до карбаниона (V), последующее протонирование которого приводит к продукту гидросилилирования (Схема 1).



К настоящему времени показана применимость подхода к широкому кругу субстратов: алкенам, алкинам, а также биологически значимым молекулам. Вместе с тем существующие системы обладают недостатками: потребность в дорогостоящих фотокатализаторах, основаниях (загрузка до 50 мол.%), длительное время реакции, избытки исходных реагентов, ограниченная универсальность для всех типов субстратов и трудности масштабирования. Таким образом, разработка более эффективных, дешёвых и универсальных безметалльных фото-каталитических систем остаётся актуальной задачей.

### Список литературы:

- а) Zhou R., Goh Y. Y., Liu H. et al, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 129, 16848-16852 (2017)
- б) Hou J., Ee A., Cao H. et al, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 57, 17220-17224 (2018)
- в) Xie H., Xu R., Huang B. et al, *Green Chem.*, 27, 155-162 (2025)

**Автор:**

Биль И.В., 18.03.2026

**Основной докладчик:**

Дроздов А.П., 18.03.2026

## АЦИКЛИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСОНЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАТИОНОВ В РАДИОФАРМАЦЕВТИКЕ

*МЕНЬШИКОВ-ТОНЯН Михаил Андреевич*

аспирант 3-го года обучения

лаборатория по Разработке хелаторов и их конъюгатов с молекулами-векторами для получения радиофармпрепаратов для ядерной медицины, №135

В настоящее время изотопы редкоземельных элементов, а также актиноидов, привлекают все больше внимания в контексте ядерной медицины, благодаря своим ядерно-физическим свойствам. Так, например, иттрий-90 ( $\beta^-$ -излучатель), актиний-225, торий-227 ( $\alpha$ -излучатели) и другие находят свое применение в терапии онкологических заболеваний. Важной и актуальной задачей является разработка и синтез новых соединений, способных быстро связывать и прочно удерживать данные катионы металлов. Ациклические хелатирующие агенты, как правило, демонстрируют высокую скорость комплексообразования, однако кинетическая устойчивость образуемых ими комплексов требует улучшения.

Целью данной работы был синтез серии новых ациклических хелатирующих агентов и исследование их комплексообразования с медицинскими катионами металлов, применяемыми в радиофармацевтике. Разработанные хелаторы содержат четыре пиколинатные или гидроксипиридиновые группы в качестве хелатирующих заместителей, при этом структура их ациклического остова различается по составу, длине и жесткости (Рисунок 1). Полученные соединения были охарактеризованы при помощи ЯМР спектроскопии, масс-спектрометрии и элементного анализа. Исследование комплексообразования было проведено при помощи масс-спектрометрии, потенциометрического титрования, ЯМР спектроскопии, радиоактивного мечения.

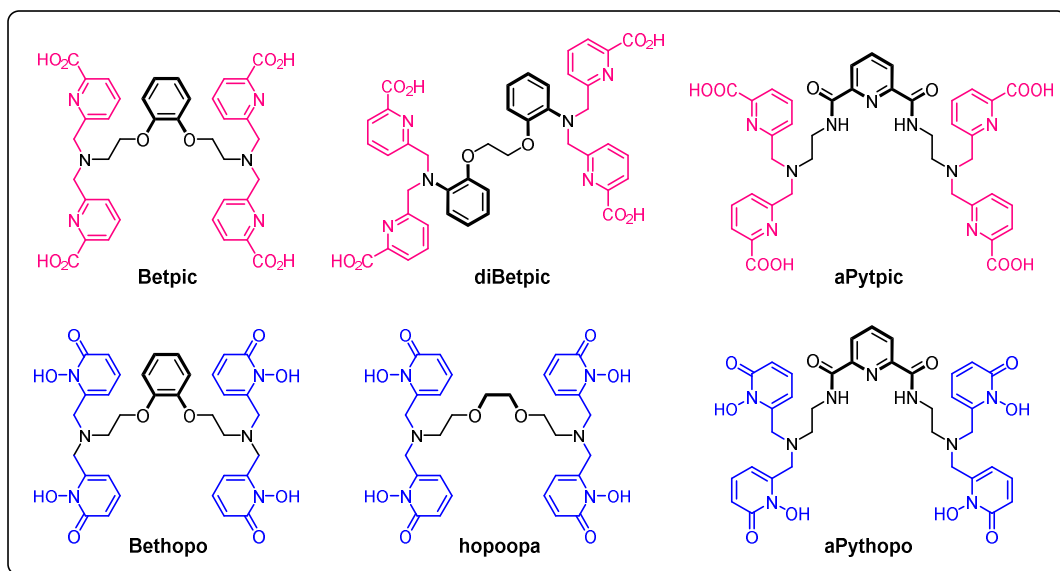


Рисунок 1. Структуры синтезированных ациклических хелаторов

Автор:  
Руководители:

Меньшиков-Тонян М.А.  
к.х.н., с.н.с. Зубенко А.Д.  
д.х.н., в.н.с. Федоров Ю.В.  
27.02.2026

## ХЕЛАТОРЫ ДЛЯ ТАРГЕТНОЙ АЛЬФА-ТЕРАПИИ В РАДИОФАРМАЦЕВТИКЕ

*ХРОМОВ Георгий Алексеевич*

*аспирант 3-го года обучения*

*1.4.3. «Органическая химия»*

*Содоклад к работе Меньшикова-Тоняна Михаила Андреевича*

Разработка радиофармацевтических препаратов (РФП) является одним из наиболее перспективных направлений в области терапии онкологических заболеваний. Основу таких соединений, как правило, составляют бифункциональные хелатирующие агенты, которые сочетают в себе способность прочно координировать катион радиометалла и наличие векторного фрагмента, обеспечивающего селективную доставку к биологическим мишеням. Хелаторы для создания РФП обычно представляют собой полидентатные лиганды, содержащие донорные атомы азота и кислорода. По структурному признаку их подразделяют на ациклические и макроциклические, при этом каждый класс обладает специфическими преимуществами в контексте термодинамической стабильности и кинетики комплексообразования. Эффективность хелаторов определяется как мягкостью условий радиомечения (температура, концентрация, pH, время), так и стабильностью образующихся комплексов в условиях *in vivo*. [a]

Среди широкого спектра металлов, применяемых в ядерной медицине, в последнее время особую актуальность приобрели изотопы тория и актиния. Их привлекательность обусловлена высокой линейной передачей энергии альфа-излучения, обеспечивающего плотную ионизацию на коротких расстояниях и множественные повреждения ДНК раковых клеток — ключевое преимущество для таргетной альфа-терапии (ТАТ). Однако, использование актиноидов в ТАТ сопряжено с вызовами, связанными с их высокой плотностью заряда, что крайне затрудняет их стабильное удержание в биологических средах. Это предъявляет особые требования к дизайну хелатирующих агентов, которые должны обеспечивать не только прочное связывание, но и высокую кинетическую инертность комплексов. Требуется лиганды с высокой дентатностью, специфической топологией и оптимальным набором донорных атомов. В настоящее время для хелатирования актиноидов наиболее широко используются лиганды, содержащие пиколинатные фрагменты, а также производные гидроксипиридиновых (рис. 1). Тем не менее, несмотря на существующие достижения, поиск новых типов хелаторов, способных эффективно и селективно связывать актиноиды, остается одной из наиболее приоритетных и сложных задач в современной радиофармацевтике. [a-в]

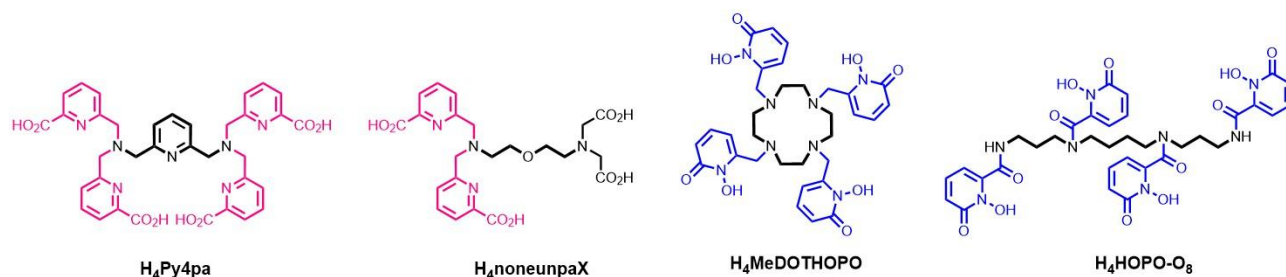


Рис.1. Примеры структур хелаторов для  $Th^{4+}$  и  $Ac^{3+}$ .

### Список литературы:

- а) M. L. Grieve, B. M. Paterson, Aust. J. Chem., 2022, 75, 65–88.
- б) M. G. Ferrier et al. J. Label. Compd. Radiopharm., 2020, 63(12), 502-516.
- в) X. Zhou, L. Dong, L. Shen. Molecules, 2021, 26(22), 6997.

**Автор:**

Хромов Г.А.

19.03.2026

**Основной докладчик:**

Меньшиков-Тонян М.А.

19.03.2026

# СИНТЕЗ НОВЫХ ИОННЫХ МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫХ РЕШЕТОК И ОЦЕНКА ИХ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

КУАНДЫКОВ Дмитрий Максимович

аспирант 2-го года обучения

лаборатория Стереонаправленного синтеза биоактивных соединений, №136

Создание высокоэффективных катализаторов для органической химии является одним из ключевых факторов при разработке лекарственных средств и оптимизации промышленных процессов. Они обеспечивают высокие выходы и скорости реакций в мягких условиях, минимизируя энергозатраты и отходы производства, что соответствует принципам «зеленой» химии. Кроме того, катализаторы на основе ионных металлокомплексов открывают доступ к получению сложных молекул, которые ранее были недоступны. В итоге, их внедрение расширяет практические возможности органического синтеза, сочетая экономическую выгоду с экологической устойчивостью.

Целью работы является разработка нового поколения каталитической системы на основе супрамолекулярных ионных металлоорганических каркасов (ИМОФ, Рис.1), представляющих собой сочетание salenовых комплексов металлов (Cu, Ni, Co, Mn и т.д.) и поликатионов на основе коммерчески доступных красителей (производные трифенилметана) с целью использования в катализе органических реакций (включая асимметрических), а также реакции преобразования углекислого газа в полезные химические продукты.

Также для полноценного анализа каталитической активности ионных каркасов будут протестированы мономерные аналоги. Сравнение каталитических активностей комплексов в разных формах (мономерная, с двумя  $-SO_3Na$  группами и композитная) позволит оценить влияние наличия ионной решетки на каталитическую активность полученных комплексов.

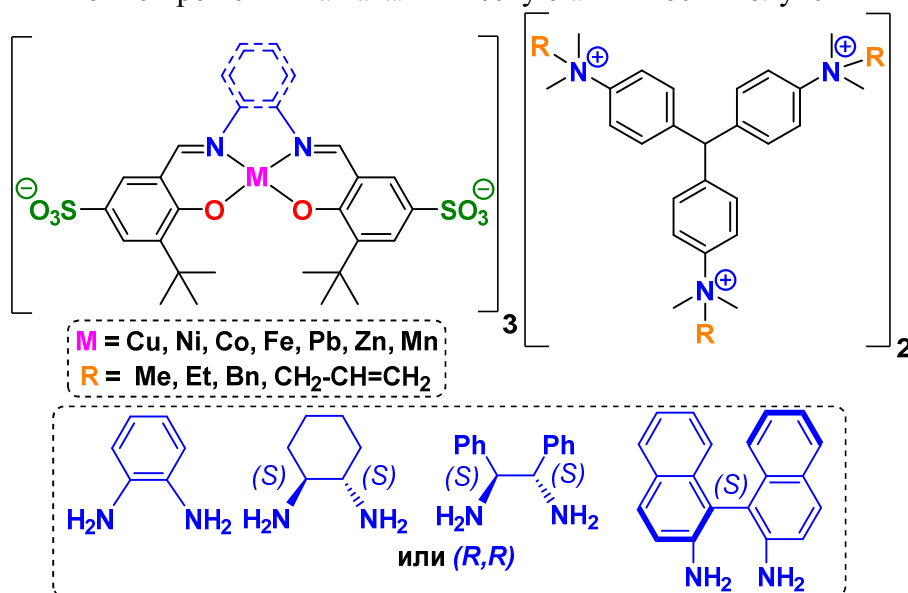


Рис. 1. Структуры супрамолекулярных ионных металл-органических каркасов.

Полученные ионные металлокомплексы будут исследованы в качестве катализаторов для различных реакций, включая триметилсилилцианирование альдегидов, реакция Аз-каплинга, присоединение нитростиролов к индолам. Кроме того, наличие доступных координационных сайтов на атоме металла открывает перспективы для электрохимического катализа, и поэтому также планируется исследование активности композитных катализаторов в электрокаталитическом восстановлении углекислого газа.

Автор:

асп. 2 г.о. Куандыков Д.М.

Руководитель:

д.х.н., зав. лаб. Ларионов В.А.  
04.03.2026

## ИОННЫЕ МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНАЯ ОСНОВА ДЛЯ НОВЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ

*КУЦЕВАЛОВА Ульяна Александровна*  
*аспирант 1 года обучения*

*1.4.3. «Органическая химия»*

*Содоклад к работе Куандыкова Дмитрия Максимовича*

Металл-органические каркасы (Metal-Organic Frameworks, MOF) представляют собой гибридные кристаллические материалы, в которых ионы металлов соединены органическими линкерами, формируя регулярные пористые структуры. Благодаря уникальному сочетанию высоких значений удельной поверхности и пористости, а также возможности контроля геометрии пор, MOF рассматриваются как перспективная платформа для создания гетерогенных катализаторов нового поколения [1].



Одним из активно развивающихся направлений является разработка хиральных MOF для асимметрического катализа. Пористая структура MOF позволяет создать хиральное микроокружение, способное контролировать ориентацию субстрата в ходе реакции, что открывает возможности для получения оптически активных соединений, востребованных в фармацевтической промышленности [2]. Хиральность может быть введена в каркас через использование оптически активных линкеров или создание хирального окружения вокруг металлических центров.

Особый интерес представляет подкласс ионных металл-органических каркасов (Ionic Metal-Organic Frameworks, IMOF), в которых каркас несет суммарный электрический заряд, компенсируемый противоионами в порах. При этом, с одной стороны, взаимная фиксация групп в пространстве будет обеспечена сильными ионными взаимодействиями, а с другой – будет сохраняться их достаточная подвижность для того, чтобы в ходе кооперативного взаимодействия группы могли бы менять свое положение в пространстве в широком интервале [3].

Таким образом, супрамолекулярные ионные металл-органические каркасы, сочетающие структурную упорядоченность, возможность введения хиральности, гетерогенную природу и редокс-активность, могут быть применены в широком спектре органических реакций разного типа.

### Список литературы:

- [1] R.E. Malekshah, M. Moharramnejad, S. Gharanli, M. Shahi, A. Ehsani, J. Haribabu, H. Ouachtak, Ba. Mirtamizdoust, K. Kamwilaisak, M. Sillanpää, H. Erfani, ACS Omega, 2023, 8(35), 31600–31619.
- [2] X. Han, W. Li, B. Yang, C. Jiang, Z. Qu, Ha. Xu, Y. Liu, Y. Cui, Advanced Materials, 2025, 37(52), e2415574.
- [3] A. Karmakar, A.V. Desai, S.K. Ghosh, Coordination Chemistry Reviews, 2016, 307, 313–341.

**Автор:**

Куцевалова У.А.

**Основной докладчик:**

Куандыков Д.М.

18.03.2026

# ФИКСАЦИЯ CO<sub>2</sub> НА ОКСИРАНАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ БРОМИДОВ ЛИТИЯ И МАГНИЯ В СМЕСИ С АЗОТ- И ФОСФОРСОДЕРЖАЩИМИ ОРГАНИЧЕСКИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ В КАЧЕСТВЕ КАТАЛИЗАТОРА

*АРИФУЛИН Рамиль Жаферович*

аспирант 1-го года обучения

лаборатория стереохимии сорбционных процессов, №314

В современном обществе одной из многочисленных проблем является переработка отходов промышленного производства и энергетики, причем основным отходом является углекислый газ. Один из методов его переработки предполагает использование реакции сочетания с оксиранами с формированием ценных органических карбонатов. Цель работы заключается в поиске новых доступных катализаторов данного процесса. Проведено тестирование бромида лития и магния в сочетании с различными азот- и фосфорсодержащими лигандами в качестве катализаторов реакции присоединения CO<sub>2</sub> к оксиранам. Найдены эффективные системы для данного каталитического процесса с использованием, в том числе, низких давлений углекислого газа (Схема 1).

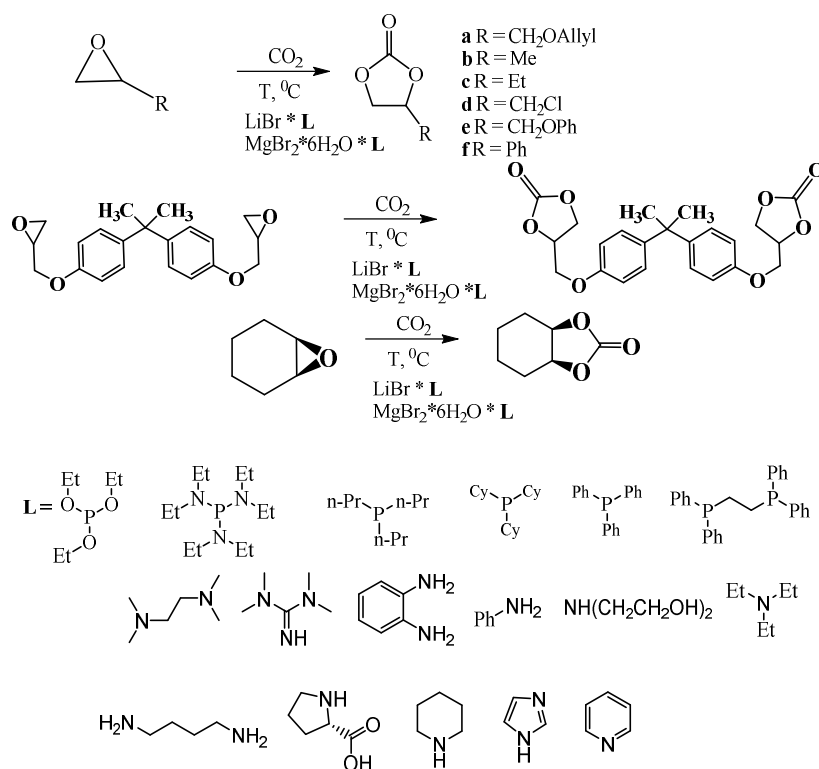


Схема 1. Реакция присоединения CO<sub>2</sub> к оксиранам

Автор: \_\_\_\_\_

Арифудин Р.Ж. 03.03.26

Руководитель: \_\_\_\_\_

д.х.н., зав.лаб. Любимов С.Е. 03.03.26

## РЕАКЦИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ОКСИРАНАМИ

*АЛЕКСЕЕВ Никита Валерьевич*  
аспирант 1-го года обучения

1.4.8. «Химия элементоорганических соединений»  
Содоклад к работе Ариффулина Рамиля Жаферовича

Углекислый газ является одним из главных антропогенных парниковых газов, образующихся в результате промышленной деятельности. Несмотря на его роль в глобальном потеплении, CO<sub>2</sub> можно рассматривать не только как проблему для экологии, но и как доступное и недорогое сырьё для синтеза разнообразных химических соединений. Однако его термодинамическая стабильность и низкая реакционная способность создают значительные трудности при его химической переработке, что требует разработки эффективных катализаторов для его превращения. Одним из перспективных направлений является разработка методов синтеза органических циклических карбонатов, которые находят широкое применение в различных отраслях, включая производство электролитов для литий-ионных батарей, полярных растворителей и мономеров для синтеза поликарбонатов и полиуретанов.

Среди многообразия катализаторов, применяемых в реакции карбоксилирования оксиранов, особое внимание уделяется галогенидным солям тетраалкиламмония и фосфония, а также ионным жидкостям на основе N-алкилимидазола, которые зарекомендовали себя как эффективные катализаторы (Схема 1). Дополнительное повышение каталитической активности возможно с помощью бифункциональных каталитических систем, содержащих как галогенид-ион, так и донор водородной связи. Примером таких катализаторов могут быть гидроксил- и карбоксилзамещённые аммониевые соли. Некоторые катализаторы также возможно использовать повторно без существенной потери каталитической активности, что делает процесс более экономически и экологически привлекательным.

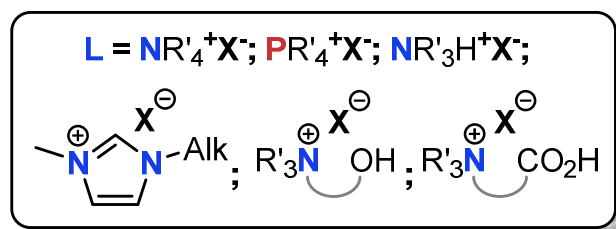
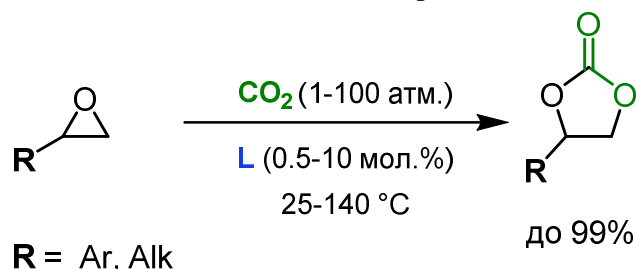


Схема 1. Каталитическое присоединение CO<sub>2</sub> к оксиранам

## Список литературы:

- а) С.Е. Любимов, П.В. Черкасова, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2025, 74, 1940–1957.
- б) Kuznetsov, N.Y., Lyubimov, S.E., Cherkasova, P.V. and Beletskaya I.P., *Russ. J. Org. Chem.*, 2025, 61, 1066–1075.

