

М. С. Юнусов (д.х.н., акад. РАН), Л. Х. Файзуллина (д.х.н., проф. АН РБ., зам. дир.),
В. З. Мингалеев (д.х.н., проф. АН РБ., зам. дир.), Р. Л. Сафиуллин (д.х.н., сов. дир.),
Р. А. Хуснутдинов (к.х.н., и.о. дир.)

ВАЖНЕЙШИЕ ДОСТИЖЕНИЯ УФИМСКОГО ИНСТИТУТА ХИМИИ УФИЦ РАН

*Уфимский институт химии Уфимского федерального исследовательского центра РАН
450054, г. Уфа, пр. Октября, 71; e-mail: chemzsci@anrb.ru*

M. S. Yunusov, L. Kh. Faizullina, V. Z. Mingaleev, R. L. Safiullin, R.A. Khusnutdinov

THE MOST IMPORTANT ACHIEVEMENTS OF THE UFA INSTITUTE OF CHEMISTRY OF THE UFRC OF THE RAS

*Ufa Institute of Chemistry of the Ufa Federal Research Centre of the RAS
71, Prospekt Oktyabrya Str., 450054, Ufa, Russia; e-mail: chemzsci@anrb.ru*

Созданный в 1951 году на базе Сектора химии Башкирского филиала Академии наук СССР, в настоящее время Уфимский Институт химии является обособленным структурным подразделением ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр» Российской академии наук (УФИХ УФИЦ РАН). УФИХ УФИЦ РАН стал широко известным научным учреждением благодаря исследованиям в области биоорганической химии, направленного синтеза органических соединений, каталитического синтеза и модификации полимеров, кинетики и механизма окислительных процессов, люминесцентных реакций, электрохимии и физикохимии растворов. Научные исследования Института очень разнообразны и концентрируются вокруг трех основных направлений: органическая и биоорганическая химия, физическая химия, химия полимеров. Во всех трех направлениях проводятся как фундаментальные, так и прикладные исследования. За 2014–2024 гг. в Уфимском Институте химии опубликовано 1987 научных работ, в данном обзоре будут приведены результаты лишь некоторых работ.

Ключевые слова: высокомолекулярные соединения; научные исследования; органическая и физическая химия; электрохимия

Лаборатория биоорганической химии и катализа (заведующий лабораторией д.х.н., проф., академик АН РБ Докичев В.А.)

Под руководством академика РАН М.С. Юнусова в УФИХ УФИЦ РАН разработан и прошел доклинические испытания антиаритмический препарат Алаглурин, представляющий собой супрамолекулярную систему лаппаконитин

The Ufa Institute of Chemistry is a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. Established in 1951 on the basis of the Chemistry Sector of the Bashkir Branch of the USSR Academy of Sciences, Ufa Institute of Chemistry has become a well-known scientific institution thanks to research in the field of bioorganic chemistry, targeted synthesis of organic compounds, catalytic synthesis and modification of polymers, kinetics and mechanism of oxidative processes, luminescent reactions, electrochemistry and physico-chemistry of solutions. The Institute's scientific research is very diverse and focuses on three main areas: organic and bioorganic chemistry, physical chemistry, and polymer chemistry. Both fundamental and applied research is conducted in all three areas. In 2014–2024, 1987 scientific papers were published at the Ufa Institute of Chemistry, and this review will present the results of only some of the papers.

Key words: electrochemistry; high-molecular compounds; organic and physical chemistry; scientific research

(рис. 1), глицирризиновая кислота и 6-метилурацил. Полученный препарат в 2–3 раза более активен и в 2 раза менее токсичен в сравнении с аллапинином, обладает практически тем же спектром действия, но отличается от последнего тем, что проявляет выраженные антиоксидантные свойства, положительный инотропный, противовоспалительный и антигипоксический эффекты, более эффективный и со значительно сниженными побочными эффектами¹.

Дата поступления 24.01.25

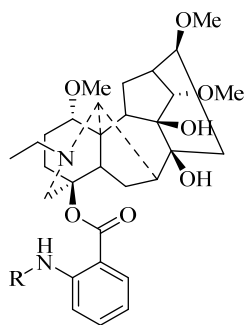


Рис. 1. Новое антиаритмическое лекарственное средство для инъекции на основе алкалоида лаппаконитина:
 $R = \text{Ac}$ – лаппаконитин (д.в. препарата Аллапинин);
 $R = \text{H}$ – *N*-деацетиллаппаконитин

Предложена инъекционная форма антиаритмического средства, действующим веществом которой является основной метаболит препарата Аллапинин – *N*-деацетиллаппаконитин в виде моногидрохлорида (ДАЛ-НСI). Разработан способ получения моногидрохлорида в кристаллической форме.