Автор:

/Алексеев Н.В./ 19.03.2025

Основной докладчик:

/Ариффулин Р.Ж./ 19.03.2025

## 3,5-БИС(АРИЛИДЕН)-4-ПИПЕРИДОНЫ В СКАФФОЛД ОРИЕНТИРОВАННОМ СИНТЕЗЕ ГИБРИДНЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИСТЕМ С ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ АКТИВНОСТЬЮ

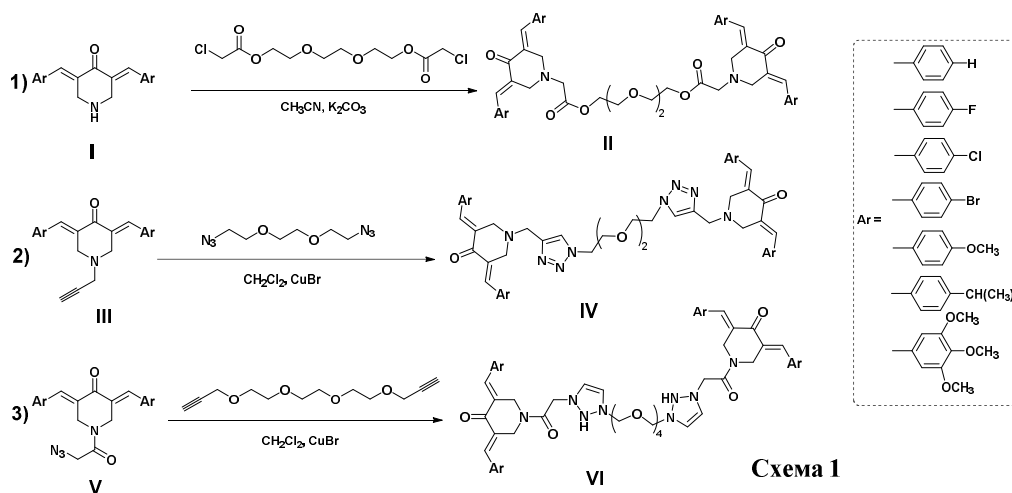
*КОЛЕСНИКОВ Алексей Сергеевич*

аспирант 2-го года обучения

лаборатория **Фосфорорганических соединений**, №112

Клинический потенциал органических субстратов, таких как куркумин, существенно ограничен из-за его низких фармакодинамических и фармакокинетических свойств. Скаффолды на основе 3,5-бис(арилиден)-4-пиперидона считаются структурными монокарбонильными аналогами куркумина, которые обладают широким спектром разнообразных биологических свойств, включая высокую цитотоксичность по отношению к различным линиям раковых клеток. Ранее удалось выявить зависимость повышения цитотоксичности и растворимости полученного аналога куркумина, связанную с длиной цепи полиэтиленгликолевого (ПЭГ) фрагмента.

Цель этого этапа работы заключалась в синтезе 3,5-бис(арилиден)-4-пиперидонов с различными заместителями в ароматическом кольце с ПЭГ фрагментом и второй фармакофорной группой – аналогичным пиперидоном. Для получения подобных «сдвоенных» соединений была использована **схема 1**. На каждом направлении использовались предварительно синтезированные производные триэтиленгликоля, замещенные с двух сторон: хлорацетатное (1), азидное (2) или пропаргильное (3). Для реализации поставленной задачи была применена методология ацилирования (1) и «клик»-химия (2 и 3). Все синтезированные аддукты были выделены методом колоночной хроматографии и охарактеризованы методами ЯМР.



Дальнейшее биологическое тестирование на различных линиях раковых клеток выявит влияние амидной и аминной форм азота, а также установит степень воздействия триазольного цикла на величину цитотоксичности.

**Автор:**

**Руководитель:**

Колесников А. С.  
проф., д.х.н. Брель В.К.  
05.03.2026

# ОБОХ

## МОНОКАРБОНИЛЬНЫЕ АНАЛОГИ КУРКУМИНА ДЛЯ ПРОТИВООПУХОЛЕВОЙ ТЕРАПИИ

*НИКОЛАЕВ Станислав Александрович*  
*аспирант 1-го года обучения*

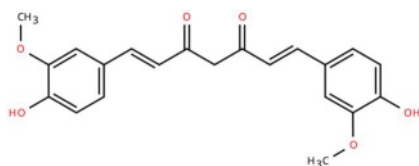
1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

*Содоклад к работе Колесникова Алексея Сергеевича*

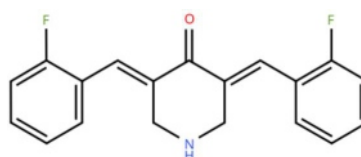
Терапевтические свойства куркумина были известны с давних времен, однако за последние десятилетия были изучены как его влияние на воспалительные процессы, так и механизмы, обеспечивающие биологическую активность этого вещества. Так, была продемонстрирована эффективность использования куркумина в лечении хронических воспалительных процессов [1] и в качестве противоопухолевого препарата [2].

Тем не менее, низкая биодоступность и устойчивость куркумина требовали новых подходов. Так, распространенным подходом стало получение монокарбонилпроизводных, что позволило увеличить стабильность лекарственного вещества в физиологических средах [3]. Так, исследованы гетероароматические монокарбонилпроизводные и молекулы на основе циклогексанона. Однако особый интерес представляют бис(арилиден)пиперидоны ввиду повышенной противоопухолевой активности и устойчивости [4].

Одним из таких веществ является EF24, впервые полученный в 2004 году [5]. Последующие исследования показали, что его значение IC<sub>50</sub> в 10-20 раз ниже, чем у куркумина. Кроме того, при пероральном применении его биодоступность составляет около 60%. Основным механизмом действия EF24 заключается в ингибировании пути NF-κB и белка IκB-1α, а также регуляции сигнального пути MAPK и продукции активных форм кислорода. Тем не менее, значительное количество потенциальных мишеней и эффектов на организм остаются не до конца изученными [6].



Куркумин



EF24

Несмотря на значительные, затраты, направленные на применение куркумина и его производных, на данный момент отсутствуют молекулы, высокая эффективность и низкая токсичность которых были бы подтверждены в достаточной степени. Кроме того, низкая растворимость в воде остается характерной чертой производных куркумина. Широкий спектр благоприятных биологических эффектов, потенциально низкая токсичность и сохраняющаяся проблема онкологических заболеваний стимулируют исследования, направленные на разработку аналогов куркумина.

### Список литературы:

1. Aggarwal B. B., Harikumar K. B. The international journal of biochemistry & cell biology. – 2009. – Т. 41. – №. 1. – С. 40-59.
2. Zoi V. et al. Biomedicines. – 2021. – Т. 9. – №. 9. – С. 1086.
3. Yin S. et al. J Cancer Ther. – 2013. – Т. 4. – №. 1. – С. 113-23.
4. Nagargoje A. A. et al. Archiv der Pharmazie. – 2024. – Т. 357. – №. 9. – С. 2400197.
5. Adams B. K. et al. Bioorganic & medicinal chemistry. – 2004. – Т. 12. – №. 14. – С. 3871-3883.
6. He Y. et al. Frontiers in oncology. – 2018. – Т. 8. – С. 614.

**Автор:** Николаев С.А. 19.03.2026

**Основной докладчик:** Колесников А.С. 19.03.2026

# РУТЕНИЙ-КАТАЛИЗИРУЕМОЕ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ АМИНИРОВАНИЕ В МЯГКИХ УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПОФОСФИТА НАТРИЯ

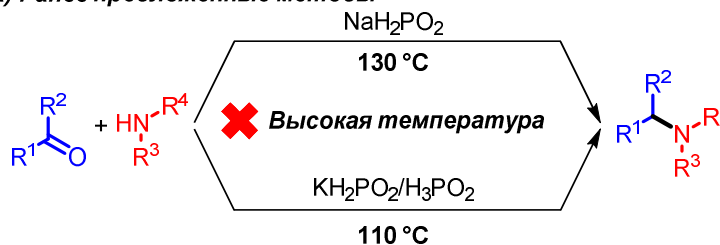
*ЗВЕРЕВА Олеся Владиславовна*

*выпускник магистратуры факультета химии НИУ ВШЭ*

лаборатория **Эффективного катализа, №103**

Амины являются важным классом соединений в органической химии и используются как в лекарственных препаратах, так и в роли прекурсоров для получения сложных молекул. Широко применяемым методом синтеза аминов является восстановительное аминирование, в котором на эффективность и селективность процесса влияет выбор восстанавливающего агента. Гипофосфит натрия ( $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ) представляет собой привлекательный восстановитель, сочетающий в себе низкую стоимость, коммерческую доступность и экологическую безопасность. Побочными продуктами при его использовании являются фосфиты и фосфаты, применяемые в сельском хозяйстве. Данный реагент активно используется в промышленности, однако о его применении в области органического синтеза известно значительно меньше. Ранее в нашей исследовательской группе были изучены гипофосфиты щелочных металлов в качестве восстановителей в некаталитическом варианте восстановительного аминирования. Однако, разработанные методы предполагают нагрев реакционной массы до 110 – 130 °С, что затрудняет работу с чувствительными к температуре субстратами (Схема 1, а).

**а) Ранее предложенные методы**



**б) Эта работа**

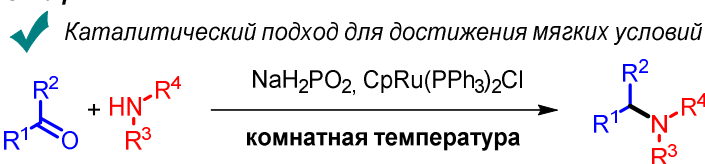


Схема 1. Восстановительное аминирование с гипофосфитом натрия.

В данном исследовании предложен рутений-катализируемый метод восстановительного аминирования с использованием гипофосфита натрия, позволяющий снизить температуру реакции вплоть до комнатной (Схема 1, б).

**Автор:**

/Зверева О.В./

**Руководитель:**

/г.н.с., д.х.н. Чусов Д.А./

05.03.2026

## НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА 1-(β-ЭТИЛ)ЗАМЕЩЁННЫХ ПИПЕРИДОНОВ-4 ИЗ АКТИВИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЭТИЛЕНКЕТАЛЯ 1-(β-ГИДРОКСИЭТИЛ)ПИПЕРИДОНА-4

*МАЛЮТИН Никита Игоревич*

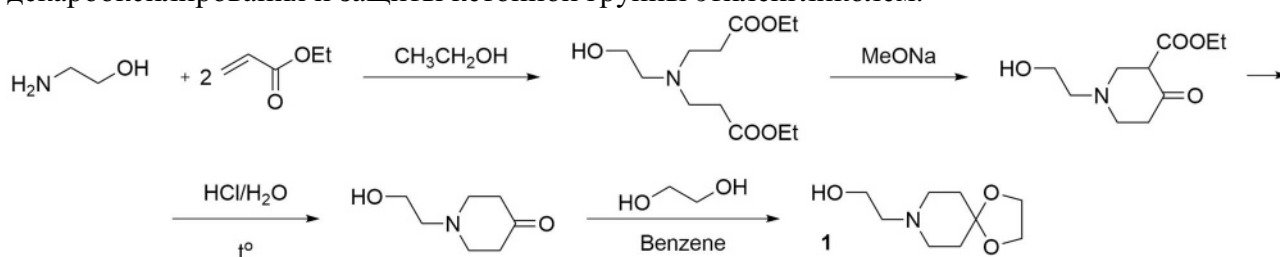
выпускник РХТУ им. Д.И. Менделеева, ХФТ, 2026 г.

лаборатория **Тонкого органического синтеза**, №109

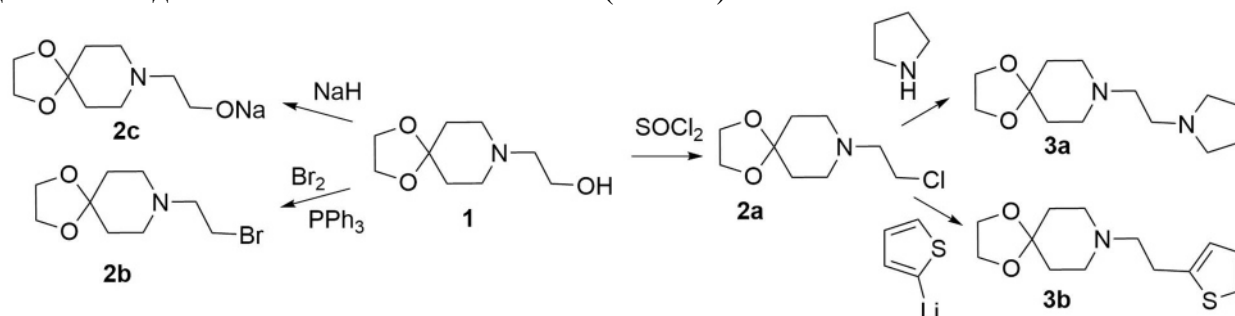
Пиперидон-4 является важным гетероциклическим фрагментом, широко используемым в медицинской химии при создании биологически активных соединений. Однако существующие методы их получения характеризуются многостадийностью, необходимостью жёстких условий и ограниченной вариативностью вводимых заместителей.

Целью нашей работы являлась разработка нового универсального метода синтеза 1-(β-этил)замещённых пиперидонов-4, содержащих арильный или гетероциклический заместитель с использованием единого универсального исходного соединения.

В ходе работы нами был получен этиленовый кеталь 1-(β-гидроксиэтил)пиперидона-4 **1** по 4-стадийной схеме без выделения промежуточных соединений (схема 1). Синтез заключался в последовательном проведении реакции Михаэля, циклизации по Дикману, декарбоксилирования и защиты кетонной группы этиленгликолем.



Для последующей функционализации полученного спирта **1** нами были синтезированы β-хлор- **2a**, β-бромэтильные **2b** активированные производные, а также натриевый алкоголят **2c** (схема 2). С целью получения целевого соединения нами были проведены реакции полученного хлорпроизводного с пирролидином и литированным тиофеном с получением целевых соединений **3a** и **3b** соответственно (схема 2).



На основании полученных данных нами была доказана возможность активации гидроксильной группы и получения целевого соединения на основании предложенного в данной работе метода, подтверждая синтетическую гибкость выбранного интермедиата и возможность его использования для дальнейших направленных превращений.

**Автор:**

**Руководитель:**

Малютин Н.И.

д.х.н. Колдобский А.Б., 05.03.2026

*Секция*  
*«Высокомолекулярные соединения»*

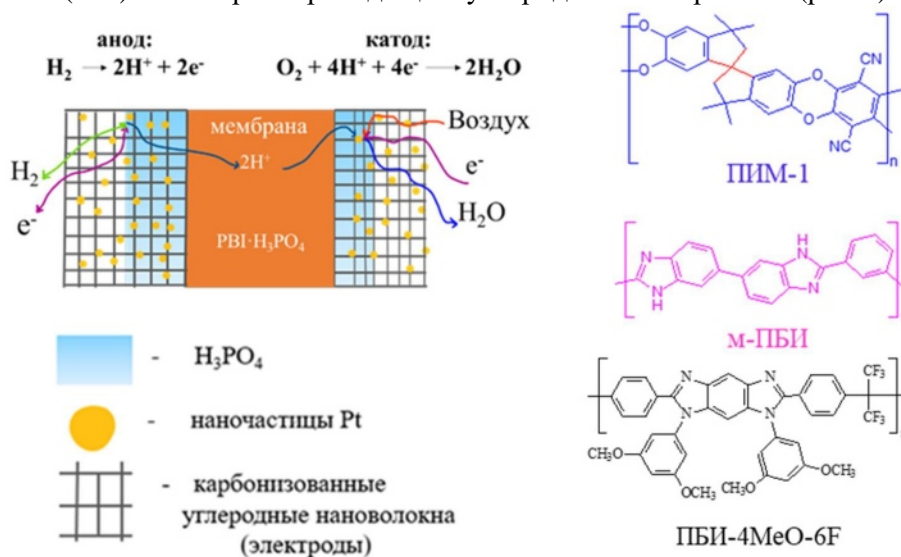
## КОМПОЗИТНЫЕ НАНОВОЛОКНИСТЫЕ КАРБОНИЗОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА И ПОЛИГЕТЕРОАРИЛЕНОВ ДЛЯ СРЕДНЕТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛЬНОЙ МЕМБРАНЕ

*ВТЮРИНА* *Елизавета Сергеевна,*

аспирант 4-го года обучения

лаборатория **Синтеза гетероциклических полимеров, №308**

Совершенствование мембранно-электродного блока (МЭБ) для среднетемпературных топливных элементов (ТЭ) на полимерно-электролитной мембране является важной задачей водородной энергетики. МЭБ состоит из платинированных газодиффузионных электродов Pt/C (анод и катод) и протонпроводящей мембраны на основе полибензимидазола (ПБИ), допированного *o*-фосфорной кислотой (ФК). Такая мембрана имеет высокую протонную проводимость при температурах 150-200 °С, что позволяет ТЭ работать с H<sub>2</sub>, полученным путем газового риформинга, т.е. загрязненным СО. Электрохимическая коррозия широко используемой в электродах сажи в среде ФК во время работы ТЭ приводит к разрушению сажи и потере электрокатализатора - наночастиц (НЧ) Pt. Для сохранения НЧ Pt необходимо использовать более устойчивые наноструктурированные углеродные материалы, например, углеродные нановолокна (УНВ). Для работы МЭБ необходимо обеспечить равномерное поступление газов к электродам и НЧ Pt, расположенных на трехфазной границе (ТФГ) между газовыми каналами, протонпроводящей фазой (ФК) и электрон-проводящим углеродным материалом (рис.1).



**Рис. 1.** Организация ТФГ на электродах (слева) и структуры полимеров (справа).

Целью работы является совершенствование МЭБ, в.т.ч. получение матов УНВ на основе гетероциклических полимеров, их детальное порометрическое исследование и дальнейшее испытание Pt/УНВ в ТЭ. Для этой цели были выбраны полиакрилонитрил (ПАН), как наиболее распространённый прекурсор УНВ; сополимер поли(акрилонитрил-со-метилакрилата) (ПАН-МА) с содержанием звеньев МА 5.8%; ПБИ, как обладающий гетероароматической структурой для лучшей графитизации; и полимер с внутренней микропористостью (ПИМ-1), содержащий спирофрагменты (т.к. ожидается сохранение микропористой структуры при карбонизации). УНВ получали методом электроспиннинга растворов полимеров с последующей температурной

стабилизацией и пиролизом (900 – 1500 °С). Полученные маты УНВ были комплексно охарактеризованы методами адсорбции N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub>, спектроскопией КР, элементным анализом, электронной микроскопией, РФЭС, измерением электропроводности и другими методами. Комбинирование методов адсорбции N<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> позволяет комплексно охарактеризовать пористую структуру материала. Варьирование природы полимера и температурных режимов позволяет направленно регулировать структуру и свойства УНВ для использования в качестве электродов в ТЭ. Так, УНВ с различной удельной площадью поверхности ( $S_{уд}$ ) на основе ПАН получали посредством термообработки (стабилизация, пиролиз) и модификации нитратом цинка.<sup>1,2</sup> Повышение температуры стабилизации от 250 до 350 °С способствовало росту микропористости, тогда как увеличение температуры пиролиза свыше 1000–1200 °С приводило к частичному «схлопыванию» пористой структуры и снижению удельных характеристик. Повышенные значения  $S_{уд}$  (до 597 м<sup>2</sup>/г) достигнуты для УНВ на основе ПАН-МА (стабилизированного при 350 °С) при введении Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, что сопровождалось развитием мезопористости за счет выделения паров Zn.

Показано,<sup>3</sup> что УНВ на основе ПИМ-1 сохраняют микропористость после пиролиза; повышение температуры обработки в среде Ag/H<sub>2</sub> или в вакууме приводит к росту  $S_{уд}$  и  $V_{уд}$  микропор и электропроводности. Для анода Pt/УНВ на основе ПИМ-1 в ТЭ достигнута плотность мощности 0,469 Вт/см<sup>2</sup> при 1,3 А/см<sup>2</sup>. Для ПИМ-1 температурный пиролиз до 1200 °С приводит к замкнутой системе микропор.<sup>3</sup> Повышение температуры пиролиза до 1500 °С ведет к увеличению  $S_{уд}$  по БЭТ, равную 324 м<sup>2</sup>/г, что говорит о развитии системы открытых пор при подборе условий карбонизации.<sup>4</sup> УНВ на основе ПБИ демонстрируют преимущественно микропористую структуру с  $S_{уд}$  микропор ~900 м<sup>2</sup>/г. Композиционный мат на основе ПАН, модифицированный Ni и Zr, характеризуется низкой  $S_{уд}$  по БЭТ (49 м<sup>2</sup>/г) и преимущественно мезопористой структурой, при этом сохраняется развитая система микропор ( $S_{уд}$  ~280 м<sup>2</sup>/г).<sup>4</sup> Полученные Pt/УНВ успешно протестированы в МЭБ ТЭ в качестве как анодов, так и катодов.

Потеря свободной ФК в МЭБ способно приводить к снижению протонной проводимости мембраны. Для решения данной проблемы разработаны ПБИ семейства 6F (рис. 1), с ковалентно связанными фосфатными группами в боковых цепях получаемые через стадию термической гетероциклизации и замещением метокси-групп фосфатными непосредственно во время работы ТЭ.<sup>5-9</sup> Такие покрытия, нанесённые на Pt/УНВ-электроды, формируют непрерывный протонопроводящий «слой» внутри МЭБ, что приводит к существенному росту характеристик ТЭ: для анода ПБИ-4MeO-6F/Pt/УНВ при 180 °С достигнута плотность мощности до 500 мВт/см<sup>2</sup>, а применение мембран (ПБИ-4MeO) и электродов модифицированных ПБИ-4MeO-6F приводит к повышению показателей до 0,52 Вт/см<sup>2</sup> при 1,4 А/см<sup>2</sup>.

Предложенные подходы позволяют впервые связать порометрические характеристики УНВ на основе гетероциклических полимеров с характеристиками МЭБ и указать на важную роль мезопористости УНВ; а также улучшить межфазовые границы в МЭБ.

#### Список публикаций:

- [1] Vtyurina E.S., Ponomarev I.G., Buyanovskaya A.G., Ponomarev I.I., Skupov K.M. Her. Bauman Moscow State Tech. Univ., Ser. Nat. Sci. 2023, 107, 160.
- [2] Vtyurina E.S., Skupov K.M., Ponomarev I.I., et al. Prot. Met. Phys. Chem. Surf. 2024, 60, 100.
- [3] Skupov K.M., Vtyurina E.S., Ponomarev I.I., Ponomarev I.V., Aysin R.R. Polymer, 2023, 264, 125546
- [4] Vtyurina E.S., Ponomarev I.I., Naumkin A.V., Bukalov S.S., Aysin R.R., Ponomarev I.V., Zhigalina O.M., Khmelenin D.N., Skupov K.M. ACS Appl. Nano Mater., 2024, 7, 4313.
- [5] Ponomarev I.I., Volkova Yu.A., Skupov K.M., Vtyurina E.S., Ponomarev I.I., et al. Int. J. Mol. Sci. 2024, 25, 6001.
- [6] Ponomarev I.I., Razorenov D.Y., Skupov K.M., Ponomarev I.I., Volkova Y.A., Lyssenko K.A., Lysova A.A., Vtyurina E.S., Buzin M.I., Klemenkova Z.S. Membranes. 2023, 13, 552.
- [7] Skupov K.M., Ponomarev I.I., Vtyurina E.S., Volkova Y.A., Ponomarev I.I., et al. Membranes, 2023, 13, 479.
- [8] Ponomarev I.I., Skupov K.M., Vtyurina E.S., Zhigalina O.M. Non-ferrous Metals. 2024. No. 2, 31.
- [9] Ponomarev I.I., Volkova Yu.A., Skupov K.M., Vtyurina E.S., Ponomarev I.I. Mendeleev Commun. 2025, 35, 119.

**Автор:**

(Е.С. Втюрина)

**Руководитель:**

(к.х.н. К.М. Скупов)

## Синтез нефуллереновых акцепторов и полимеров на основе битиофенпирролов, битиофенциклопентанов и бензотриазолов для солнечных фотоэлементов

*ШИКИН Дмитрий Яковлевич*  
*аспирант 4-го года обучения*

лаборатория **Физической химии полимеров, № 311**

В современном мире существует много глобальных проблем. Одна из них – истощение природных ресурсов. С каждой минутой в мире используется огромное количество нефти и газа для нужд человека, при этом потребность в них не только не падает, а даже растёт с каждым годом. В связи с исчерпаемостью всех видов природных углеводородов и необходимостью удовлетворять постоянно растущие потребности в энергии перед мировым сообществом уже несколько десятилетий стоят проблемы поиска и создания новых эффективных источников энергообеспечения. В основе современной концепции экономического развития европейских стран заложено использование запасов ископаемого топлива, при условии внедрения энергосберегающих технологий, и возобновляемых источников энергии. К возобновляемым природным ресурсам относятся: солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы и геотермальная теплота. Солнце является самым перспективным, доступным и теоретически полностью безопасным для окружающей среды источником энергии.

Полимерные солнечные фотоэлементы (ПСФ) являются одной из самой многообещающей, экологически чистой, фотовольтаической технологией благодаря уникальным преимуществам, таким как: низкая стоимость, полупрозрачность и возможность изготовления гибких устройств большой площади. Фотоактивный слой ПСФ состоит из двух фаз, формируемых полимерным донором и электроно-акцепторным материалом (производные фуллерена или нефуллереновые акцепторы - НФА). Буквально за последние 5 лет ПСФ на основе НФА достигли быстрого прогресса в эффективности, значительно превысив при этом производительность фуллереновых устройств.

В настоящее время существует несколько подходов к получению высокоэффективных НФА:  $\pi$ -удлинение сопряжения, нарушение симметрии, введение гетероатомов в сопряжённую структуру (таких как O, N, Se и др.), и перенос спектра поглощения активного слоя в ближнюю инфракрасную область (БИК). Следуя этим концепциям, в ходе работы были получены группы НФА с разными центральными звеньями:

- 1) Несимметричный неконденсированный NFA-12 (рис. 1) и симметричные NFA-14 и NFA-15 (рис. 2) на основе бензотриазола;
- 2) NFA-6 – NFA-11 (рис. 3) неконденсированные с этиниленовым линкером для тройных нефуллереновых полимерных солнечных элементов на основе битиофенциклопентана и битиофенпиррола;
- 3) Конденсированные симметричные и несимметричные NFA 16-18 (рис. 4) на основе битиофенпиррола и бензотриазола.

На основе центрального ядра NFA-14 и NFA-15 были получены полимеры, которые могут быть использованы в качестве эффективных доноров в ПСФ.

Полученные соединения были охарактеризованы стандартными спектральными методами ( $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектроскопия), MALDI-TOF-MS и данными элементного микроанализа.

## BMC

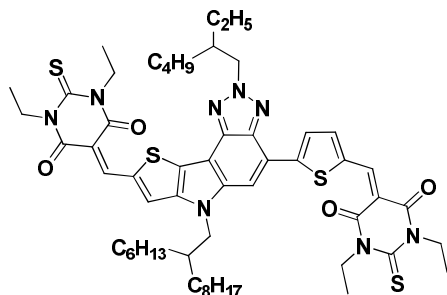


Рисунок 1. Несимметричный NFA-12

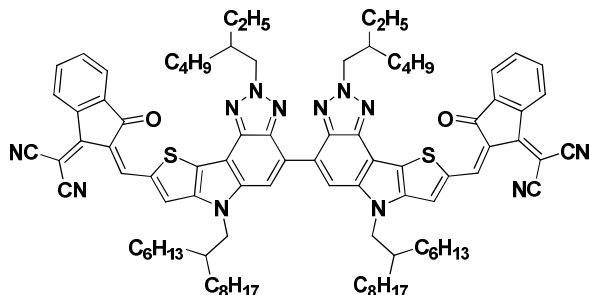


Рисунок 2. Симметричный NFA-15

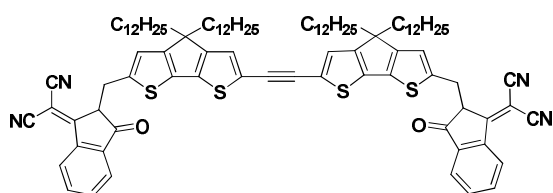


Рисунок 3. NFA-6 с этиниленовым линкером

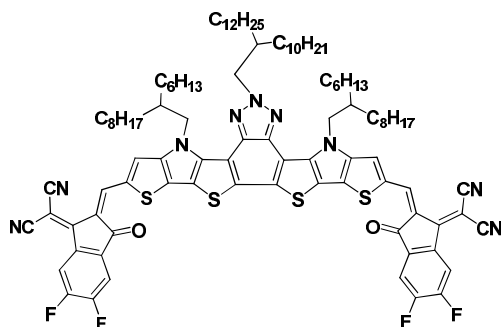


Рисунок 4. Конденсированный NFA-16

[1] Mukhamed L. Keshtov, Alexei R. Khokhlov, Dimitriy Y. Shikin and Ganesh D. Sharma. Medium Bandgap Nonfullerene Acceptor for Efficient Ternary Polymer Solar Cells with High Open-Circuit Voltage // ACS Omega, 2023, 8, pp. 1989-2000

[2] M. L. Keshtov, D. Y. Shikin, I. E. Ostapov and Ganesh D. Sharma. Dithieno[2,3-e:3',2'-g]isoindole-7,9(8H)-Dione and Dithieno[3',2':5,6;2'',3'':7,8]naphtha[2,3-d]imidazole-9(10H)-One-Based Wide Bandgap Copolymer for Efficient Polymer Solar Cells // Energy Technology, 2022, 11, pp. 1-10

[3] Sharma Ganesh D., Khokhlov A.R., Keshtov M.L., Shikin D.Y., Godovsky D.Y., Sergeev V.N., Liu J., Kalinkin D.P., Alekseev V.G., S Shyam Shankar. Non-fused nonfullerene acceptors with asymmetric benzo[1,2-b:3,4-b', 6,5-b'']trithiophene (BTT) central donor core and different acceptor terminal units for organic solar cells // Chemistry - A European Journal, 2024, 30, pp. 235-239

[4] Keshtov Muchamed, Khokhlov Alexei, Shikin Dmitri, Liu Jun, Kalinkin Dmitri, Alekseev Vladimir, Singhal Rahul, Sharma Ganesh D. Ternary Organic Solar Cells Based on S, N-Heteroacene Non-Fullerene Acceptors with Unfused Architecture A-D-D-A-Type // Energy Technology, 2025, 14, pp. 1-12

[5] Keshtov M.L., Shikin D.Ya, Sergeev V.N., Kalinkin D.P., Aleseev V.G., Karak S., Singhal Rahul, Sharma Ganesh D. New Nitrogen-Containing Heterocyclic Non-Fullerene Electron Acceptor as Guest in PBDB-T:Y6 Blends for Air-Processed Ternary Organic Solar Cells with Efficiency Approaching 16% // Solar RRL, 2025, 24, pp. 1-8

[6] Mukhamed L. Keshtov, Dimitriy Y. Shikin, D. P. Kalinkin, D. Y. Godovsky, Supravat Karak, Ganesh D. Sharma. New Medium Band Gap Nonfullerene Acceptors Based on 4H-Dithieno[3,2 b:2',3'-d]Pyrrole with Different Aliphatic Side Chains for Organic Solar Cells // ACS Appl. Energy Mater, 2025, 8, (14), pp. 10671-10681

[7] M. L. Keshtov, A. R. Khokhlov, D. P. Kalinkin, D. Y. Shikin, Hemraj Dahya, S. Karak, Ganesh D. Sharma. Synthesis and Characterization of a New Wide Bandgap Donor Polymer through Direct Arylation Polycondensation Method for Enhanced Performance in Ternary Non-Fullerene Organic Solar Cells // Macromolecular Rapid Communications, 2025, 46 (19), pp. 1-12

[8] M. L. Keshtov, Zh. Xie, A. R. Khokhlov, V. N. Sergeev, D. P. Kalinkin, D. Y. Shikin, D. Y. Godovsky, S. Karak, Ganesh D. Sharma. Novel Noncondensed Acceptors Based on 4H-Dithieno[3,2-B:2', 3'-D]pyrrole and 4H-Cyclopenta[1,2-B:5,4-B']Dithiophene N, S-Heterocycles with an Ethynylene Linker for Ternary Polymer Solar Cells with an Efficiency More than 15% // Solar RRL, 2025, 9(19), pp. 1-14

Автор:  
05.03.2026  
Руководитель:  
05.03.2026

Шикин Д.Я.  
д.х.н., в.н.с. Кештов М.Л.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ С СИДНОНИЛЬНЫМИ ЗАМЕСТИТЕЛЯМИ.

**ШАКУРОВ Иван Иванович**

аспирант 4-го года обучения

Лаборатория **Кремнийорганических соединений №304.**

В современной полимерной химии ключевым направлением является синтез новых материалов с заданным комплексом свойств, и особый интерес в этом контексте представляют полиорганосилоксаны (ПОС). Основным их недостатком являются низкие прочностные характеристики, которые можно улучшить введением полярных групп. Удобным методом введения заместителей как в полимеры, так и в мономеры является реакция гидросилилирования (ГС).

Значительный потенциал в этом аспекте демонстрируют мезоионные соединения, в частности сидноны. Введение сиднонильных группировок в структуру ПОС открывает путь к созданию полимерных материалов с принципиально новыми оптическими, адгезионными, механическими и биомедицинскими свойствами.

С этой целью был получен ряд олефиновых производных сиднонов (Рис. 1).

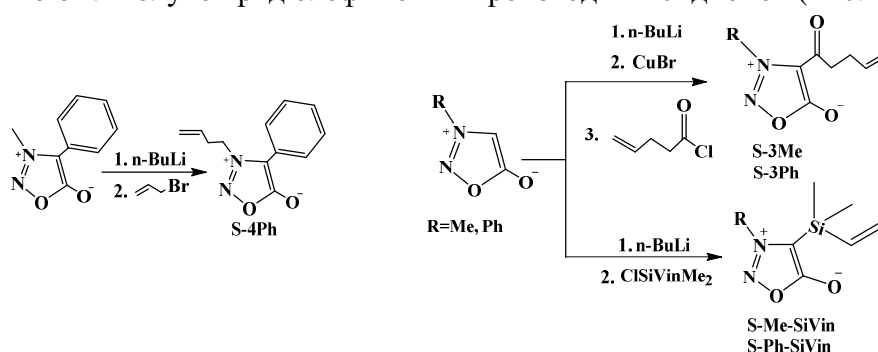


Рис. 1. Олефиновые производные сиднона.

На первом этапе работы был исследован процесс ГС на модельных реакциях S-Me-SiVin и S-Ph-SiVin с тетраметилдисилоксаном (Рис. 2).

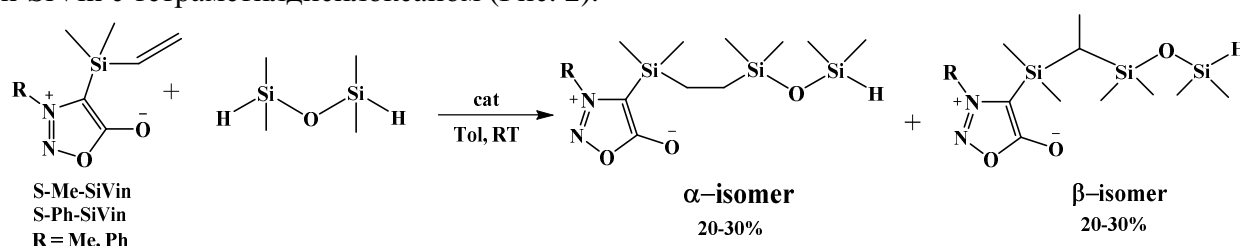


Рис. 2. ГС олефиновых производных сиднонов.

Было установлено, что сиднонильный фрагмент в олефиновых производных не препятствует протеканию процесса ГС [1]. Реакция протекает плавно в присутствии катализаторов на основе платины ( $[Pt]^0$ ,  $H_2PtCl_4$ ) и региоселективно, преимущественно образуются  $\beta$ -изомеры, но близкое расположение кратной связи к сиднону и атому кремния в условиях катализа приводит к разрыву связи Syd-Si и низкому выходу продуктов реакций.

На следующем этапе работы были получены хлор- и алкоксисиланы с сиднонильными заместителями ( $R_nSiCl(OEt)_{4-n}$ ) реакцией ГС S-3Ph, S-3Me и S-4Ph с соответствующими хлор- и алкоксисиланами и показано, что сиднонильный фрагмент сохраняется в процессе гидролитической поликонденсации (ГПК) - основном методе получения ПОС (Рис. 3).



## ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОГО СОСТАВА СВЕРХСШИТЫХ СОРБЕНТОВ СТИРОЛА С 3% ДИВИНИЛБЕНЗОЛА НА СОРБЦИЮ МОЛЕКУЛ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

*ГАЖЕЕВ Сорол Тумэнович*

аспирант 3-го года обучения

лаборатория **Стереохимии сорбционных процессов, №314**

Сверхсшитый полистирол (ССП) с иерархической пористой структурой перспективный гемосорбент, для удаления из крови большого токсичных веществ в т.ч. цитокинов  $M_w (1 - 4.5) \times 10^4$  г/моль и  $d \sim 2 - 7$  нм и нежелательной сорбцией основного белка крови - альбумина ( $65 \times 10^4$  г/моль,  $d \sim 8$  нм), на который приходится половина концентрации всех белков крови. Поэтому разработка простых и контролируемых методов регулирования текстурных характеристик ССП, определяющих селективность сорбции различных белков - важная практическая задача.

Иерархическая пористая структура ССП задана в две стадии. Макроретикулярные поры ( $d > 5$  нм) формировались в процессе сополимеризации стирола с 3% дивинилбензола в присутствии порообразующей смеси октана и толуола разного состава. Малые поры ( $d < 5$  нм) (собственная пористость ССП) формировались во время вторичной интенсивной сшивки по Фриделю - Крафтсу.

Сорбционная емкость полученных образцов составила 130-220 мг/г по метиленовому синему (374 г/моль), 10-300 мг/г по конго красному (697 г/моль), 1 - 200 мг/г по цитохрому С ( $1.2 \times 10^4$  г/моль) и 0-500 мг/г по бычьему сывороточному альбумину ( $6.5 \times 10^4$  г/моль). С помощью методов азотной порометрии, денсиметрии, сканирующей электронной микроскопии была охарактеризована пористость образцов, диаметр макроретикулярных пор рос с увеличением содержания октана в реакционной смеси (Рис. 1А). Селективность сорбции цитохрома С по отношению к альбумину хорошо коррелировала с размером пор, и была максимальной при диаметре 50 - 100 нм (Рис. 1Б).

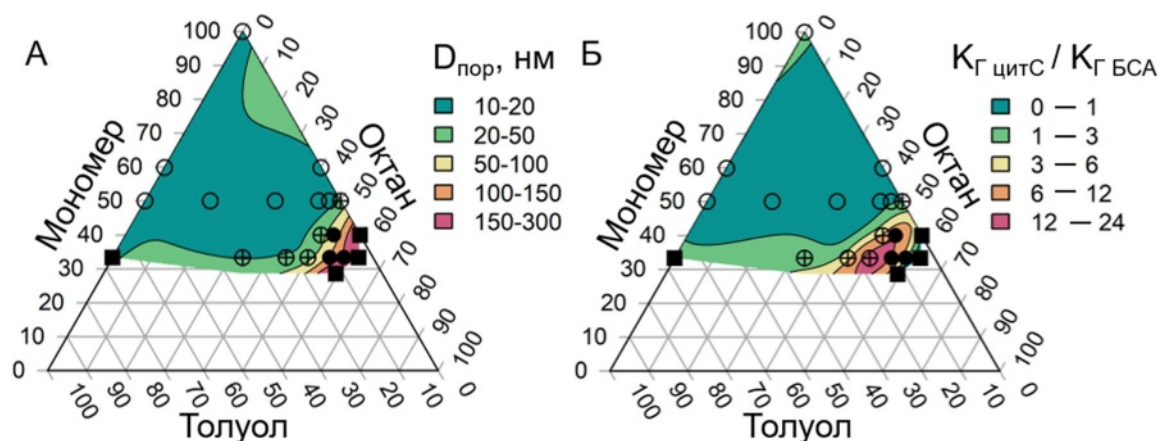


Рис. 1. Трехкомпонентные диаграммы влияния состава реакционной смеси на размер (диаметр) макроретикулярных пор (А) и селективность сорбции цитохрома С по отношению к альбумину,  $K_{\text{Г цитС}} / K_{\text{Г БСА}}$ , где  $K_{\text{Г}}$  – константа Генри (Б).

### Список публикаций:

[1] Gazheev S.T. et al. Russian Chemical Bulletin, V. 73, N. 4, pp. 1046, 2024.

Автор:

Руководитель:

Гажеев С.Т.

д.х.н., в.н.с. Пастухов А.В., 05.03.2026

## МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СЕЛЕКТИВНОСТИ СОРБЦИИ ГЕМОСОРБЕНТОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТОКСИНАМ РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА

**КОНОВАЛОВ** Александр Васильевич

аспирант 3-го года обучения

1.4.8. Химия элементоорганических соединений

Содоклад к работе Гажеева Сорола Тумэновича

Полиорганная недостаточность, возникающая в результате септического шока, является следствием нарушения иммунной регуляции. В подобных клинических случаях применяются экстракорпоральные методы очистки крови такие, как гемосорбция (гемоперфузия). Основой метода является удаление токсинов из крови путем физической или химической адсорбции токсинов на поверхности сорбента[а]. Для эффективного разделения сорбент должен иметь высокую сорбционную способность и высокую кинетику сорбции. В качестве коммерчески доступных гемосорбентов часто применяются сорбенты на основе полистирола. Одним из ключевых факторов для селективной сорбции является размер пор. Сорбенты с размером пор <10 нм позволяют селективно удалять белки со средней молекулярной массой (<15 кДа), такие как интерлейкин-6 и  $\beta$ 2-микроглобулин (рис.1)[а].

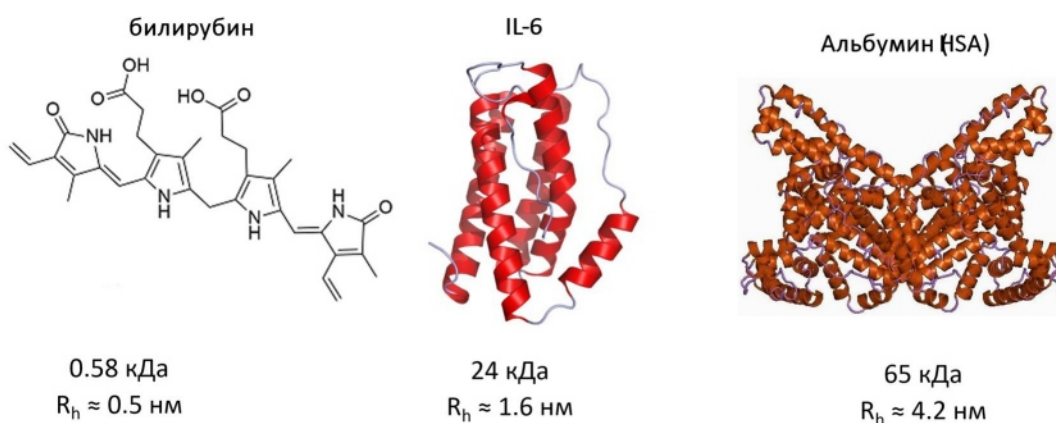


Рис 1. Потенциальные сорбаты

В случае с более крупными веществами (<60 кДа), эффективное удаление достигалось при использовании сорбента с размером пор <100 нм, что позволяет удалять токсины, которые невозможно удалить клинически повсеместно применяемым способом – гемодиализом.

Также для увеличения селективности применяются модифицированные гемосорбенты, в которых полимерные матрицы (Cytosorb, Efferon, Jafron), иммобилизируют специализированный лиганд, имеющий сродство к целевому токсину [в].

### Список литературы

- а) Ricci Z., Romagnoli S., Reis T., Intensive Care Med, 2022, 48, 1397–1408.
- б) Harm, S., Falkenhagen, D., & Hartmann, J. Int J Artif Organs, 2014, 37 (9), 668-678
- в) Sedanova A. V., Kornienko N. V., Pyanova L. G., Delyagina M. S., & Lavrenov A. V., Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2025, 61, 1–23.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

Коновалов А.В. 19.03.2026

Гажеев С.Т. 19.03.2026

## ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ДИСПЕРСНЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

*ХРАМОВА Светлана Александровна*

Выпускница магистратуры РХТУ им. Д. И. Менделеева, факультета НПМ, 2026 г.