ДАЛ-НСI обладает лучшей растворимостью в воде по сравнению с Аллапином, в 2 раза менее токсичен, реализует свое антиаритмическое действие в дозе в 20 раз меньше, чем таковые для аллапинина, в отличие от Аллапинина ингибирует не только Na^+ , но и K^+ каналы, что позволяет отнести его к наиболее востребованному 3 классу антиаритмиков, приводит к значительно более быстрому купированию аритмии и восстановлению нормального синусового ритма^{2,3}.

Д.х.н. Л.А. Балтиной осуществлен селективный синтез аминокислотных и дипептидных конъюгатов глицирризиновой кислоты (ГК) (**1**) – основного сапонина корней солодки голой и уральской (*Glycyrrhiza glabra* L., *Gl. uralensis* Fisher), среди которых обнаружены высокоэффективные ингибиторы флавивируса Денге (рис. 2). Синтезированы производные ГК – мощные ингибиторы основной протеазы Mpro SARS-CoV-2

дикого типа и его мутантных вариантов (Омикрон, Mpro_P132H, Mpro_E166V, Mpro_P168A, Mpro_Q189I), которые перспективны в качестве новых противовирусных препаратов для лечения коронавирусных инфекций⁴. Синтезированы А-модифицированные серо- и азотсодержащие производные 18 β -глицирретиновой кислоты с высокой эффективностью ингибирующие инфекционность вируса Зика.

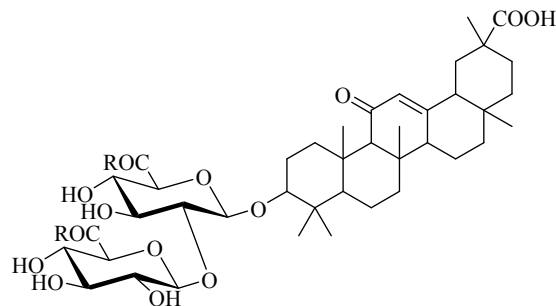


Рис. 2. Соединения-хиты – ингибиторы флавивирусов Денге и SARS-CoV-2: 1 – $R = \text{H}$; 2 – $R = \text{D-ValOMe}$; 3 – $R = \text{TyrOMe}$; 4 – $R = \text{D-TyrOMe}$; 5 – $R = \text{PheOEt}$; 6 – $R = \text{Glu(OMe)}_2$; $R = \beta\text{-AlaOEt}$

Под руководством к.х.н. И.П. Цыпышевой осуществлены синтетические трансформации вторичного метаболита растений семейства бобовых (*Fabaceae*) хинолизининового алкалоида (–)-цитизина, получены его новые галоид-, нитро-, amino-, формил- производные. На основе типичных для введенных функциональных групп превращений проведены трансформации «второго порядка»: получены сфокусированные библиотеки новых производных, содержащих амидные, тиамидные, карбоксамидные- и тиокарбоксамидные, арильные, алкильные, алкенильные, алкинильные и азометиновые фрагменты различной топологии включая «бимолекулярные»⁵ продукты (рис. 3).

Показана возможность вовлечения 12-*N*-карбоксамид (–)-цитизина в реакцию аза-Михаэля в