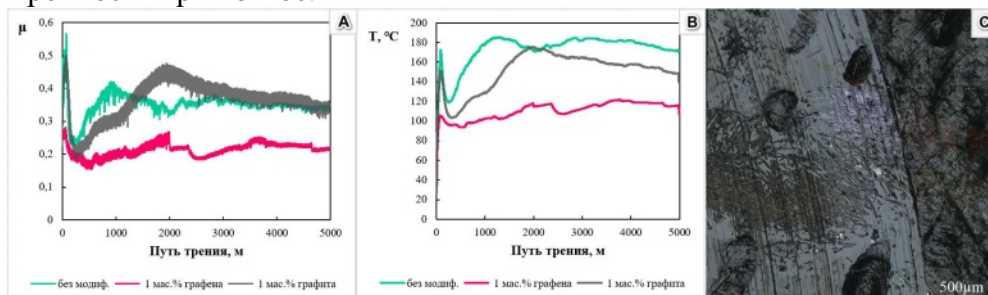
**Лаборатория полимерных материалов, №313**

Современное машиностроение предъявляет повышенные требования к материалам для узлов трения, работающих в условиях высоких нагрузок и температур, так как их работа напрямую влияет на надежность и срок службы технических устройств. Замена традиционных металлических деталей в узлах трения на полимерные композиционные материалы позволяет снизить массу конструкций и обеспечить работу в режимах ограниченной смазки или без неё.

Эффективным способом управления трибологическими свойствами ПКМ является модификация полимерной матрицы твердыми смазочными материалами, среди которых традиционно используется графит. Особый научный и практический интерес представляет исследование влияния графеноподобных модификаторов. В литературе имеется ограниченное количество данных о влиянии графена на трибологические свойства, отсутствуют стандартизированные рекомендации по его характеристикам (концентрация, размер частиц и т.п.) для конкретных применений.

В качестве материала для модификации был выбран текстолит на основе фенолформальдегидного связующего резольного типа, армированного комбинированной тканью из полиоксадиазольных и целлюлозных волокон. Целью работы является сравнительное исследование двух типов углеродных модификаторов — коллоидного графита и многослойного графена, полученного механическим расслоением терморасширенного графита, — на свойства композита.

В ходе работы исследованы трибологические и механические характеристики полученных материалов: получены зависимости коэффициента трения и температуры в зоне фрикционного контакта от пути трения, исследована поверхность образцов после трибоиспытаний (рис. 1), определены интенсивность изнашивания, твердость, ударная вязкость и прочность при изгибе.



**Рисунок 1.** Фрикционные зависимости (А, В), микрофотография «дорожки» трения (С)

Установлено, что введение в связующее 1 мас.% (по сухой смоле) графена является более эффективным, чем введение коллоидного графита, и приводит к снижению коэффициента трения, температуры в зоне контакта, а также к повышению износостойкости и прочностных характеристик композита.

**Автор:** \_\_\_\_\_ Храмова С.А.

**Руководитель:** \_\_\_\_\_ мл.н.с., Панова М.О., 04.03.2026

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

*БРЫКИН Ярослав Игоревич*

Выпускник магистратуры РХТУ им. Д. И. Менделеева, факультета НПИМ, 2026 г.

Лаборатория полимерных материалов, №313

Современная техника предъявляет высокие требования к антифрикционным полимерным композиционным материалам (ПКМ), способным работать в экстремальных условиях. Композиты, для производства которых используются доступные многотоннажные сырьевые компоненты и натуральные волокна - один из перспективных вариантов решения задач ресурсосбережения, актуальных для развития «зелёной» полимерной промышленности. Применение для их разработки и выпуска малозатратных технологий значительно упрощает внедрение инноваций в машиностроении.

Целью работы является исследование влияния типа ткани и ее предварительной обработки на трибологические и физико-механические свойства гибридного эпоксифенольного композита. Армирующими элементами ПКМ служили хлопчатобумажные ткани типов «МОСТ» и «Двунитка». В качестве исходных компонентов связующего были использованы эпоксидная смола ЭД-20 и фенолформальдегидная смола ЛБС-20. Для улучшения межфазного взаимодействия армирующего наполнителя и полимерной матрицы применялась стандартная предварительная обработка тканей: ацетоновым, содовым и мыльным растворами.

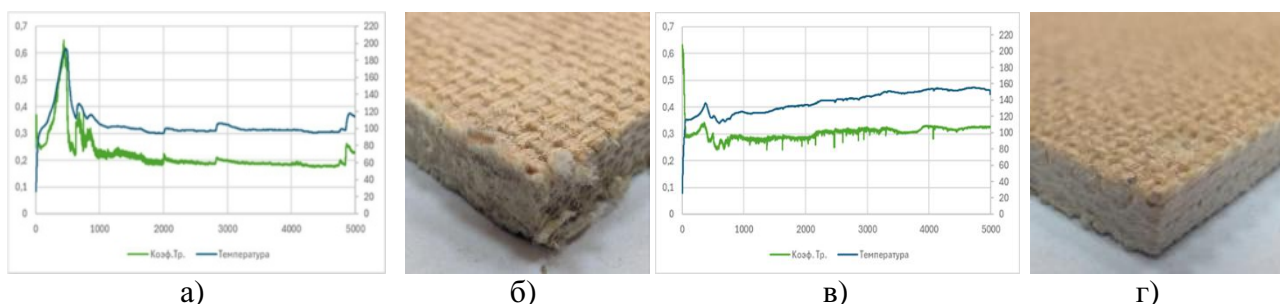


Рисунок. а) Фрикционная и температурная зависимость при испытании образца ПКМ на основе ткани «Двунитка», б) Снимок готового композита на основе ткани «Двунитка», в) Фрикционная и температурная зависимость при испытании образца ПКМ на основе ткани «МОСТ», г) Снимок готового композита на основе ткани «МОСТ»

На рисунке представлены фрикционные и температурные зависимости (а и в) образцов эпоксифенольных композитов на основе ткани «Двунитка» (б) и на основе ткани «МОСТ» (г) соответственно. Ткани использованы с предварительной ацетоновой обработкой. Образцы отпрессованы при 150 °С и выдержаны под давлением в течение 30 минут. Трибологические испытания проводились на трибометре по схеме «плоскость-плоскость» при скорости скольжения 1 м/с и нагрузке 100 Н.

Установлено, что предварительная обработка тканевого наполнителя ацетоном способствует эффективному удалению пропиток текстильной переработки, что обеспечивает усиление адгезии полимерного связующего к армирующему наполнителю, повышение физико-механических показателей, стабилизации коэффициента трения и снижению интенсивности износа у эпоксифенольных композитов. Образцы ПКМ на основе ткани «Двунитка» и гибридного эпоксифенольного связующего в проведенном исследовании характеризуются максимальными антифрикционными и физико-механическими свойствами.

Автор:

Брыкин Я.И.

Руководитель:

к.х.н., с.н.с., Буяев Д.И., 02.03.2026

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ИНДОЛИЛ-3-МАСЛЯНОЙ КИСЛОТЫ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

*Ли Виктория Андреевна*

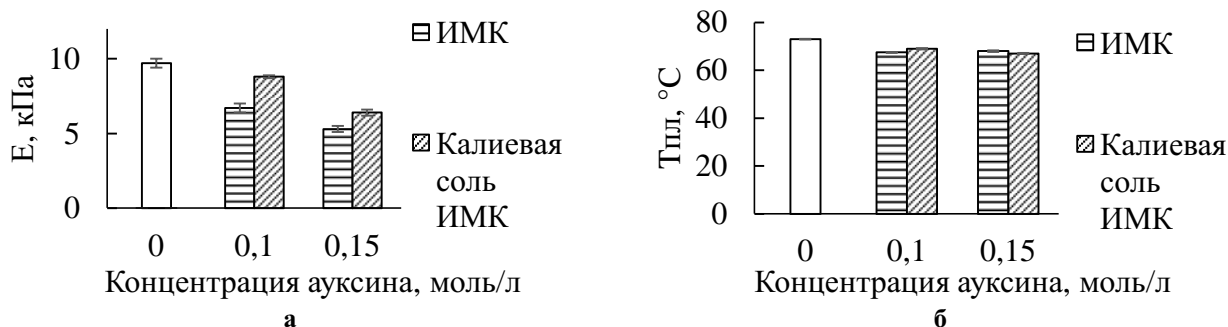
выпускник магистратуры РХТУ им. Д.И. Менделеева 2026г.

лаборатория **криохимии биополимеров, №322**

Криогели поливинилового спирта (КГПВС) – макропористые полимерные гели, формирующиеся в процессе последовательного замораживания и оттаивания растворов поливинилового спирта. Благодаря своим физико-химическим свойствам КГПВС являются перспективными материалами в медицине и биотехнологии [1]. Известно, что различные гидрогели находят широкое применение в сельском хозяйстве, где используются для контролируемой доставки удобрений и питательных веществ в почву [2].

Полимерные матрицы на основе КГПВС могут служить носителями ауксинов, универсальных регуляторов роста сельскохозяйственных культур. Ауксины активируют клеточный рост растений, способствуют образованию корней и контролируют многие другие физиологические и биохимические процессы растений [3].

В данной работе методом «замораживания-оттаивания» были получены криогели ПВС, сформированные с добавками ауксинов, индолил-3-масляной (ИМК) кислоты и её калиевой соли. Для полученных образцов КГПВС была проведена оценка модулей упругости и теплостойкости (Рис. 1), а также изучена динамика высвобождения ауксинов из полимерной матрицы в водное окружение.



**Рисунок 1.** Зависимости модуля Юнга (а) и температуры плавления (б) от концентрации добавки ауксина

Показано, что полученные криогели поливинилового спирта с добавками ауксинов сохраняют упругие свойства и теплостойкость, а высвобождение добавок из гелевой матрицы носителя в водное окружение протекает свободно и без диффузионных препятствий. Установлено, что КГПВС с добавками ИМК и её калиевой соли положительно влияют на развитие корневой системы яровой пшеницы, образованию двух листов у побегов и увеличению зелёной массы.

Таким образом, криогели на основе ПВС могут быть использованы в роли носителей регуляторов роста растений в сельском хозяйстве.

### Ссылки

[1] Wiedemann Y. et al., Eur. J. Pharm. Biopharm., 2025, 114876.

[2] Khan F. et al., J. Mater. Chem. B., 2022, 10 (2), P. 170-203.

[3] Василейко М.В. *Субтропич. и декоратив. Садоводство*, 2021, 76, P. 89-99.

Автор:

\_\_\_\_\_ Ли В.А.

Руководитель:

\_\_\_\_\_ Колосова О.Ю.

05.03.2026

# ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ КИСЛОТ НА КРИОГЕЛИ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ КЛЕТОК МИКРООРГАНИЗМОВ

*РУНЦО Анна Игоревна*

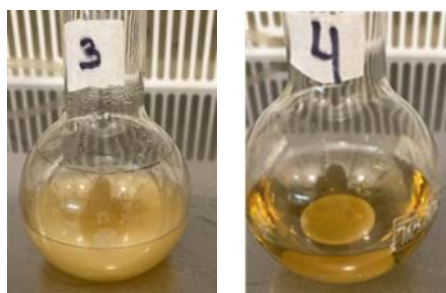
выпускник магистратуры РХТУ им. Д.И. Менделеева 2026 г.  
лаборатория **криохимии биополимеров, №322**

Криогели ПВС – это нековалентные гели, которые образуются в результате замораживания - оттаивания растворов данного полимера [1].

Криогели ПВС сейчас применяются в различных областях, в частности, в биомедицине. Так, предложено использовать КГПВС в качестве раневых покрытий, систем доставки лекарственных средств, в качестве протезов хрящевых тканей и сердечных клапанов [2, 3]. Для материалов медицинского назначения критически важна их стерильность, т.е. отсутствие микробного загрязнения. Для обеспечения этого требования обычно применяют достаточно жесткие способы стерилизации.

Поэтому актуальным является поиск более щадящих, одновременно экономичных и простых методов стерилизации гелевых медицинских изделий на основе криогелей ПВС. К таким методам может относиться обработка концентрированными неорганическими кислотами.

В данной работе получены криогели ПВС, содержащие иммобилизованные клетки микроорганизмов (бактерий, дрожжей и мицелиального гриба). Образцы выдерживали в концентрированных растворах соляной, серной и ортофосфорной кислот. Установлено, что неорганические кислоты разрушают такие микроорганизмы, но при этом сами криогели сохраняют структуру и упругие свойства, не подвергаясь разрушению. На рис. 1 представлен результат теста на наличие микроорганизмов в криогелях ПВС.



**Рисунок 1.** Культивационные колбы с культуральными растворами и погруженными в них дисками КГПВС с иммобилизованными клетками *E. Coli*. Слева – необработанные КГПВС, справа – КГПВС после обработки образцов 2N раствором соляной кислоты и затем промытым до нейтрального состояния

Таким образом, нами предложен способ стерилизации композитных материалов на основе криогелей ПВС обработкой растворами сильных минеральных кислот или оснований.

## Список литературы:

- [1] Kolosova O.Yu. et al. Gels, 2023. Vol. 9, № 2. P. 113
- [2] Rivera-Hernández G. et al. Int. J. of Pharm. 2021. Vol. 600. P. 120478.
- [3] Bercea M. Polymers. 2024. Vol. 16, №14. P. 2021.

Автор:

\_\_\_\_\_ Рунцо А.И.

Руководитель:

\_\_\_\_\_ Колосова О.Ю.  
03.02.2026

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА С НАНОЧАСТИЦАМИ ДИОКСИДА ЦЕРИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ В БИФАЗНОЙ СИСТЕМЕ ВОДА/УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ

*ПЕРЕПЕЛКИН Евгений Игоревич*

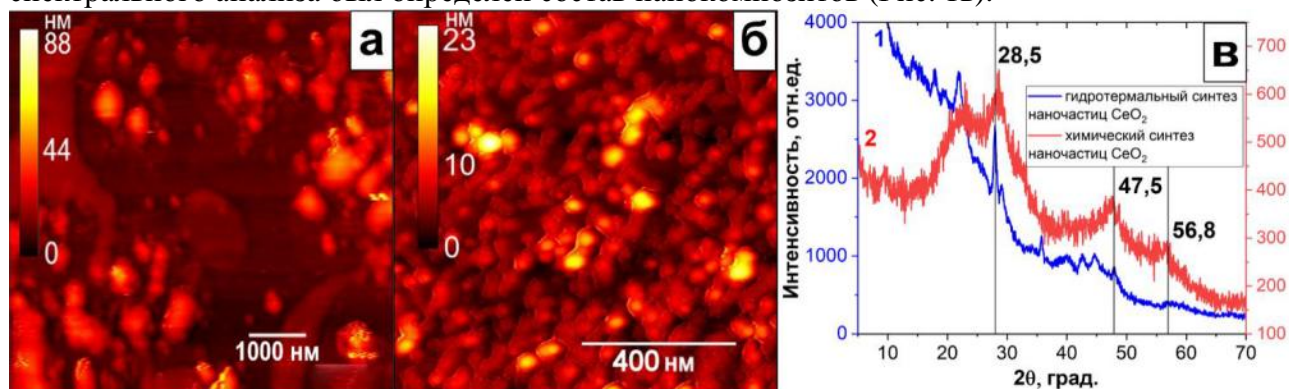
*аспирант 3-го года обучения*

лаборатория **Физической химии полимеров, № 311**

Использование биосовместимой самонейтрализующейся системы  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$  под высоким давлением для получения композитов хитозана с наночастицами металлов и их оксидов представляет собой актуальный подход к синтезу биоматериалов с улучшенными функциональными свойствами [1, 2].

Цель работы заключалась в определении оптимальных параметров синтеза композитов на основе хитозана с наночастицами диоксида церия с использованием бифазной системы вода/субкритический  $\text{CO}_2$ , а также в исследовании их структуры и свойств.

В работе изучено влияние ключевых факторов (метод синтеза наночастиц, концентрация прекурсора, продолжительность и температурный режим процесса) на свойства формируемых композиционных материалов [3]. Синтез наночастиц  $\text{CeO}_2$  осуществляли в растворе хитозана гидротермальным и химическим методами. Морфологию полученных образцов исследовали методами электронной и атомно-силовой микроскопии (АСМ). [3]. Установлено, что гидротермальное синтез приводит к образованию наночастиц диоксида церия размером  $\sim 100$  нм и их агрегатов  $\sim 500$  нм (Рис. 1а), при этом происходит уменьшение молекулярной массы хитозана до  $\sim 18$  кДа. Химическим путём получены монодисперсные наночастицы  $\text{CeO}_2$  размером  $\sim 30$  нм (Рис. 1б). По данным рентгеновской дифрактометрии и спектрального анализа был определен состав нанокompозитов (Рис. 1в).



**Рисунок 1.** АСМ-микрографии наночастиц  $\text{CeO}_2$ , полученных в растворе хитозана а – гидротермальным методом, б – химическим методом, в – рентгенограммы композитов.

Полученные наноматериалы не обладали выраженной цитотоксичностью, но в то же время проявляли антимикробную активность как в отношении грамположительных, так и грамотрицательных бактерий.

## Список публикаций:

1. E.I. Perepelkin, M.A. Sinolits, G.A. Badun, M.G. Chernysheva, N.M. Anuchina, S.S. Abramchuk, N.P. Bakuleva, I.S. Chaschin, Eur. Polym. J. 2023, 193, 112104.
2. I.S. Chaschin, E.I. Perepelkin, E.E. Levin, S.S. Abramchuk, N.M. Anuchina, O.A. Kizas, Y.V. Ryzhova, N.P. Bakuleva, J. Inorg. Organomet. Polym. 2024, 35, 2287–2299.
3. E.I. Perepelkin, N.M. Ivanova, V.G. Vasil'ev, E.E. Levin, N.M. Anuchina, R.R. Salokhednova, I.S. Chaschin, J. Inorg. Organomet. Polym. 2025, 35, 9777–9795.

**Автор:**

**Руководитель:**

Перепелкин Е.И.  
к.ф.-м.н., с.н.с. Чащин И.С.  
02.03.2026

# ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ В РАСТВОРЕ ХИТОЗАНА

**ЯКОВЛЕВ** Глеб Борисович  
аспирант 1-го года обучения

1.4.8 Химия элементоорганических соединений, 1.4.4. Физическая химия  
Содоклад к работе Перепелкина Евгения Игоревича

Металлические наночастицы (МНЧ) привлекают значительное внимание благодаря уникальным свойствам, обусловленным их высокой удельной поверхностью. Это определяет широкий спектр их применения в биомедицине, катализе, электротехнике и агропромышленности [1, 2]. Несмотря на высокий потенциал МНЧ для биомедицины, их использование ограничено вследствие неравномерного распределения *in vivo*, склонности к агрегации и нежелательного взаимодействия со здоровыми тканями [3].

Решение этих проблем возможно путем модификации поверхности или стабилизации полимерами. Подобные подходы позволяют «маскировать» наночастицы, что повышает их стабильность в физиологических средах и минимизирует побочные эффекты, значительно увеличивая эффективность и безопасность терапии.

Биополимер хитозан является перспективным стабилизатором благодаря своей биосовместимости и антимикробным свойствам [4]. Аминогруппы, входящие в его состав, обеспечивают прочное связывание с поверхностью МНЧ и формирование устойчивой полимерной оболочки, предотвращающей агрегацию. Это позволяет получать наночастицы с узким распределением по размерам (Рисунок 1).

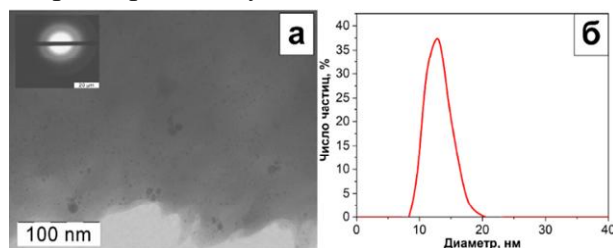


Рисунок 1. а – ПЭМ-микрография наночастиц серебра, стабилизированных хитозаном, б – распределение наночастиц серебра по размерам согласно ДРС.

Как правило, подобные хитозановые нанокомпозиты синтезируют в среде уксусной кислоты. Однако ранее был предложен новый, более удобный подход, реализованный при получении наночастиц серебра в бифазной системе  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  в присутствии водорода. Уникальность данной системы заключается в образовании угольной кислоты под высоким давлением: в этих условиях она протонирует аминогруппы хитозана, способствуя его растворению, тогда как водород обеспечивает восстановление ионов серебра до металлического состояния. Использование угольной кислоты вместо уксусной кислоты значительно упрощает и удешевляет синтез, а также позволяет получать нанокомпозиты высокой «медицинской» чистоты. По окончании процесса и декомпрессии угольная кислота самопроизвольно разлагается, тогда как при применении уксусной кислоты требуется дополнительная стадия очистки [5].

## Список литературы:

1. M.M. Seitkalieva, D.E. Samoylenko, K.A. Lotsman, et al., *Coord. Chem. Rev.*, 2021, 445, 213982.
2. K. Nejadi, M. Dadashpour, T. Gharibi, et al., *J. Clust. Sci.*, 2022, 33, 1–16.
3. A. Abdal Dayem, M.K. Hossain, S.B. Lee, et al., *Int. J. Mol. Sci.*, 2017, 18, 120.
4. M. Jiang, R.H. Althomali, S.A. Ansari et al. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2023, 251, 126390.
5. I.V. Novikov, M.A. Pigaleva, S.S. Abramchuk, et al., *Carbohydr. Polym.*, 2018, 190, 103-112.

**Автор:**

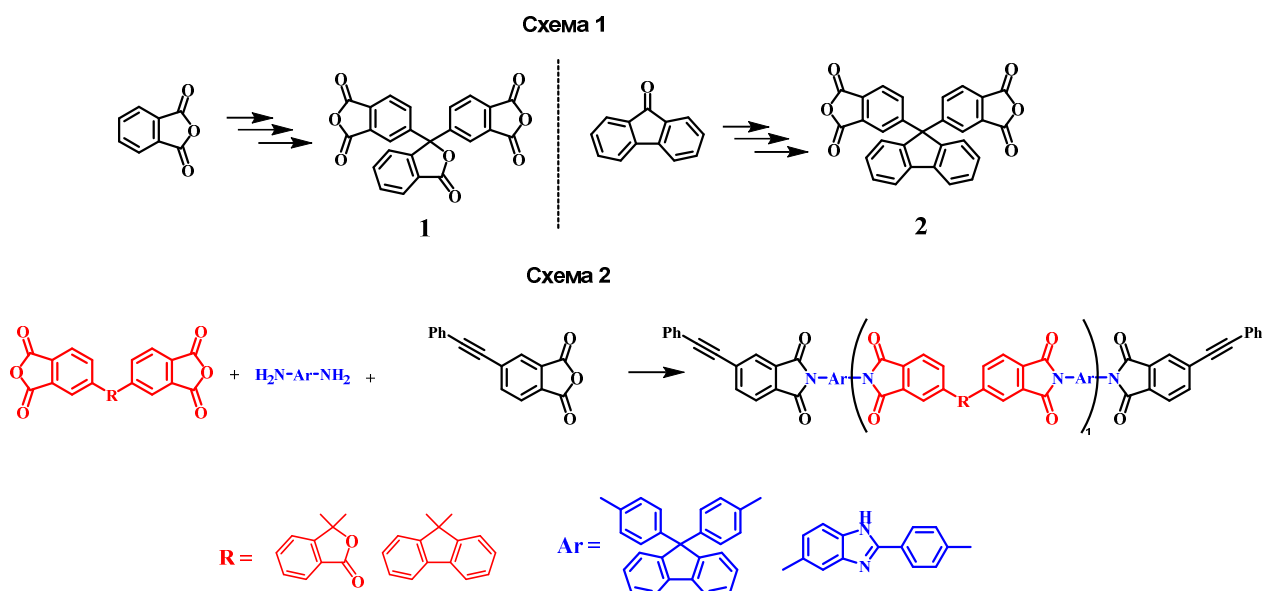
**Основной докладчик:**

Яковлев Г.Б.  
Перепелкин Е.И.  
19.03.2026

# СИНТЕЗ И ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ОЛИГОИМИДОВ С ТЕРМИНАЛЬНЫМИ ФЕНИЛЭТИНИЛЬНЫМИ ГРУППАМИ

*БИЛЬ Игорь Витальевич*  
аспирант 3-го года обучения  
лаборатория **Высокомолекулярных соединений, №316**

Олигоимиды с терминальными фенилэтинильными группами (РЕТІ) представляют значительный интерес в качестве термостойких связующих и клеев для аэрокосмической и электронной отраслей. Ключевыми преимуществами таких олигомеров являются длительный срок хранения при комнатной температуре, широкое технологическое окно переработки, а также высокие физико-механические характеристики, выдающаяся термостойкость (температуры стеклования отверждённых материалов достигают 270–370 °С в зависимости от молекулярной массы олигомера, а температуры 5%-ной потери массы – 500-550°С) и устойчивость к растворителям после отверждения.



В отчётный период осуществлён синтез (5,1':1',5'')-теризобензофуран-1,3,3',1'',3'''-пентаона (1) и разработана методика получения 5,5'-(9H-флуорен-9,9-диил)бис(изобензофуран-1,3-дион)а (BPFL) (2) (Схема 1). Выбор данных диангидридов обусловлен тем, что они обеспечивают хорошую растворимость олигоимидов на их основе и высокие термические характеристики отверждённых связующих. На основе полученных мономеров синтезирован ряд олигоимидов с терминальными фенилэтинильными группами (Схема 2). Исследовано влияние условий отверждения на термические свойства полученных материалов. Температуры стеклования и начала термодеструкции отверждённых образцов определены методами ТМА и ТГА соответственно.

**Автор:**

Биль И.В.

**Руководитель:**

к.х.н., зав. лаб. Сапожников Д.А. 05.03.2026

## ТЕРМОСТОЙКИЕ ПОЛИМЕРЫ: СВОЙСТВА, СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ

СПИРИДОНОВ Александр Анатольевич

Аспирант 3-ого года обучения

1.4.8. «Химия элементоорганических соединений»

Содоклад к работе Биль Игоря Витальевича

Несмотря на то, что активное развитие химии термостойких полимеров началось еще во второй половине двадцатого века, данный класс соединений продолжает привлекать исследователей и в настоящее время. Эти материалы нашли широкое применение в композитных материалах, покрытиях, аэрокосмической отрасли и других областях промышленности. В данной работе рассмотрены типы термостойких полимеров, синтетические подходы к получению и их свойства [1].

Наиболее распространенными представителями термостойких полимеров являются: полиимиды, получаемые взаимодействием ароматических диангидридов с ароматическими диаминами в полярных апротонных растворителях с последующей химической или термической имидизацией (Схема 1). Варьируя структуру мономеров, можно получать термостойкие материалы с уникальными свойствами для использования в качестве защитных пленок, покрытий в микроэлектронике [2].

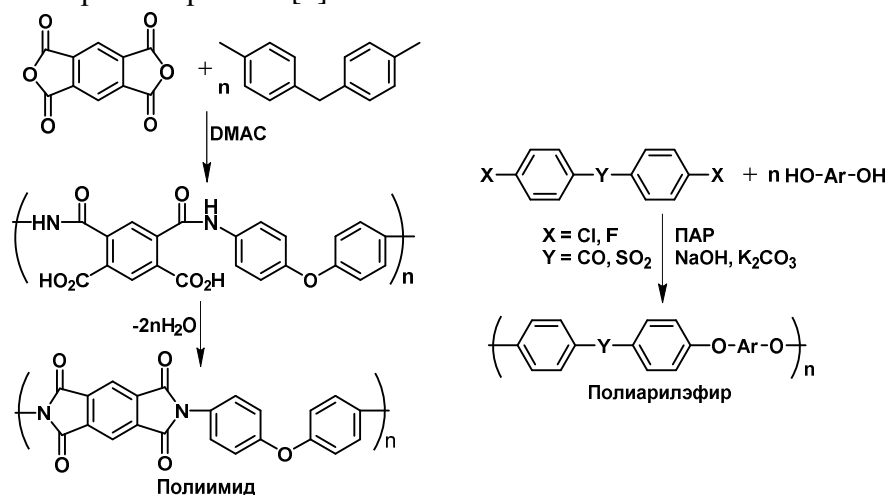


Схема 1. Примеры получения полимеров на основе полиимидов и полиарилэфиров.

Другой значимой группой являются полиарилэфиры, зачастую синтезируемые реакцией ароматического нуклеофильного замещения (Схема 1). Несмотря на то, что наличие эфирной группы снижает предел прочности и  $T_g$  по сравнению с полиимидами, эти соединения находят свое применение благодаря оптическим свойствам. Наиболее разнообразной и представляющий интерес группой соединений являются олигомеры с реакционноспособными терминальными группами. Подобные структуры проще в получении, обладают меньшей вязкостью и более высокими значениями  $T_g$ . Так, например, при исследовании имидных олигомеров с фенилэтильными концевыми группами удалось достичь значения температуры стеклования  $288\text{ }^\circ\text{C}$ , что является перспективным для применения в качестве смол в композитах для реактивных двигателей.

Список литературы:

[1] P.M. Hergenrother, High Performance Polymers, 2003, 15, 3.

[2] D.-Jang, Liawa, K.-Li Wang, Progress in Polymer Science, 2012, 37, 907–974.

Автор:

Основной докладчик:

А. А. Спиридонов

И. В. Биль

18.03.2026

## КРИОГЕЛИ НА ОСНОВЕ ПОЛИСАХАРИДОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

*МЕНЬЩИКОВ Арсений Евгеньевич*

*аспирант 1-го года обучения*

*лаборатория Криохимии (био)полимеров, №322*

В последнее время уделяется большее внимание созданию новых материалов на основе природного происхождения ввиду их экологичности и таких характеристик, как биodeградация, биосовместимость. Наблюдается тенденция роста числа исследований в области изучения природных биополимеров, полисахаридов, таких как хитозан, альгинат, целлюлоза, крахмал.

Криогели на основе природных полисахаридов открывают широкие возможности для их применения в качестве перспективных носителей для контролируемой доставки лекарств, каркасов для тканевой инженерии в медицине, биотехнологии. Криогели обладают высокопористой структурой, что и определяет их роль в создании материалов медико-биологического назначения.

Целью работы является создание функциональных криогелей с заданными характеристиками. В рамках исследования предполагается разработать методы синтеза на основе модификации полисахаридов с мономерами. Особое внимание будет уделено созданию стимул-чувствительных систем, способных изменять свои свойства в ответ на внешние факторы, такие как рН или температура, что открывает новые возможности для управляемого высвобождения активных веществ.

В работе было изучено два подхода получения криогелей на основе природного полисахарида – хитозана. Первый подход заключался в модификации хитозана глицидилметакрилатом и последующем получении криогелей модифицированного хитозана в растворе с добавлением в кислый раствор полисахарида иницирующей системы персульфат аммония – соль Мора с последующим этапом криотропного гелеобразования. Модификация хитозана глицидилметакрилатом позволила получить полисахарид, содержащий метакрилатные группы, что способствует образованию химически сшитых криогелей с пористой структурой при добавлении иницирующей системы ПСА-соль Мора, которая является наиболее эффективной для проведения криотропного гелеобразования в водных растворах при отрицательных температурах среди других иницирующих систем. Второй подход заключался в получении физически сшитых криогелей немодифицированного хитозана при повышении рН в криотропных условиях. Предварительно получали кислый раствор хитозана с концентрацией 1, 2, 3 и 4 мас. %. Далее образцы с разной концентрацией подвергали процессу замораживания. После замороженные образцы вносили в предварительно охлажденный раствор гидроксида натрия и хлорида натрия. В процессе диффузии щелочи в оттаивающий образец происходило локальное повышение рН, что приводит к получению макропористого геля.

Показано, что оба подхода позволяют получать стабильные макропористые криогели. Установлено, что структура и свойства гелей зависят от концентрации исходного раствора и условий процесса.

**Автор:**

Меньщиков А.Е.

**Руководитель:**

Артюхов А.А., 5.03.2026

## СИНТЕЗ КРИОГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА

*ЗАВАЛЮЕВ Владислав Юрьевич*

*аспирант 2-го года*

*1.4.3. Органическая химия*

*Содоклад к работе Меньщикова Арсения Евгеньевича*

Хитозан и его производные широко изучаются благодаря своим биологическим свойствам и потенциальному применению в медицине, пищевой, промышленной и сельскохозяйственной сферах. Хитозан также является очень привлекательным материалом благодаря своей биосовместимости с организмом человека. Сообщалось, что при его пероральном приеме у людей не наблюдается никаких побочных реакций [1].

Криогели на основе хитозана разработаны таким образом, чтобы гелеобразовываться в условиях умеренного замораживания, благодаря чему после удаления кристаллов льда в процессе оттаивания при восстановлении температуры до комнатной у них образуются пористые структуры размером в микроны. Первое сообщение о криогелях на основе хитозана было опубликовано Лозинским и его коллегами, которые обнаружили, что криогели из хитозана, сшитые глутароальдегидом, демонстрируют более высокую механическую прочность по сравнению с образцами, полученными по той же процедуре при температуре выше 0 °С [2].

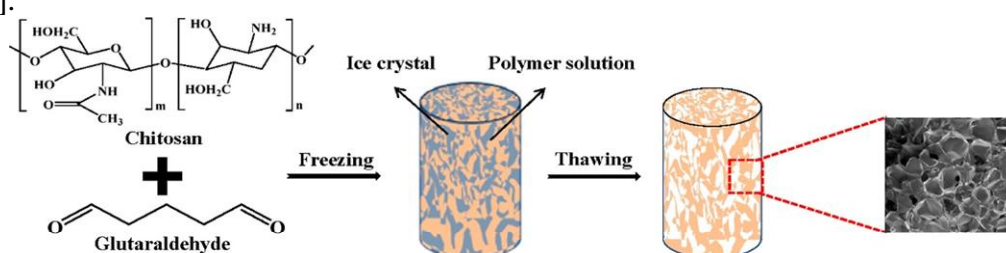


Рис.1. Схема изготовления криогелей на основе хитозана.

В последующие годы в этом направлении было проведено множество исследований о влиянии условий формирования криогелей на их физические свойства.

Помимо криогелей из чистого хитозана, было также разработано множество композитных криогелей на основе хитозана путем взаимодействия хитозана с целлюлозой, желатином, поливиниловым спиртом, полидопмаином, полиуретаном [3].

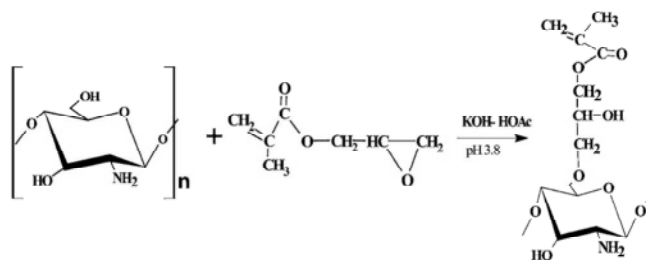


Рис.2. Иллюстрация химической структуры реакции сшивания между хитозаном и глицидилметакрилатом.

Одним из перспективных криогелей на основе хитозана является композит, полученный из хитозана и глицидилметакрилата. Термостойкость и химическая стойкость функционализированного биополимера подробно изучаются с целью оценки его потенциального применения в качестве биомедицинского материала.

1. Flores-Ramírez N. et al., Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition, 2005, 16, 473–488.

2. V. I. Lozinsky, E. S. Vainerman, S. V. Rogozhin, Colloid Polym. Sci. 1982, 260, 776–780.

3. Gao C. et al., ACS Omega, 2022, 7, 5937–5945.

**Автор:**

*(В.Ю. Завалюев)*

**Основной докладчик:**

*(А.Е. Меньщиков)*

## МЕХАНИЗМ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АНИЛИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ХИТОЗАНА

*СОЛДАТОВА Анастасия Викторовна*

Аспирант 1-го года обучения

лаборатория Гетероцепных полимеров, №302

Целью работы является рассмотрение механизма полимеризации анилина методами квантовой химии, а также установление кинетики этой реакции в присутствии хитозана, выполняющего роль макромолекулярного стабилизатора образующихся в водной среде частиц полианилина. Для проведения расчетов использована теория функционала электронной плотности с базисом 6-311G\*, дисперсионной поправкой D4 и учетом растворителя в рамках модели СРСМ. Показано, что наиболее энергетически выгодным направлением некаталитической стадии полимеризации анилина является сближение противоположно заряженных катиона фениламмония и персульфат-аниона, сопровождающееся переносом протона с кватернизированного атома азота на отрицательно заряженный атом кислорода и уменьшением свободной энергии на 32,3 кДж/моль. В то же время, для каталитической стадии полимеризации анилина предсказано самопроизвольное образование комплекса с переносом заряда между мономером и окисленными участками полимерной цепи, а также его последующее окисление персульфат-анионом. При этом, предполагаемого в ряде исследований, полного переноса электрона при взаимодействии мономера и окисленных участков цепи полианилина не наблюдалось.

Если теоретическое предсказание об образовании комплекса с переносом заряда в адсорбционном слое является верным, то конкурентная адсорбция хитозана должна приводить к увеличению энергии активации каталитической стадии. Так в присутствии хитозана наблюдался прирост энергии активации каталитической стадии окислительной полимеризации анилина на 5 кДж/моль. Кроме того, высокая плотность положительного заряда, обусловленная адсорбированными цепями хитозана, вероятно, способствовала эффекту локального концентрирования персульфат-анионов в реакционной зоне, а вслед за ними и катионов фениламмония. Последний эффект предположительно приводил к реализации условий адсорбционного насыщения по мономеру и способствовал первому порядку каталитической стадии полимеризации анилина. Напротив, при использовании в качестве стабилизаторов неионогенных полимеров, например, поливинилового спирта, энергия активации каталитической стадии окислительной полимеризации анилина также возрастала, однако порядок был вторым, что указывало на образование адсорбционных слоев, обедненных мономером.

Таким образом, данные квантово-химических расчетов и результаты кинетических исследований согласуются с образованием комплексов с переносом заряда между мономером и окисленными участками цепей полианилина в противоположность представлению о полном переносе электрона в этом взаимодействии.

**Автор:**

**Руководитель:**

Солдатова А.В.

Межуев Я.О.

Дата: 5.03.2026

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ МЕХАНИЗМА  
ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ АНИЛИНА****АНИСЬКИН Илья Сергеевич***аспирант 1-го года обучения*

1.4.3. «Органическая химия», 1.4.8. «Химия элементоорганических соединений»

*Содоклад к работе Солдатовой Анастасии Викторовны*

Перспективы применения полианилина в создании покрытий специального назначения, электропроводящих чернил, суперконденсаторов, гибкой электроники и сенсоров обеспечили значительный рост интереса к выявлению механизма окислительной полимеризации анилина, открывающей простой и удобный путь синтеза полианилина. Несмотря на многочисленные кинетические исследования, успехи в выявлении деталей строения образующихся полимеров, а также установленный порядок активности производных анилина в окислительной полимеризации, механизм данной реакции остается предметом дискуссии. Предполагаемые механизмы полимеризации ароматических аминов, включают радикальные<sup>1</sup>, катионные<sup>2</sup> и катион-радикальные процессы<sup>3</sup>. Хотя радикальный механизм, по всей видимости, противоречит порядку активности мономеров в окислительной полимеризации, катионный и катион-радикальный механизмы, качественно объясняют его. Вместе с тем, исходя из катионного механизма сложно ожидать высокой избирательности полимеризации анилина в отношении образования линейных полимеров, содержащих почти исключительно пара-сочлененные звенья, что было показано экспериментально. Таким образом, катион-радикальный механизм окислительной полимеризации анилина, вероятно, наиболее точно позволяет интерпретировать имеющиеся данные о реакционной способности ароматических аминов, строении образующих полимерных цепей и кинетике этой реакции. Известно, что окислительная полимеризация анилина является автокаталитической реакцией с длительным индукционным периодом, после завершения которого процесс заканчивается в течение короткого времени. Следовательно, механизм полимеризации анилина должен содержать стадии, не только объясняющие процессы формирования макромолекулярной цепи, но и предопределяющие возможность автокатализа. Данная концепция приводит к двум альтернативным механизмам. Первый предполагает непосредственное взаимодействие окисленных участков полимерной цепи с мономером, что приводит к формированию соответствующих катион-радикалов и восстановленных участков цепи, которые могут далее подвергаться вторичному окислению<sup>4</sup>. Иной взгляд на механизм автоускорения полимеризации анилина связан с предположением о частичном переносе электрона от мономера к окисленным участкам полианилиновой цепи<sup>5</sup>. Хотя последний подход лучше объясняет реализацию автоускорения реакции уже при небольших степенях превращения мономера, необходимо привлечение расчетных и теоретических методов химии для количественной оценки возможных альтернативных механизмов, объясняющих автокаталитическое ускорение полимеризации, а также установление кинетики реакции в присутствии стерических стабилизаторов и эксперименты на модельных соединениях. Проведение отмеченных теоретических и экспериментальных исследований будет способствовать расширению представлений о механизме полимеризации анилина и причинах ее автокаталитического характера.

**Список литературы:**

- 1) H. Minami, M. Okubo, K. Murakami and S. Hirano, J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem., 2000, 38, 23, 4238-4246.
- 2) Y. Wei, X. Tang and W. W. Focke, Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry, 1989, 27, 2385-2396.
- 3) G. D. Nestorović, K. B. Jeremić and S. M. Jovanović, Journal of the Serbian Chemical Society., 2006, 71, 8, 895-904.
- 4) K. Tzou and R. V. Gregory, Synth. Met., 1992, 47, 3, 267-277.
- 5) I. Mav and M. Zigon, J. Polym. Sci., Part A: Polym. Chem., 2001, 39, 14, 2471-2481.

**Автор:**

/ Аниськин И.С. / 19.03.2026

**Основной докладчик**

/ Солдатова А.В. / 19.03.2026

## МАКРОПОРИСТЫЕ КРИОГЕЛИ АЛЬГИНАТА НАТРИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА

*ЖУКОВ Рустам Олегович*

аспирант 2-го года обучения  
лаборатория **Криохимии (био)полимеров, №322**

Альгиновая кислота и ее соли нашли широкое применение в областях связанных с регенеративной медициной, клеточной и тканевой инженерией. Характерным свойством альгинатов является способность образовывать трехмерные гели в том числе за счет внутреннего желирования при комнатной температуре (рис.1). Для данного вида гелей характерна жесткая упорядоченная структура и отсутствие пористости – что является недостатком, т.к. малая пористость ограничивает пролиферацию и рост клеток.

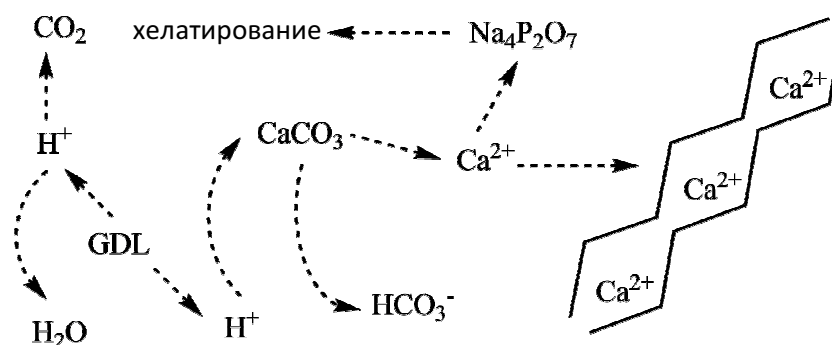


Рис. 1. Схема получения криогелей альгиновой кислоты.

Целью данного года работы было получение криогелей методом внутреннего желирования с использованием карбоната кальция в качестве донора ионов кальция, в присутствии пирогосфата натрия в качестве секвестранта при отрицательной температуре ( $-15^\circ\text{C}$ ) для обеспечения пористой структуры гелей, а также исследование влияния соотношения исходных реагентов на структурные и физико-химические свойства криогелей.

Были синтезированы криогели альгината натрия при  $-15^\circ\text{C}$  и при  $+25^\circ\text{C}$  (как образцы сравнения). Изучено влияние соотношения исходных реагентов на физико-химические свойства гелей: измерены время потери текучести исходных растворов, pH, модуль упругости полученных гелей. Изучена и проанализирована морфология гелей.

Автор:

Жуков Р.О.

Руководитель:

к.х.н. Мичуров Д.А.