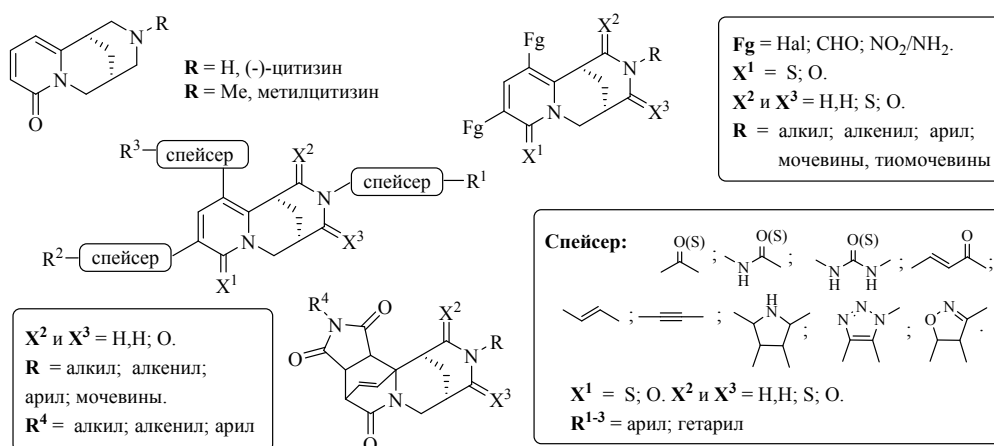


Рис. 3. Новые производные (–)-цитизина

условиях статических высоких давлений (СВД) от 10 до 16 тысяч атмосфер, приводящую к несимметричным «цитизинзамещенным» мочевинам, несущим в своей структуре кето-, нитро- и сложнэфирные группы. Реализован синтез конъюгатов производных (–)-цитизина с урацилами, урокановой кислотой и ферроценом⁶. Впервые на основе реакций [4+2]-циклоприсоединения осуществлены скелетные трансформации алкалоидов структурной группы (–)-цитизина (леонтидина и термопсина), 2-оксо- и 4-оксометилцитизина; получены их аддукты Дильса-Альдера с N-замещенными имидами малеиновой кислоты. Показано влияние строения алкалоида на стереохимический результат [4+2]-циклоприсоединения (вплоть до стереоспецифического). Среди синтезированных производных выявлены образцы, способные подавлять метаболическую активность опухолевых клеточных линий – Jurkat (лимфобластный лейкоз), A549 (карцинома легкого), MCF-7 (аденокарцинома молочной железы) и SH-SY5Y (нейробластома)⁶. Найдены перспективные образцы с выраженными противовоспалительными, ноотропными, антигипоксическими, антигликемическими, анксиолитическими, антиагрегационными свойствами, а также ингибиторы репродукции вирусов гриппа A/H1N1, парагриппа HPIV, лихорадки Денге DENV1 и DENV2, а также некоторых коронавирусов, включая SARS-CoV-2.

К.х.н. Н.Н. Гибадуллиной и д.х.н. В.А. Докичевым разработаны основные методологические принципы и новые препаративные методы направленного синтеза полифункционализированных моно-, би- и тригетероциклических соединений (гексагидропиримидинов, 1,2,3,4-тетрагидро-

пиридинов, 1,3,5-триазинов, гексагидроимидазо[1,2-а]пиридинов, 1,1'-(α,ω -алкандиол)бис(1,2,3,4-тетрагидропиридинов), 3-аза- и 3,7-диазацикло[3.3.1]нонанов с использованием СН-кислот (этилацетоацетата, 3-оксобутанамида, этил 4,4-дифторацетоацетата, 1,1-дифторпентан-2,4-диона и 1,1,5,5-тетрафторпентан-2,4-диона и т.д.), первичных алкил- и ариламинов, α -аминокислот, циклических аминалей и формальдегида⁷. Созданная методология предусматривает потенциальную возможность направленного построения заданной гетерополициклической структуры, содержащей в качестве заместителей или непосредственно в циклической системе сложнэфирные, фторацетильные, этаноламиновые, 1,3-пропилендиаминовые и/или β -фенилэтиламиновые фрагменты, представляющих интерес для создания широкого круга материалов, обладающих ценными физическими и биологическими свойствами. Разработан новый однореакторный метод синтеза полифункциональных 1,2,3,4-тетрагидропиридинов и гексагидроимидазо[1,2-а]пиридинов, протекающей в воде в присутствии электролитов (NaCl, KCl, NH₄Cl) при комнатной температуре⁸. Экологически чистый метод отличается атомной экономичностью, поскольку единственными побочными продуктами являются три молекулы воды, протекает в водной среде и не требует органических растворителей. Предложен однореакторный селективный метод синтеза диастереомерно чистых N-замещенных производных природных аминокислот, содержащих гексагидропиримидиновый фрагмент, с выходами 71–89 % в условиях реакции Манниха при комнатной температуре⁹. Взаимодействием диэтилового эфира 1,3-ацетон-