05.03.2026

## СВОЙСТВА КРИОГЕЛЕЙ АЛЬГИНОВОЙ КИСЛОТЫ, ОБРАЗОВАННЫХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ КАТИОНОВ

*МОСОВ Данила Олегович*

*аспирант первого года обучения*

*1.4.8 Химия элементоорганических соединений,*

*Содоклад к работе Жукова Рустама Олеговича*

Гели альгиновой кислоты представляют собой гидрофильные полисахаридные трёхмерные системы, формируемые за счет перекрестной ионной связи карбоксильных групп полимера с двух- и трехвалентными катионами по модели «яичной коробки», (egg-box model) (Схема 1). Основу альгинатов составляют линейные полимеры  $\beta$ -D-маннуроной (M) и  $\alpha$ -L-гулуриновой (G) кислот, соединенные 1→4-гликозидными связями, с блоками MM, GG и MGMG. Гелеобразование зависит от количества G-блоков, молекулярной массы полимера и соотношения M/G блоков. Двухвалентные катионы ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  и др.) координируются с карбокси-группами, в основном, G-фрагментов, образуя «карманы» из частей нескольких полимерных молекул, вокруг иона металла, выполняющего функцию «кросс-линкера» двух полимерных цепей. Трёхвалентные катионы связываются с фрагментами трёх полимерных цепей, формируя более связанную структуру.

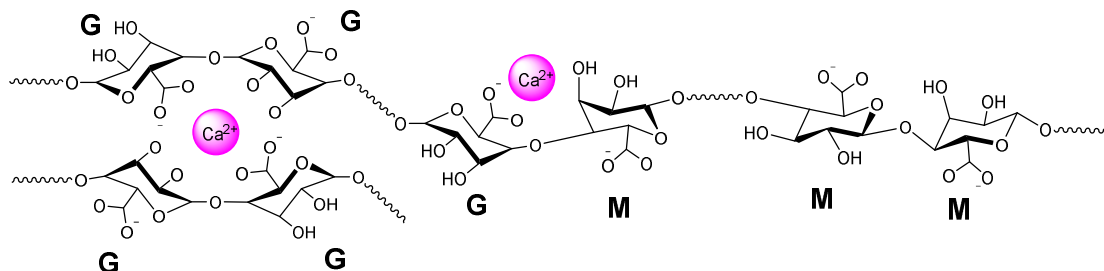


Схема 1. Сшивание катионами  $\text{Ca}^{2+}$  цепей альгиновой кислоты.

Гидрогели альгиновой кислоты получают двумя методами: экзогенным, где раствор альгиновой кислоты капают в ванну с  $\text{CaCl}_2$ , в результате чего образуются гелевые частицы с градиентом концентрации  $\text{Ca}^{2+}$  по толщине. Подобное быстрое гелеобразование создает неоднородную структуру – внутренняя часть геля остается слабо сшитой. И эндогенным методом, где в раствор альгината с источником кальция ( $\text{CaCO}_3$  или  $\text{Ca-EDTA}$ ) добавляют контролируемый триггер, например глюконо- $\delta$ -лактон. Медленное высвобождение  $\text{Ca}^{2+}$  обеспечивает равномерную структуру геля без градиентов концентрации ионов-сшивателей. Оба метода применимы для двух- и трехвалентных катионов.

Гели, сшитые  $\text{Ca}^{2+}$ , легко готовить, они нетоксичны, эластичны и биосовместимы. Гели с  $\text{Ba}^{2+}$  стабильны в кислой и нейтральной среде, достаточно прочны для имплантов.  $\text{Cu}^{2+}$ -гели обладают антибактериальными свойствами.  $\text{Sr}^{2+}$ -гели нетоксичны имеют высокую механическую прочность.  $\text{Zn}^{2+}$ -гели механически-слабые и неомогенные.  $\text{Fe}^{2+}$ -гели нестабильны, так как легко окисляются.  $\text{Mn}^{2+}$ -гели тоже неустойчивы.  $\text{Al}^{3+}$ -гели образуют 3D-структуру, стабильны, но токсичны.  $\text{Fe}^{3+}$ -гели – прочные и фотодegradируют.

Список литературы:

- 1) C. Hu, W. Lu, A. Mata et al. International Journal of Biological Macromolecules 177 (2021) 578–588
- 2) Mørch Å., Donati I., Strand B.L., Skjåk-Bræk G. // Biomacromolecules. 2006. V. 7. P. 1471–1480.
- 3) Maire du Poset A. et al. // Biomacromolecules. 2019. DOI: 10.1021/acs.biomac.9b00726.

**Автор:**

(Мосов Д.О.), 19.03.2025

**Основной докладчик:**

(Жуков Р.О.), 19.03.2025

## ПОЛУЧЕНИЕ ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ МЕМБРАН НОВОГО ТИПА

*БУГЕРЯ Алексей Александрович*

аспирант 2-го года обучения

лаборатория **Фторорганических соединений, №114**

Протонпроводящие полимерные мембраны используются во многих устройствах, в том числе в водородно-воздушных топливных элементах. Самыми распространенными мембранами данного типа являются мембраны Нафион. Мембрана Нафион обладает высокой протонной проводимостью и чрезвычайно стабильна в химически агрессивной среде, однако обладает высокой стоимостью, требует увлажнения и имеет низкий диапазон рабочих температур. Таким образом, получение протонпроводящих мембран нового типа, как альтернатива классическим мембранам Нафион, является актуальной задачей. Для её решения рассмотрено несколько направлений исследования – модифицированные трековые мембраны; мембраны из новых перфторированных сульфокислотных полимеров и композитные мембраны на основе АБПБИ.

Цель данной работы является исследование каждого из вышеперечисленных направлений получения протонпроводящих мембран нового типа для водородно-воздушных топливных элементов.

В результате работы получены трекинговые мембраны, путём облучения пленки поливинилиденфторида (ПВДФ) тяжелыми ионами ( $\text{Ne}^{4+}$ ,  $\text{Xe}^{26+}$ ), и разработана методика модификации данных мембран дисперсией Нафион. Синтезированы новые перфторированные сульфокислотные полимеры и изучена возможность получения мембран из них. К сожалению, стандартные технологические методики производства перфторированных мембран к ним не применимы и изготовление мембран из данных полимеров требует дальнейшего исследования. Получены композитные мембраны на основе гетероароматического полимера АБПБИ и исследованы их свойства.



Рис. 1. Получение модифицированной трекинговой мембраны.

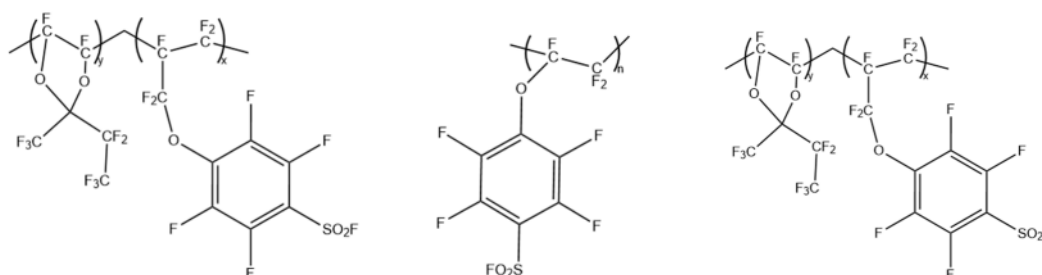


Рис. 2. Новые перфторированные сульфокислотные полимеры.

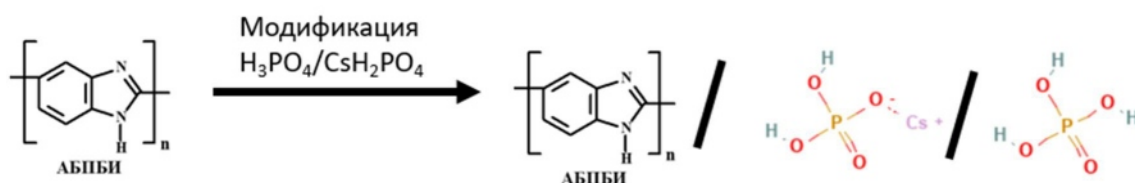


Рис. 3. Получение композитной мембраны АБПБИ/ $\text{CsH}_2\text{PO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Автор:

асп. Бугеря А.А.

Руководитель:

к.х.н., с.н.с. Тютюнов А.А.

## МЕМБРАНЫ ДЛЯ ТВЁРДОПОЛИМЕРНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*ВАСИЛЬЕВ Кирилл Александрович*

*аспирант 1-го года обучения*

*Секция 1.4.8. Химия элементоорганических соединений*

*Содоклад к работе Бугеря Алексея Александровича*

Мембрана в твердополимерных топливных элементах (ТЭ) выполняют функцию протонпроводящего электролита, который обеспечивает транспорт протонов от анода к катоду и разделяет их между собой [а]. Схема работы топливного элемента представлена на рисунке 1.

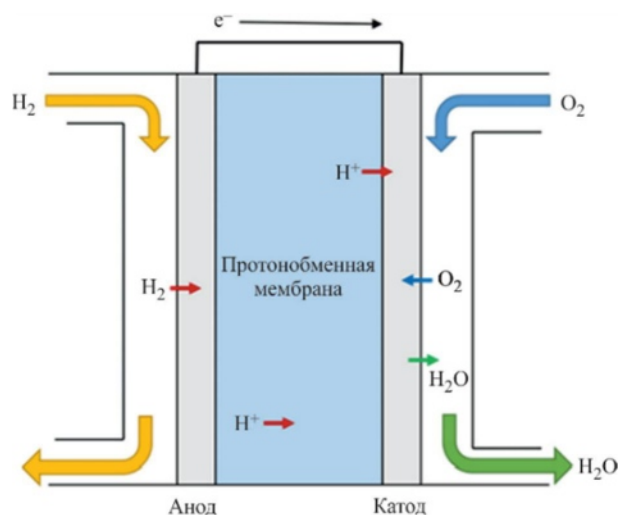


Рисунок 1. Схема мембранно-электродного блока (МЭБ) твердополимерного топливного элемента (ТПТЭ)

Эффективность работы мембраны в ТЭ определяется рядом ключевых характеристик, включая высокую протонную проводимость, химическую и механическую устойчивость, а также низкую газопроницаемость и отсутствие электропроводности [б]. Указанные свойства во многом обусловлены химическим строением полимерной матрицы и наличием кислотных функциональных групп, участвующих в процессе переноса протонов. По строению химической матрицы мембраны можно классифицировать на перфторированные (или частично фторированные) и ароматические нефторированные. Функциональными группами могут быть сульфатные, фосфатные и карбоксилатные группы. Перфторированная мембрана Нафион, содержащая сульфогруппы на концах боковых цепей, [в] является самой распространённой мембраной для ТЭ из-за её высокой протонной проводимости и превосходной химической стабильности. Мембраны типа полибензоимидазола (ПБИ), допированные фосфорной кислотой, являются распространёнными гетероароматическими нефторированными мембранами для ТЭ из-за высокого рабочего диапазона температур, отсутствия увлажнения при работе и более низкой стоимостью по сравнению с мембраной Нафион.

Список используемой литературы:

а) Stenina I.A., Safronova E.Y., Levchenko A.V. et al., Thermal Power Engineering. 2016. V. 6. pp. 4–18.

б) Иванчев С. С., Мякин С. В., Успехи химии, 2010. Т. 79. № 2. С. 117–134.

в) Пат. 3041317 США (1962)

**Автор:**

Васильев К.А. 19.03.26

**Основной докладчик:**

Бугеря А. А. 19.03.26

## ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНОВ С РЕГУЛЯРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГРУПП С ПОМОЩЬЮ РЕАКЦИИ ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ

*РАТНИКОВ Андрей Кириллович*

аспирант 2-го года обучения

лаборатория **Кремнийорганических соединений**, №304

Кремнийорганические сополимеры имеют важное прикладное значение в науке и технике. Полиорганосилоксановые сополимеры активно используются в качестве неподвижных жидких фаз в газожидкостной хроматографии, а полиорганосилесквиоксаны зарекомендовали себя как жаропрочные и износостойкие покрытия. В общем случае получение кремнийорганических полимеров связано с эмпирическим подбором условий и часто усугубляется сложностью определения структуры. В то же время именно чётко определённая структура оказывает решающее влияние на свойства материала. Получение же регулярных кремнийорганических сополимеров представляет собой особенно нетривиальную задачу ввиду указанных особенностей синтеза полиорганосилоксанов. В литературе не найдено примеров использования прекурсоров, включающих в своем составе все определяющие конечные физические свойства компоненты, какими могли бы стать функциональные регулярные сополимеры. Удобным инструментом для получения таких сополимеров может послужить реакция гидросилилирования, хорошо изученная и широко применяемая в силиконовой промышленности.

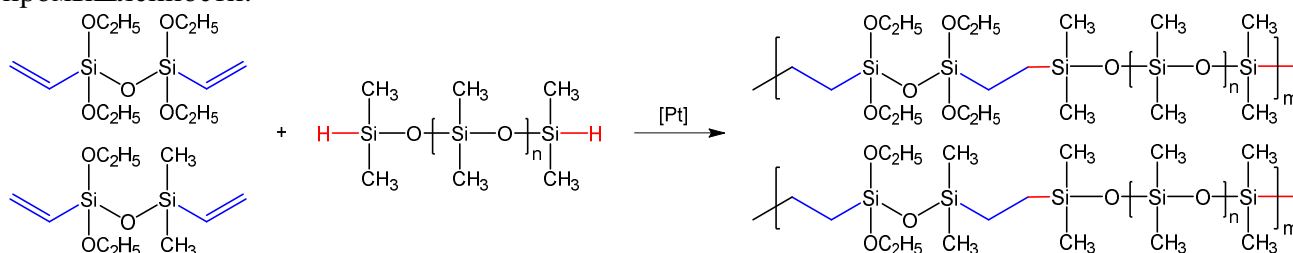


Рисунок 1. Схема получения регулярных функциональных полиорганосилоксанов.

Целью данного этапа работы было получение сополимеров с различными олиго- и полисилоксановыми спейсерами с помощью реакции гидросилилирования и изучение влияния их структуры на свойства получаемых материалов. В качестве блоков, содержащих функциональные алкокси-группы, были использованы 1,1,3,3-тетраэтоксиди-1,3-дивинилдисилоксан и 1,1-диэтоксиди-3,3-диметил-1,3-дивинилдисилоксан, а в качестве нефункциональных спейсеров были использованы телехелиевые полидиметилсилоксаны с концевыми Si-H группами различной молекулярной массы. Реакция гидросилилирования проводилась в присутствии катализаторов Карстеда или Спайера. Были определены молекулярно-массовые и термические свойства полученных сополимеров.

**Автор:**

**Руководитель:**

Ратников А.К.

к.х.н., с.н.с. Темников М.Н.

05.03.2026

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕАКЦИИ ГИДРОСИЛИЛИРОВАНИЯ В ХИМИИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ

ТИМЕРКАЕВА Маргарита Павловна

аспирант 2-го года обучения

1.4.8 «Химия элементоорганических соединений», 1.4.3 «Органическая химия»

Содоклад к работе Ратникова Андрея Кирилловича

В настоящее время полисилоксаны, или силиконы, являются одними из наиболее востребованных полимеров благодаря своей термической стабильности, биологической инертности и высокой механической прочности. Однако для создания материалов с заданными свойствами базовые соединения требуют модификации. Основным инструментом для этого является реакция гидросилилирования [1]. К ее преимуществам можно отнести высокую селективность, мягкие условия и атом-экономичность, что делает процесс высокотехнологичным и экологически предпочтительным. За последнее время реакция гидросилилирования стала ключевым методом решения важных промышленных задач: функционализации и сшивания полисилоксанов [2].

Присоединение функциональных олефинов к полиметилгидридсилоксанам открывает путь к получению широкого спектра силиконовых материалов различного назначения (Рисунок 1). Они находят применение в производстве клеев, связующих, керамических и диэлектрических покрытий, герметиков и мембран.

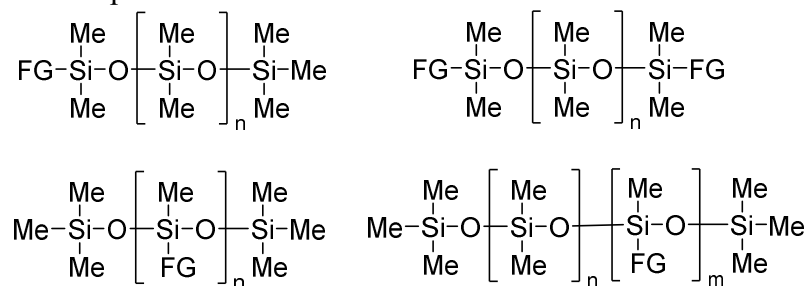


Рисунок 1. Силиконы, содержащие функциональные группы (FG)

Взаимодействие полигидридсилоксанов с поливинилсилоксанами приводит к образованию силиконовых каучуков (Рисунок 2). Патентная литература описывает получение изделий с улучшенной адгезией к металлам, стеклам и пластмассам, а также материалов для стоматологии и электроизоляции.

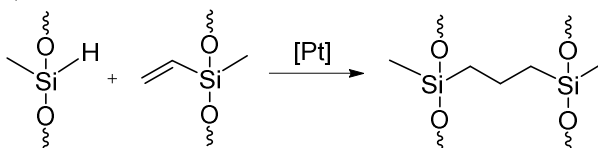


Рисунок 2. Схема вулканизации силиконовой резины

Реакция гидросилилирования, уже зарекомендовавшая себя в промышленности как надежный и технологичный метод получения силиконовых материалов, является наиболее подходящим инструментом и для решения тонких синтетических задач – конструирования полиорганосилоксанов с контролируемой молекулярной архитектурой и заданным набором функциональных групп [3].

### Список литературы:

1. K. M. Lewis, S. Couderc, *Molecules*, 2022, 27,4341.
2. B. Marciniec, H. Maciejewski, C. Pietraszuk, P. Pawluc, *Hydrosilylation*, Springer, Dordrecht, 2009, pp. 159-212.
3. R. J. Hofmann, M. Vlatković, F. Wiesbrock, *Polymers*, 2017, 9, 534.

Автор:

Основной докладчик:

19.03.2026

Тимеркаева М.П.

Ратников А.К.

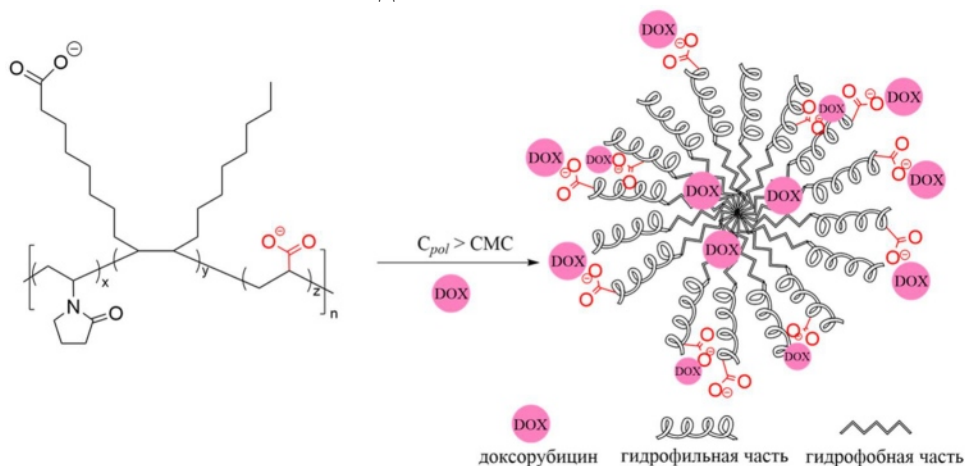
# ВЛИЯНИЕ ЗВЕНЬЕВ АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ НА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРПОЛИМЕРОВ N-ВИНИЛ-2-ПИРРОЛИДОНА С ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТОЙ

*МАЛЫШЕВ Алексей Максимович*

выпускник магистратуры ИПУР РХТУ им. Д.И. Менделеева 2026 г.  
лаборатория Гетероцепных полимеров, № 302

В последние годы в области медицинской химии были достигнуты значительные успехи, связанные с разработкой высокоэффективных лекарственных препаратов для терапии онкологических заболеваний. Зачастую комбинирование нескольких цитотоксических или цитостатических лекарств оказывается более эффективным, чем монотерапия, а использование наноразмерных лекарственных форм открывает возможности для таргетной доставки препаратов в целевую область. Одной из возможных систем доставки комбинаций лекарств являются амфифильные терполимеры N-винил-2-пирролидона с олеиновой и акриловой кислотами. Эти макромолекулы способны к иммобилизации препаратов как за счёт их сольubilизации в гидрофобном ядре, так и посредством электростатического связывания с карбоксильными группами в гидрофильной короне (схема 1).

Ранее было показано, что введение звеньев акриловой кислоты в цепи амфифильных сополимеров N-винил-2-пирролидона способствует иммобилизации противоопухолевого препарата доксорубина за счёт электростатических взаимодействий и его дальнейшему pH-зависимому высвобождению. Однако введение ионогенной группы в состав сополимеров может значительно повлиять на их коллоидно-химические свойства.



**Схема 1.** Иммобилизация модельного препарата на терполимерных носителях.

Целью данной работы является выявление закономерностей изменения коллоидно-химических свойств амфифильных терполимеров N-винил-2-пирролидона при варьировании количества звеньев акриловой кислоты в цепи макромолекул. Для этого были синтезированы терполимеры с различным содержанием акриловой кислоты и определены их критические концентрации мицеллообразования и гидродинамические диаметры наночастиц, полученных на их основе.

Автор: \_\_\_\_\_

Малышев А.М.

Руководитель: \_\_\_\_\_

к.х.н. Нечаева А.М.

05.03.2026

## ФЕРРОМАГНИТНЫЕ ПОЛИИМИНЫ НА ОСНОВЕ ДИАЦЕТИЛФЕРРОЦЕНА И ФЕНИЛЕНДИАМИНОВ

*БЕРЕГОВСКИЙ Илья Геннадьевич*

Студент 2 курса магистратуры МФТИ

Лаборатория Гетероцепных полимеров, №302

Магнитные полимеры — функциональные материалы с магнитными свойствами, такими как пара-, ферро- и ферримагнетики. Они сочетают в себе химическую стабильность и биосовместимость, присущую полимерам, с магнитной активностью, что делает их перспективными для широкого спектра применений, таких как биомедицинская инженерия, электроника и восстановление окружающей среды. <sup>[1]</sup>

В этой работе мы провели поликонденсацию диацетилферроцена с фенилендиаминами в расплаве на воздухе и в атмосфере аргона. <sup>[2]</sup> Полученные поли(основания Шиффа) изучены методами термогравиметрического анализа, ЭПР и сканирующей электронной микроскопии, структура подтверждена ИК и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопией.

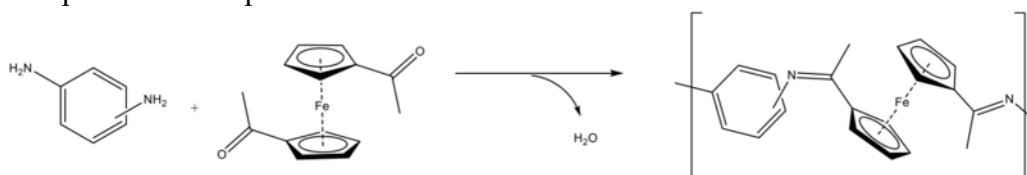


Рис. 1: Схема реакции поликонденсации диацетилферроцена с фенилендиаминами

У синтезированных в расплаве поли(оснований Шиффа) обнаружены ферромагнитные свойства, увеличивающиеся в ряду изомеров орто-, мета-, пара-. Предположительно, в процессе синтеза в твёрдой фазе полимеры частично сшиваются, и выделяются наночастицы оксидов железа, которые и проявляют магнетизм. <sup>[3]</sup>

Для подтверждения строения полимеров, конденсацией диацетилферроцена с анилином были синтезированы модельные соединения на рис. 2, структура которых была исследована с помощью ИК и ЯМР спектроскопии, а также был проведён рентгенструктурный анализ кристаллов дизамещённого имина.

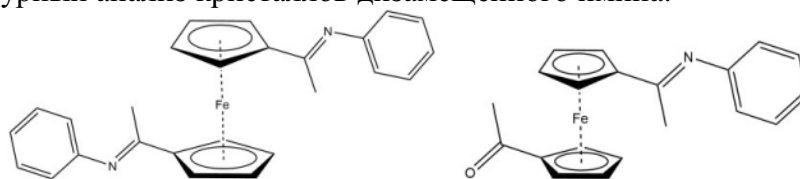


Рис. 2: Дизамещённый (слева) и монозамещённый(справа) продукты конденсации диацетилферроцена с анилином.

1. Sayan Ganguly, Shlomo Margel. *Micromachines*, 2025, 16(2), 174.
2. Yuya Tachibana, Senri Hayashi, Ken-ichi Kasuya. *ACS Omega*, 2018, 3, 5336–5345.
3. Dvorikova R.A., Vasnev V.A., Korlukov A.A., Buzin M.I. *Fine Chemical Technologies*. 2018;13(5):49-57. (In Russ.)

**Автор:**

**Руководитель:**

Береговский И.Г., 04.03.2026

К.х.н. Дворикова Р.А., 04.03.2026

Д.х.н., проф. Межуев Я.О., 04.03.2026

# МОРФОЛОГИЯ ОБОЛОЧЕК ПОЛИМЕРНЫХ И БЕЛКОВО-ПОЛИМЕРНЫХ МИКРОПУЗЫРЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА И СОПОЛИМЕРА ВИНИЛПИРРОЛИДОНА И АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

*КУЗЬМИН Павел Сергеевич*

Магистр 2 года Сколковского института науки и технологий  
лаборатория Гетероцепных полимеров, № 302

Микропузыри (МП) – двухфазные системы с газовым ядром и полимерной или гибридной оболочкой, которые применяются в качестве ультразвуковых контрастных агентов для диагностики широкого спектра заболеваний в течение последних 20 лет. За последнее десятилетие показано, что МП также являются перспективными мультимодальными агентами для ультразвуковой тераностики. Газовое ядро обеспечивает контрастность визуализации и нелинейные колебания, а оболочка позволяет инкорпорировать терапевтические агенты, например, фотосенсибилизаторы. Однако клиническое применение ограничено требованием к высокой стабильности и биосовместимости оболочек. Эффективность таких систем зависит от структуры оболочки: именно она определяет резонансную частоту, амплитуду колебаний и акустическую стабильность микропузыря. Поэтому исследование структурных особенностей оболочек на основе биосовместимых полимеров и белков является актуальной задачей.

Целью работы было сравнение морфологии новой формуляции белково-полимерных микропузырей на основе электростатического комплекса сывороточного альбумина и сополимера винилпирролидона и акриловой кислоты с широко исследованной формуляцией полимерных микропузырей на основе поливинилового спирта. Данные о полимерной формуляции станут основой для сопоставления со свойствами белково-полимерных формуляций микропузырей. Предложено и проанализировано несколько методов по оценке толщины оболочки МП. Методом атомно-силовой микроскопии высушенных МП определена средняя толщина оболочки обеих формуляций (Рисунок 1). Методом флуоресцентной микроскопии исследована морфология оболочки белково-полимерных МП, в которые был включен ковалентный комплекс альбумина и красителя Цианин5 (Cy5) при синтезе. Методом флуоресцентной микроскопии с разрешением времени жизни флуоресценции определены изменения времени жизни флуоресценции комплекса альбумин-Cy5 при внедрении в оболочку белково-полимерных микропузырей, Cy5 – COOH при электростатической иммобилизации на поверхности белково-полимерных микропузырей, Cy5 – NH<sub>2</sub> при электростатической иммобилизации на поверхности полимерных микропузырей, по сравнению с временем жизни перечисленных флуоресцентных красителей в водном растворе. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 24-73-10191

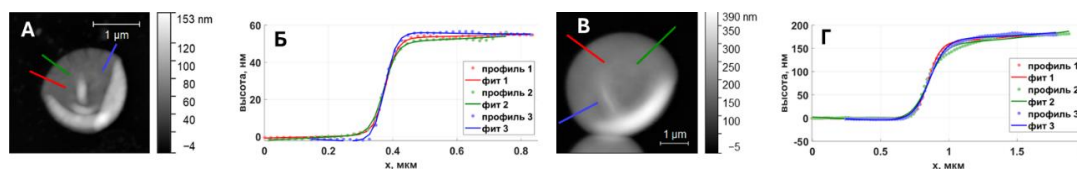


Рисунок 1 - (А) и (В): топография репрезентативного высушенного белково-полимерного и полимерного микропузыря соответственно; (Б) и (Г): профили высоты на (А) и (В) и их фиты сигмоидной функцией

Автор:

Кузьмин П.С.

Руководители:

к.х.н. Рудаковская П.Г.  
д.х.н. Межуев Я.О.  
05.03.2026

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЕРИЛЕНДИИМИДА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ В КАЧЕСТВЕ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНЫХ СЛОЕВ ДЛЯ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ.

*ГАЛИУЛЛИН Альберт Наилевич, аспирант 4-го года обучения*

Коммерциализация перовскитных солнечных элементов (ПСЭ) с p-i-n архитектурой сдерживается низкой стабильностью традиционных фуллереновых электрон-транспортных слоев (ETL), склонных к агрегации. Перспективной альтернативой являются сопряженные полимеры n-типа на основе перилендиимида (PDI), сочетающие высокое сродство к электрону со способностью формировать стабильные защитные покрытия. Целью работы являлась разработка библиотеки новых PDI-полимеров, установление взаимосвязи «структура–свойство» и создание на их основе эффективных и стабильных фотоэлементов.

В ходе работы были синтезированы две серии сополимеров (Рис.1):

1. **Серия 1 (P1–P15):** полимеры на основе классического PDI-ядра с вариацией донорного блока. Использованный набор мономеров включает производные дитиеноизоиндола (с ацетиленовыми мостиками), планарные конденсированные системы (бензодитиофен, бензотиадиазол, карбазол, бензотритиофен), а также тиенопиразин, хиноксалин.
2. **Серия 2 (PTh):** полимеры на основе модифицированного PDI-ядра (PDITh), аннелированного тиофеновым кольцом (PTh2, PTh3, PTh4, PTh9, PTh10, PTh14).

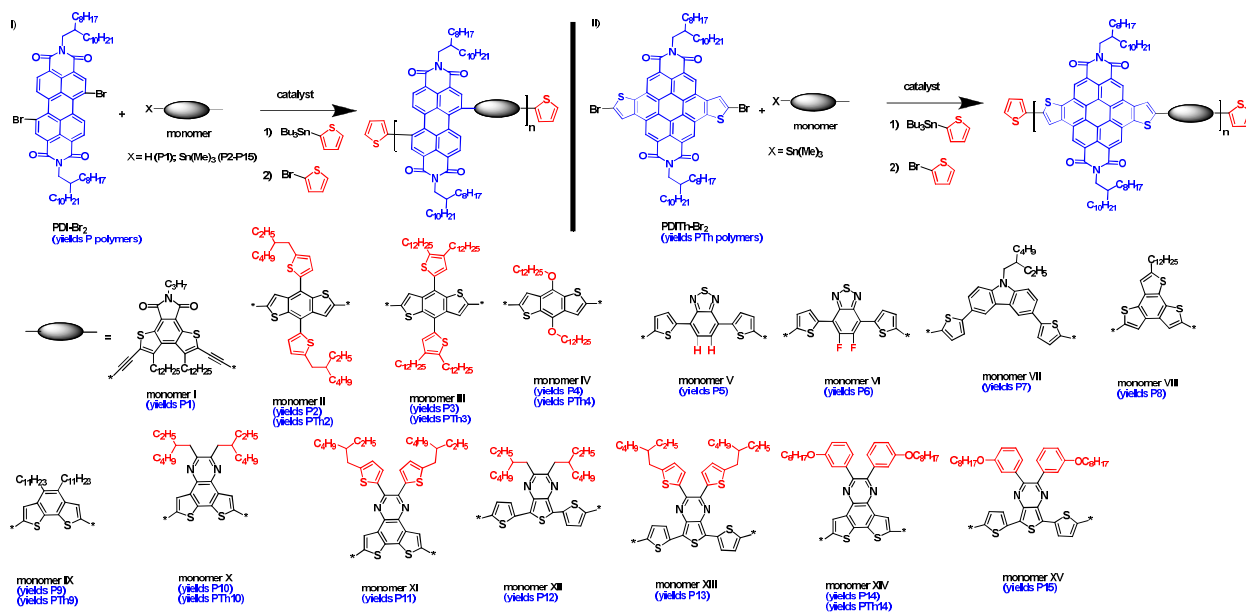


Рисунок 1 Синтез и структуры полимеров. I) Серия 1- P, на основе PDI акцепторного фрагмента II) Серия 2 – PTh, на основе PDITh акцепторного фрагмента

Исследование первой серии полимеров (P1–P15) в составе ПСЭ архитектуры ИТО/РТА/Cs<sub>0.12</sub>FA<sub>0.88</sub>PbI<sub>3</sub>/ETL/VPhen/Ag позволило выявить следующее:

- **влияние фторирования:** введение атомов фтора в бензотиадиазольный фрагмент (полимер P6) приводит к понижению уровня ВЗМО до -5.95 эВ, что улучшает блокировку дырок и повышает КПД до 16.4%.
- **инженерия боковых цепей:** в ряду тиенопиразиновых производных замена алкильных заместителей на объемные алкоксифенильные группы (P15) повышает уровень НСМО до -3.50 эВ. Это позволило достичь рекордного (для данной серии образцов) напряжения

- холостого хода ( $V_{oc} = 1046$  мВ) и максимальной эффективности в серии — 16.9%, что сопоставимо с эталонным PCBM (18.2%).

Сравнительный анализ второй серии (PTh) с классическими аналогами (P) показал влияние модификации акцепторного ядра:

- **оптика:** аннелирование тиофенового кольца приводит к гипсохромному сдвигу края поглощения и увеличению ширины запрещенной зоны, но батохромному сдвигу максимумов, что предположительно связано с увеличением жесткости и планарности цепи
- **энергетические уровни:** для полимеров с бензодитиофеновыми донорами (PTh2–PTh4) наблюдается существенное повышение уровня HOMO (на 0.2–0.3 эВ) вследствие снижения акцепторной силы модифицированного ядра. Однако для хиноксалиновых производных (PTh10, PTh14) этот эффект нивелируется, вероятно, из-за специфики гибридизации орбиталей в системе «акцептор-акцептор».

Ключевым результатом работы является подтверждение высокой фотостабильности разработанных материалов. Тесты в инертной атмосфере при непрерывном освещении показали (Рис.2), что перовскитные пленки, защищенные слоем PDI-полимеров (P1–P7), деградируют значительно медленнее, чем образцы с PCBM. Наилучшую защиту обеспечивают высокомолекулярные полимеры P1, P5, P6 ( $M_n > 48$  кДа), которые формируют плотный барьерный слой, препятствующий улечиванию компонентов перовскита.

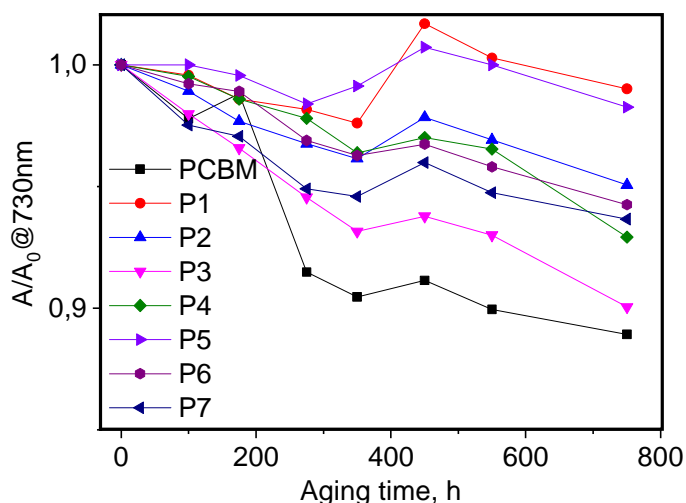


Рисунок 2. Нормализованная кривая поглощения ( $A/A_0$ ) при 730 нм для образцов  $Cs_{0,12}FA_{0,88}PbI_3/ETL$  при непрерывном освещении.

С целью дальнейшего изучения влияния структуры акцепторного фрагмента и расширения библиотеки материалов был осуществлен синтез конденсированного бис-периленидиимида ( $PDI_2$ ) методом окислительной фотоциклизации. Полученное соединение с расширенной системой сопряжения является перспективным строительным блоком для создания материалов следующего поколения.

В результате работы создана библиотека новых n-типа сопряженных полимеров, выявлены эффективные стратегии дизайна (фторирование, объемные боковые цепи, модификация ядра), позволившие достичь КПД 16.9%. Показано, что полученные полимерные ETL превосходят традиционные фуллереновые материалы по эксплуатационной стабильности, что открывает перспективы для создания долговечных перовскитных фотоэлементов.

#### Список публикаций:

1. Akbulatov A. F., Novkina P. G., Emelianov N. A., Antoshkina E. P., Galiullin A. N. et al. Impact of the molecular size of the perylenediimide-derived electron transport materials on the efficiency and stability of p-i-n perovskite solar cells // *Synthetic Metals*. — 2025. — Vol. 313. — P. 117888.
2. Komissarova E. A., Kuklin S. A., Kuznetsov P. M., Galiullin A. N. et al. Carbazole-based conjugated polymers with enhanced UV hardness: promising electron donor materials for stable organic solar cells // *Mendeleev Communications*. — 2025. — Vol. 35, No. 4. — P. 413–416.

Автор: \_\_\_\_\_ (А.Н.Галиуллин)

## ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АМФИФИЛЬНЫХ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ СОПОЛИМЕРОВ С ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТРИЦАМИ

*Хлопов Степан Алексеевич*

Аспирант 3-го года

Лаборатория физической химии полимеров №311

В наше время, когда ситуация с эпидемиями остаётся напряжённой, особое внимание уделяется разработке покрытий, которые предотвращают адгезию вирусов и бактерий к поверхности и могут сохранять свои свойства в течение длительного времени. Одним из перспективных направлений является использование витримеров — полимерных сеток с динамическими сшивками. Эти материалы способны к самовосстановлению и рециклизации благодаря реакциям межцепного обмена, что делает их особенно привлекательными для создания таких покрытий.

Цель работы состояла в разработке омнифобных витримерных покрытий на основе фторсодержащих сополимеров глицидилметакрилата (ГМА). Водо- и маслоотталкивающие свойства обуславливаются наличием фторсодержащих звеньев в составе сополимера, а звенья ГМА необходимы для отверждения и протекания реакций межцепного обмена. Установлено, что покрытия из статистических сополимеров демонстрируют высокие гидрофобные свойства, но относительно слабые олеофобные.

Использование вместо статистических сополимеров фторсодержащих диблок-сополимеров ГМА (ДС) придаст покрытию дополнительную нанощероховатость в результате микрофазного расслоения и, как следствие, улучшит репеллентность ткани. Морфология наноструктур из ДС, а также ее период зависят от состава ДС и формы молекулярно-массового распределения (ММР). Для получения ДС выбрали двухстадийную радикальную полимеризацию с обратимой передачей цепи по механизму присоединения-фрагментации (ОПЦ). На первой стадии получали фторсодержащий макро-ОПЦ агент. Полимеризация в присутствии додецилтретиокарбоната изомасляной кислоты (ДТИК) привела к получению первого блока с полидисперсностью 1,12–1,13 вне зависимости от конверсии, а в присутствии 2-циано-2-пропилдителиобензоата полидисперсность менялась от 1.42 до 1.20 с ростом конверсии. Таким образом, узкодисперсные макро-ОПЦ агенты получают при добавлении ДТИК.

На модельных диблок-сополимерах полиметилметакрилата (ПММА) и полистирола (ПСТ) эквимольного состава исследовано влияние формы ММР блока ПММА на морфологию пленок из ПММА-блок-ПСТ сополимеров. Установлено, что повышение дисперсности в ряду 1.11, 1.21 и 1.53 приводит к переходу от ламеллярной структуры к сферическим доменам через систему сосуществования этих морфологий. Таким образом, незначительное изменение полидисперсности от 1.11 до 1.21 существенно изменяет морфологию пленки, и для получения ожидаемой морфологии важно, чтобы первый блок был узкодисперсным, поэтому для синтеза ДС был выбран ДТИК.

Автор:  
Руководитель:

Хлопов С.А.  
Барабанова А.И.

05.03.2026

## ВИТРИМЕРЫ КАК ОСНОВА ДЛЯ НОВЫХ СУПЕРГИДРОФОБНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**КУАНДЫКОВ** Дмитрий Максимович

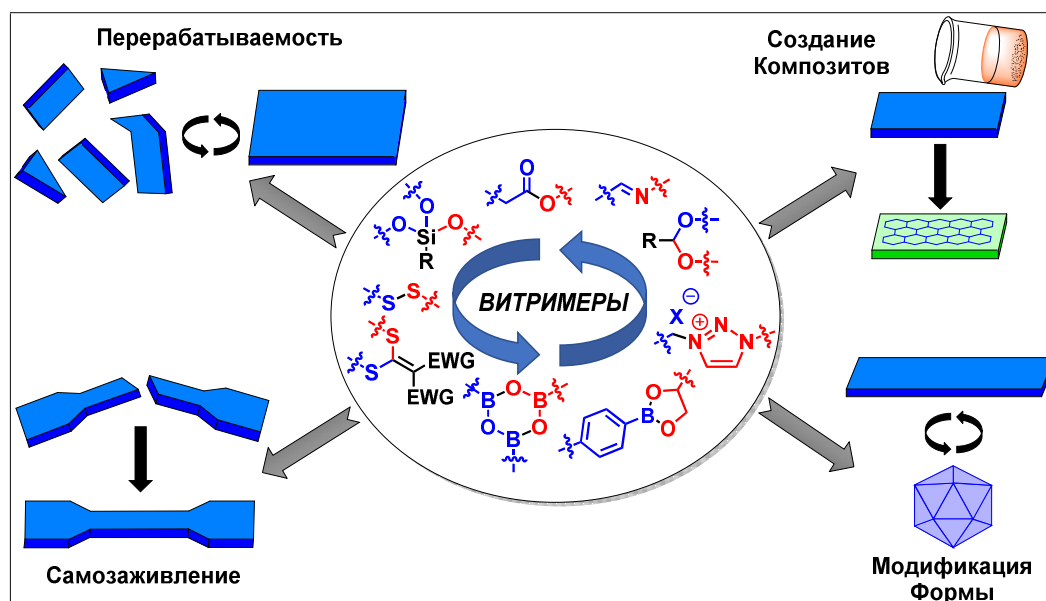
аспирант 2-го года обучения

1.4.3 «Органическая химия»

Содоклад к работе Хлопова Степана Алексеевича

За последние десятилетия материалы с супергидрофобной поверхностью приобретают высокую значимость как для промышленности, так и для научных исследований [а]. Данные материалы, углы смачивания водой которых превышают 150 градусов, обещают широкий спектр применений для защиты от загрязнений, коррозии, обледенения и адгезии микроорганизмов. Одним из основных недостатков разработанных ранее гидрофобных материалов является низкая износостойкость. Со временем в результате воздействия окружающей среды, стирки или механического износа и других факторов они теряют свои свойства вследствие необратимого разрыва ковалентных связей внутри полимерных сеток.

Перспективным подходом для обеспечения долговечности покрытий могут стать витримеры – новый класс сетчатых полимерных материалов, в которых прочные сшивки заменены на динамические. Динамические сшивки способны обратимо разрываться и рекомбинировать в результате инициирования реакций межцепного обмена, которые протекают при действии активатора (катализатор, температура, свет, pH) и практически не протекают в условиях эксплуатации. Этот класс материалов был впервые описан Л. Лейблером в 2011 году [б].



Витримеры сочетают эксплуатационные преимущества реактопластов, такие как высокая адгезия, химическая стойкость и хорошие механические свойства, со способностью к ремонту и переработке [в]. Также витримеры при активации межцепного обмена становятся мягкими, что позволяет им придать любую форму или создать композитный материал с новыми свойствами [г].

### Список литературы:

- С.-Н. Xue, J.-Z. Ma, Long-lived superhydrophobic surfaces. *J. Mater. Chem. A*. (2013), V. 1, P. 4146–4161.
- D. Montarnal, M. Capelot, F. Tournilhac, L. Leibler, Silica-Like Malleable Materials from Permanent Organic Networks. *Science* (2011), V. 334, P. 965–968.
- Ahmadi M., Hanifpour A., Ghiassinejad S., Van Ruymbek E. Polyolefins Vitrimers: Design Principles and Applications. *Chemistry of Materials* (2022). V. 34. P. 10249–10271.
- Zheng J., Png Z.M., Ng S.H., Tham G.X., Ye E., Goh S.S., Loh X.J., Li Z. Vitrimers: Current research trends and their emerging applications. *Materials Today* (2021), V. 51. P. 586–625.