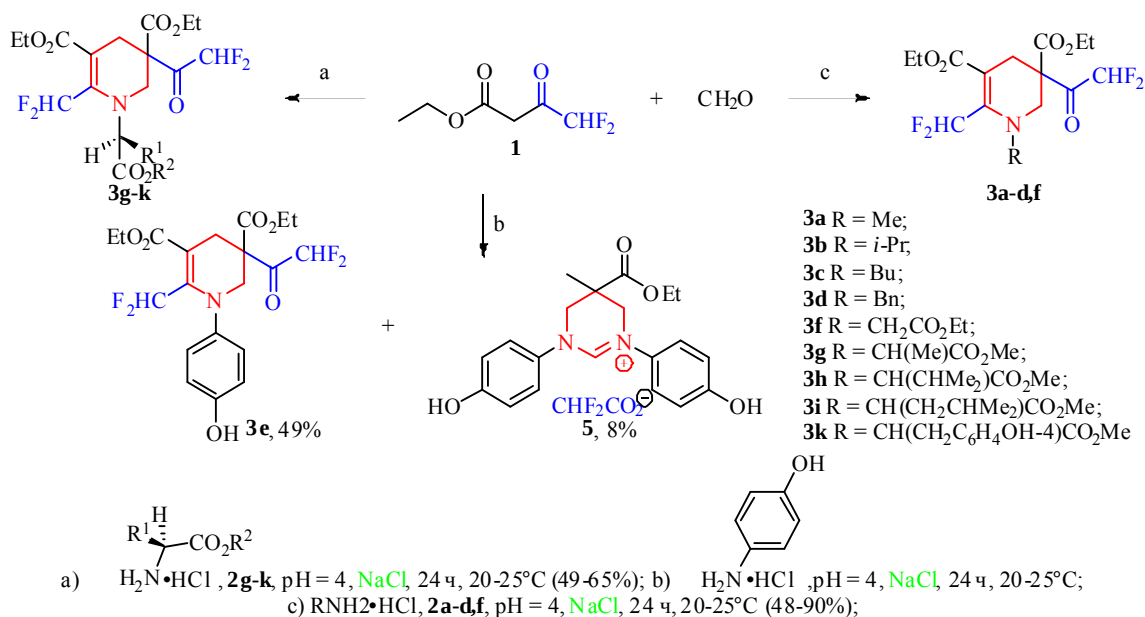


Рис. 4. Однореакторный метод синтеза дифторметилсодержащих 1,2,3,4-тетрагидропиридинов