**Автор:**

**Основной докладчик:**

16.03.2026

Куандыков Д.М.

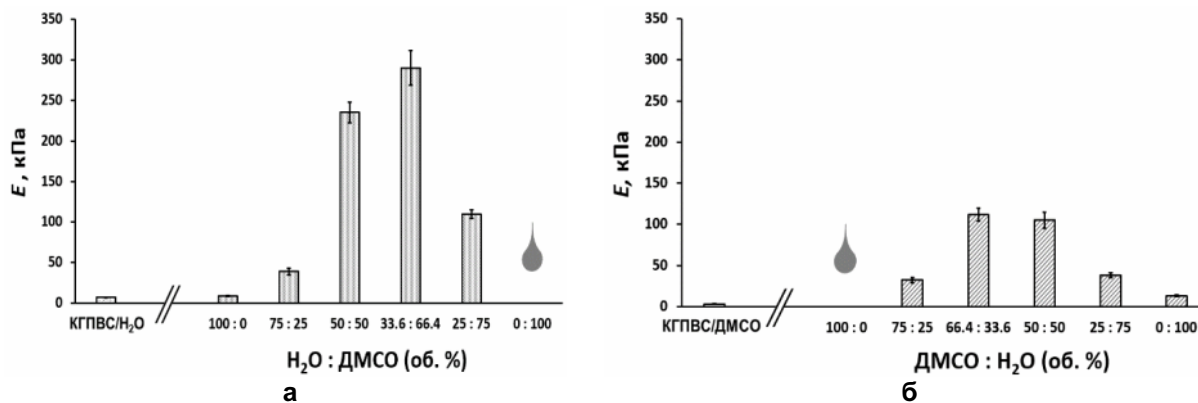
Хлопов С.А.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ ИНКУБАЦИИ В СМЕСЯХ Н<sub>2</sub>О/ДМСО

**БАРАННИКОВА Лада Владимировна**  
аспирант 2-ого года  
лаборатория криохимии биополимеров, №322

В последние годы растет потребность в новых гелевых материалах в области медицины, биотехнологии, сельского хозяйства и других. Такими перспективными гелевыми материалами являются криогели поливинилового спирта (КГПВС) – макропористые гетерофазные студни, которые получают в результате замораживания, выдерживания в замороженном состоянии и размораживания раствора поливинилового спирта (ПВС). Криогели ПВС можно получать как из водных растворов полимера, так и из их ДМСО-растворов. Однако часто, для решения определенных задач необходимы пористые гелевые материалы, содержащие в своем составе жидкую фазу различного состава. Тем не менее, получить макропористые гелевые материалы из растворов ПВС в смеси растворителей не всегда возможно.

В нашей работе был разработан подход к формированию таких макропористых гелевых материалов. Для этого были сформированы КГПВС из растворов с концентрацией полимера от 10 до 14 г/дл как в воде, так и в ДМСО. Далее образцы были насыщены смешанными растворителями состава вода/ДМСО в варьируемых соотношениях. У полученных «вторичных» КГПВС были оценены геометрические размеры, модули упругости  $E$  и температура плавления [1]. Показано, что наибольшие значения модуля Юнга достигаются у образцов, насыщенных в смеси растворителей при их соотношении 1:1.



**Рисунок 1.** Зависимости модуля Юнга КГПВС, сформированных из водных (а) и ДМСО (б) растворов полимера (10 г/дл) от состава растворителей.

Таким образом, нами предложен способ получения криогелей ПВС с различным составом жидкой фазы вода/ДМСО и показано, что физико-химические, а также теплофизические свойства получаемых КГПВС в значительной степени зависят от процентного соотношения растворителей в смеси насыщения.

### Список публикаций

[1] Баранникова Л.В., Колосова О.Ю., Лозинский В.И. *Успехи в химии и химической технологии*, 2015. Vol. 39 (№7). 12–14.

Автор:

\_\_\_\_\_ Баранникова Л.В.

Руководитель:

\_\_\_\_\_ Колосова О.Ю.

02.03.2026

# ФОРМИРОВАНИЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

**ЧЕРЕЗОВ** Егор Александрович

аспирант 1-го года

1.4.3. Органическая химия, 1.4.8. Элементарорганическая химия

Содоклад к работе Баранниковой Лады Владимировны

Поливиниловый спирт (ПВС) — один из наиболее востребованных полимеров для создания гелевых материалов. Однако традиционные методы химической сшивки часто требуют удаления токсичных сшивающих агентов. Поэтому все больший прикладной интерес приобретают нековалентные гелевые материалы - криогели, получаемые в результате замораживания растворов полимера и последующем оттаивании при нагревании (рисунок 1).<sup>[1]</sup>

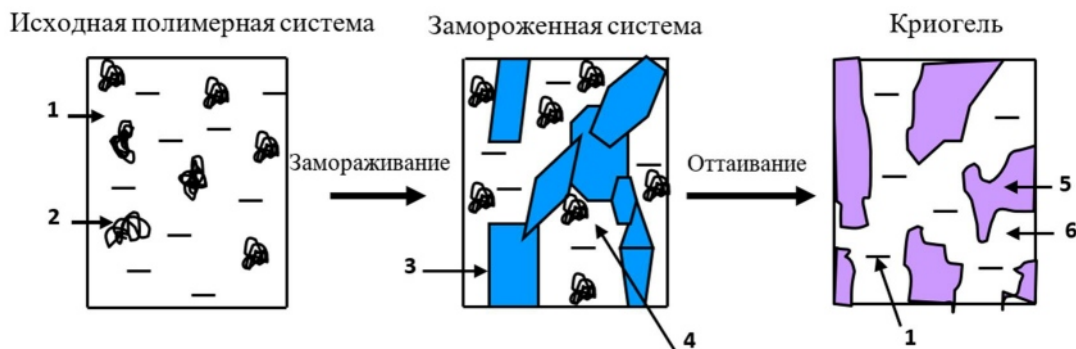


Рисунок 1. Схема криотропного гелеобразования. 1 – растворитель; 2 – полимер-предшественник; 3 – поликристаллы замерзшего растворителя; 4 – незамерзшая жидкая микрофаза; 5 – полимерная матрица криогеля; 6 – макропоры.

Неглубокое замораживание систем растворитель – высокомолекулярное соединение приводит к фазово-неоднородным системам, включающим незамерзшую жидкую микрофазу (НЖМФ). Если исходный препарат содержит гелеобразователи, то полимерный каркас соответствующего криогеля формируется как раз в таких незамерзших микрообластях замороженного образца. Кристаллы замерзшего растворителя, выступают в качестве порогена: после оттаивания на их месте формируется система сообщающихся макропор.

На физико-химические свойства криогелей поливинилового спирта влияют различные факторы: концентрация полимера и растворитель в исходном растворе, температура замораживания, скорость оттаивания, количество циклов «замораживания–оттаивания», наличие хаотропных и антихаотропных добавок.<sup>[2]</sup>

Уникальное сочетание эластичности, макропористой структуры и биосовместимости криогелей ПВС определяет широкий спектр их применения: от подложек для иммобилизации ферментов и клеток в биореакторах до скаффолдов в тканевой инженерии и систем контролируемой доставки лекарств.<sup>[3]</sup>

## Список литературы

[1] В.И. Лозинский, Успехи химии, 1998, 67, 641–655.

[2] V.I. Lozinsky, Russ. Chem. Rev., 2002, 71, 489–511.

[3] Ch.M. Hassan, N.A. Peppas, Adv. Polym. Sci., 2000, 153, 37–65.

**Автор:**

/ Черезов Е.А.

**Основной докладчик:**

/ Баранникова Л.В.

19.03.2026

# СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ В КАЧЕСТВЕ НОСИТЕЛЕЙ ДОКСОРУБИЦИНА ПЕГИЛИРОВАННОГО РАЗВЕТВЛЕННОГО ПОЛИЛАКТИДА МОДИФИЦИРОВАННОГО ОКСИДОМ ГАДОЛИНИЯ

*НИКОЛАЕВ Станислав Александрович*

аспирант 1-го года обучения  
лаборатория Гетероцепных полимеров, № 302

Целью работы было получение агрегативно устойчивых наночастиц пегелированного разветвленного полилактида, модифицированных оксидом гадолиния (III), содержащих иммобилизованный доксорубин и демонстрация возможности их применения в качестве тераностических агентов. Взаимодействием монометилового эфира полиэтиленгликоля (5000 Да) с L-лактидом и 2,2-бис(гидрокси-метил)масляной кислотой катализируемым 2-этилгексаноатом олова получены разветвленные сополимеры со среднечисловой молекулярной массой ~ 14000. Строение полученных разветвленных сополимеров было охарактеризовано методами  $^1\text{H}$  ЯМР,  $^{13}\text{C}$  ЯМР и ИК спектроскопии. Показано, что синтезированные сополимеры проявляют свойства молекулярных нанообъектов в водных растворах и по данным динамического лазерного светорассеяния и малоуглового рентгеновского рассеяния обладают размером 10 – 15 нм, что также согласуется с теоретическими оценками, данными исходя из предполагаемой макромолекулярной архитектуры. Последующая модификация пегелированного разветвленного поли(L-лактида) оксидом гадолиния (III) решающим образом не сказывалась на размере частиц, однако придавала им парамагнетизм и подходящие для МРТ-визуализации значения продольных и поперечных релаксивностей спинов протонов, которые составили  $6.77 \text{ млМ}^{-1} \times \text{с}^{-1}$  и  $6.96 \text{ млМ}^{-1} \times \text{с}^{-1}$  соответственно. Вместе с тем, электростатическая иммобилизация гидрохлорида доксорубина наночастицами пегелированного разветвленного полилактида, модифицированного оксидом гадолиния (III) служила стимулом к сборке частиц размером ~85 нм, что было объяснено агрегацией, сопровождающей перезарядку двойного электрического слоя. Полученная наноразмерная система обеспечивала высокую эффективность иммобилизации гидрохлорида доксорубина (около 96%), а также контролируемую скорость его высвобождения. Исследования *in vitro* противоопухолевой активности наночастиц пегелированного разветвленного полилактида, модифицированных оксидом гадолиния (III) и содержащих иммобилизованный доксорубин на клеточной линии плоскоклеточной карциномы шейки матки человека (SiHa) показали перспективы преодоления лекарственной резистентности этой клеточной линии к доксорубину, наблюдаемой в контрольной группе. Таким образом, на основе пегелированного разветвленного полилактида модифицированного оксидом гадолиния (III) разработаны наноразмерные носители противоопухолевого препарата доксорубин, что открывает перспективы совмещения терапии онкологических заболеваний с МРТ-диагностикой.

Список публикаций:

1. Loginova, T.P., Baranov, O.V., Pozdniakova, N.V. et al. J Nanopart Res 27, 288 (2025).

Автор:

Николаев С.А.

Руководители:

д.х.н. Межуев Я.О.  
к.х.н. Баранов О.В.

05.03.2026

**ПРИМЕНЕНИЕ АМФИФИЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ В МЕДИЦИНЕ***РОМАНЕНКО Александр Романович**аспирант 2-го года обучения**1.4.4 «Физическая химия»**Содоклад к работе Николаева Станислава Александровича*

Амфифильные полимеры являются одним из наиболее перспективных классов материалов для использования в фармакологии благодаря способности к самосборке в агрегаты с архитектурой «ядро–оболочка». Гидрофобное ядро обеспечивает инкапсуляцию плохо растворимых лекарств, а гидрофильная оболочка, чаще всего на основе полиэтиленгликоля (PEG), повышает коллоидную стабильность, снижает захват ретикулоэндотелиальной системой и способствует продлению времени циркуляции в организме [а,б].

Использование полимерных мицелл позволяет повышать растворимость гидрофобных соединений, изменять фармакокинетику и биораспределение препаратов, а также реализовывать пассивный таргетинг за счет EPR-эффекта [а,в], что особенно важно для терапии онкологических заболеваний. Так, мицеллы на основе триблок-сополимера поли(молочная-со-гликолевая кислота)-PEG-поли(молочная-со-гликолевая кислота), с включенным куркумином увеличивали общее количество лекарства в плазме крови, период полувыведения и среднее время удержания, одновременно снижая захват препарата печенью и селезенкой и усиливая его накопление в легких и мозге [г].

Особый интерес представляют стимул-чувствительные системы. Для мицелл поли(молочной кислоты)–метокси-PEG с доксорубицином (DOX), показана коллоидная стабильность при физиологическом рН и быстрое высвобождение DOX в кислой среде эндосом, что повышало цитотоксичность по сравнению со свободным препаратом [д]. Дополнительное усиление селективности возможно при введении лигандов активного таргетинга: фолат-модифицированные мицеллы полилактид-PEG-DOX проявляли более высокую цитотоксичность в отношении фолат-рецептор-положительных клеток SKOV3, чем нетаргетные системы [е].

Амфифильные полимеры эффективны и как носители для обеспечения контролируемого высвобождения солубилизированных лекарств. Наногели на основе полилактид-PEG-полилактид характеризовались высокой стабильностью и обеспечивали стабильное высвобождение камптотецина в течение 20 суток [ё].

Таким образом, амфифильные полимеры являются универсальной платформой для доставки лекарств, создания таргетных и стимул-чувствительных систем, а также форм с пролонгированным действием. Дальнейшее развитие этой области связано с повышением тканевой специфичности, стабильности и интеграцией в клиническую практику.

**Список литературы:**

- а) Sutton D. и др. // Pharm Res. 2007. Т. 24, № 6. С. 1029–1046.
- б) Zeng Z. и др. // IJN. 2010. С. 1057.
- в) Begines B. и др. // Nanomaterials. 2020. Т. 10, № 7. С. 1403.
- г) Song Z. и др. // Journal of Colloid and Interface Science. 2011. Т. 354, № 1. С. 116–123.
- д) Yoo H. S., Lee E. A., Park T. G. // Journal of Controlled Release. 2002. Т. 82, № 1. С. 17–27.
- е) Hani Z. и др. // DARU J Pharm Sci. 2014. Т. 22, № 1. С. 30.
- ё) Lee W., Li Y., Chu I. // Macromolecular Bioscience. 2006. Т. 6, № 10. С. 846–854.

**Автор:**

Романенко А.Р., 19.03.2026

**Основной докладчик:**

Николаев С.А., 19.03.2026

## АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ПОЛИФЕНИЛЕНА

КОВАЛЕВА Мария Алексеевна

аспирант второго года обучения

лаборатория Стереохимии сорбционных процессов, №314

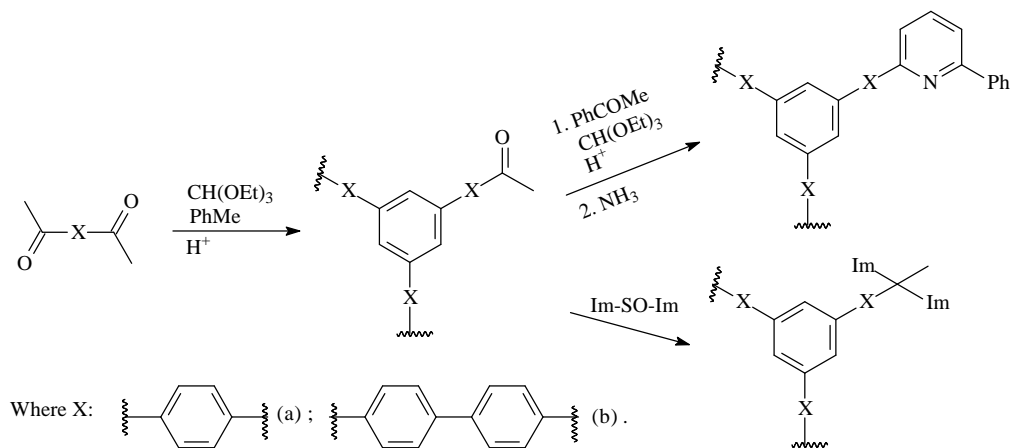
Сегодня микропористые углеродные материалы пользуются огромным спросом и находят широкое применение в самых разных технологических сферах. При этом наибольший интерес исследователей и промышленности сегодня сосредоточен на азотсодержащих углеродных материалах.

Задачи, которые ставились в отчетный период, включали в себя: получение азотсодержащих полимеров разнообразного строения и пирополимеров на их основе, изучение состава и строения синтезированных полимеров, а так же их вторичных структур.

Полимеробразующей реакцией взаимодействия ортомуравьиного эфира и 1,3,5-триацетилбензола, получены полимеры с соотношением пиридиновых и фентриильных фрагментов равным 1÷10:10. Структура полученных полимеров и пирополимеров на их основе была исследована при использовании сорбционных методов. Было установлено, что образцы, преимущественно состояли из ультрамикропор диаметром 0.3÷0.7 нм и имели значение удельной поверхности до 960 м<sup>2</sup>/г.

Изучена модельная реакция взаимодействия ацетофенона и N,N'-тионилдиимдазола, продуктами которой являются: 1,1-(N,N'-диимдазоллил)-1-фенил-этан и 1-(N-имдазоллил)-1-фенил-этилен.

Полимераналогичными превращениями предварительно синтезированной полифениленовой матрицы на основе диацетилароматических соединений, содержащей ацетильные группы, получены полимеры с пиридиновыми и имидазольными фрагментами, с содержанием азота 2÷19%.



Значения удельной поверхности пирополимеров на основе этих полимеров составляли 550-900 м<sup>2</sup>/г.

**Список публикаций.**

- A. I. Kovalev, A. V. Naumkin, M. A. Kovaleva, S. S. Bukalov, S. A. Babich, N. S. Revizorova, S. E. Lubimov, I. A. Khotina and Ya. O. Mezhev, *Mendeleev Commun.*, 2025, 35, 337–340.
- I. A. Khotina, A. V. Naumkin, A. V. Pastukhov, M. A. Kovaleva, D. V. Kupriyanova, N. S. Revizorova, S. E. Lubimov, A. I. Kovalev and Ya. O. Mezhev, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 2025, 2546891.
- I. A. Khotina, V. G. Kharitonova, T. P. Loginova, A. I. Kovalev, M. A. Kovaleva, A. V. Naumkin, I. V. Blagodatskikh, A. M. Nechaeva, E. V. Ivanovskaya, A. N. Sveshnikova, D. Bagrov, A. Vnukova and O. V. Baranov, *J. Polym. Sci.*, 2025, 63, 4280–4294.
- M. A. Kovaleva, A. I. Kovalev, I. A. Khotina, *ИНЭОС OPEN* – в печати.

**Автор:**

Ковалева М. А., 03.03.2026

**Руководитель:**

д.х.н., вед. научн. сотр. Хотина И. А., 03.03.2026

## МИКРОПОРИСТЫЕ СОПРЯЖЕННЫЕ ПОЛИМЕРЫ И УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ИХ ОСНОВЕ

**БУБНОВА** Александра Сергеевна

аспирант 3-го года обучения

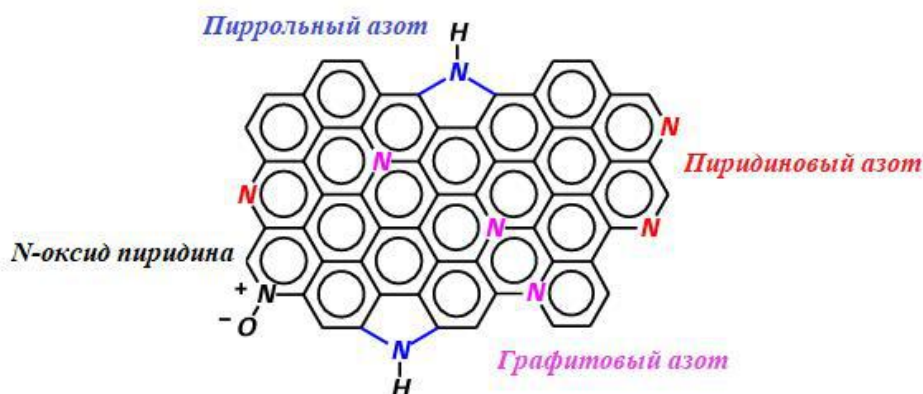
1.4.3. Органическая химия

Содоклад к работе Ковалевой Марии Алексеевны

Сопряженные полимеры, содержащие делокализованные  $\pi$ -электроны вдоль основной цепи, как правило, обладают структурной жесткостью и термостабильностью в связи с чем представляют интерес для использования их в роли предшественников пористых углеродных материалов. Особое внимание привлекают микропористые сопряженные полимеры (МСП), в которых связанные строительные блоки в  $\pi$ -сопряженной системе образуют трехмерные сети, что позволяет получать желаемые углеродные материалы без использования подложек (темплатов). При этом формирование развитой пористости происходит исключительно за счет структуры исходного полимера.

Традиционные методы синтеза МСП включают металл-катализируемые реакции кросс-сочетания, а также азид-алкиновое циклоприсоединение. Сопряженные пористые сетки, содержащие в своей структуре гетероатомы (N, B, S, P и др.), позволяют непосредственно при последующей карбонизации получать допированные углеродные материалы. Интерес к внедрению атомов азота значительно выше по сравнению с внедрением других гетероатомов по следующим причинам: азот не искажает геометрию в структуре материала в связи с близким к углероду значением атомного радиуса, а также дает возможность изменять свойства материала, поскольку может существовать в углеродной решетке в нескольких различных конфигурациях (Рисунок 1).

Несмотря на значительные достижения в области получения разнообразных МСП, основные подходы подразумевают проведение синтеза в высоко чистых условиях в присутствии дорогостоящих катализаторов. Таким образом, актуальной задачей является разработка более технологичных и экономически эффективных методов, открывающих доступ к масштабируемому получению углеродных материалов с заданными характеристиками.



**Рисунок 1.** Конфигурации атомов азота в N-допированном углеродном материале.

Список литературы:

- F. Xu, D. Wu, R. Fu, B. Wei, Mater. Today, 2017, 20, 629-656.
- Y. Xu, S. Jin, H. Xu, A. Nagai, D. Jiang, Chem. Soc. Rev., 2013, 42, 8012-8031.
- M. Inagaki, M. Toyoda, Y. Soneda, T. Morishita, Carbon, 2018, 132, 104-140.
- In-Y. Jeon, H-J. Noh, J-B. Baek, Chemistry an Asian Journal, 2020, 15, 2282-2293.

**Автор:**

(Бубнова А.С.), 19.03.26

**Основной докладчик:**

(Ковалева М.А.), 19.03.26