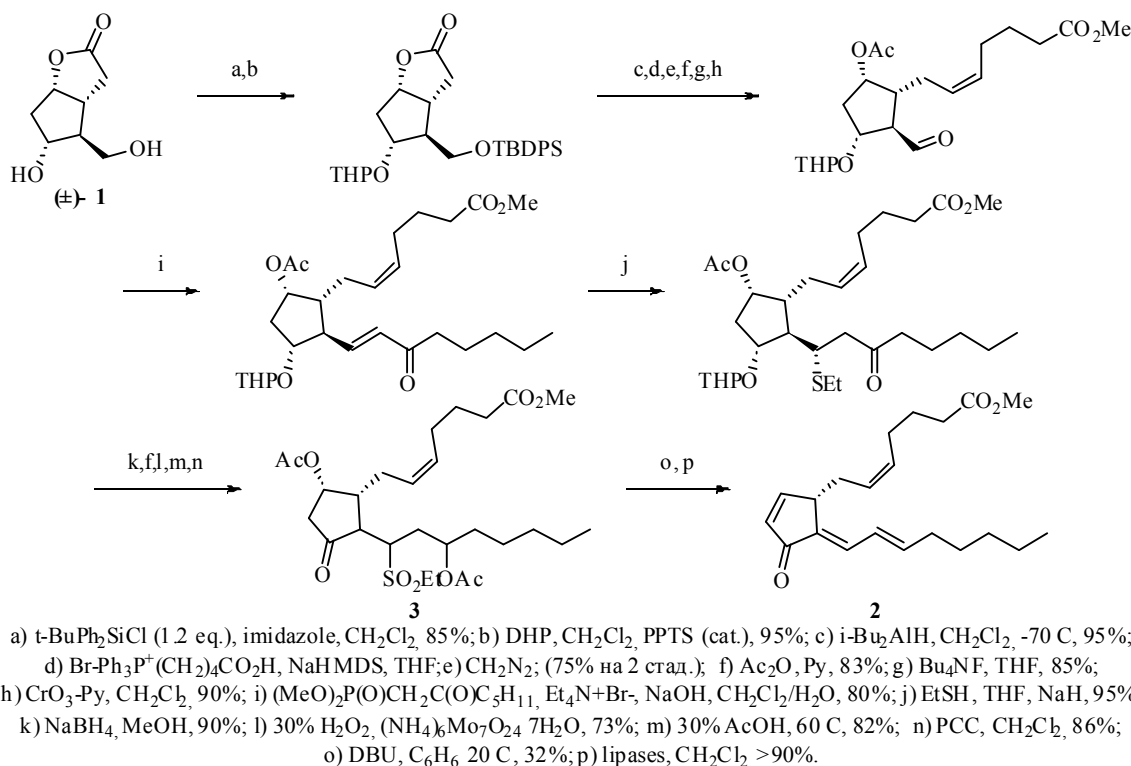


Рис. 5. Полный синтез 15-дезоксид- $\Delta^{12,14}$ -простагландина J_2 из лактона Кори

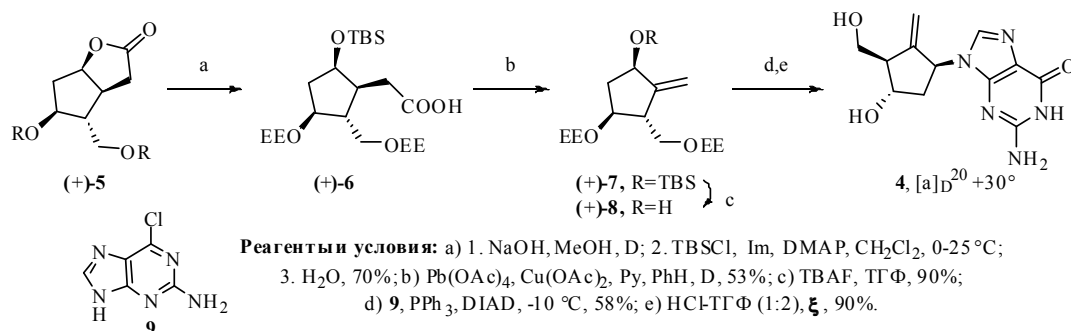


Рис. 6. Полный синтез карбануклеозида Энтекавира из лактона Кори

дикарбоновой кислоты с формальдегидом и гидроклоридами эфиров (*R*)-аланина, (*R*)-валина, (*R*)-лейцина и (*R*)-фенилаланина с выходами 37–85 % получены хиральные 3,7-дизабицикло[3.3.-1]нонан-9-онаны, содержащие (*R*)-аминокислотные фрагменты.

Среди группы синтезированных полифункциональных производных гексагидропиримидина, тетрагидропиридина, гексагидроимидазо[1,2-а]пиридина, 1,3,5-триазинана и комплексов тритерпеновых гликозидов с натриевой солью 5-фторурацила выявлены соединения обладающих широким спектром биологической активности, включая антиоксидантную, антибактериальную, противовирусную, и противораковую, на основе которых могут быть разработаны доступные, высокоэффективные и малотоксичные лекарственные средства.

Лаборатория синтеза низкомолекулярных биорегуляторов (заведующий лабораторией д.х.н., проф., академик АН РБ Мифтахов М.С.)

Под руководством М.С. Мифтахова на основе лактона Кори 1 разработаны оригинальные схемы синтезов:

а) 15-дезоксид- $\Delta^{12,14}$ -простагландина J_2 , (рис. 5), обладающего мощными неопластическими, противовоспалительными, противовирусными, противораковыми и нейродегенеративными свойствами. Ключевой этап синтеза – одностадийное превращение сульфона в кросс-сопряженную диеновую систему 15-дезоксид- $\Delta^{12,14}$ -PGJ₂¹⁰;

б) высокоактивного против вируса гепатита В карбануклеозида Энтекавира ($\text{ED}_{50} = 3 \text{ nM}$). Эффективность подхода обеспечивается получением в «one-pot» процедуре из дизащищенного производного (+)-лактона Кори предшественника ключевого экзометиленциклопентанового блока. Суммарный выход из лактона Кори ~10%¹¹.

Создан препарат для акушерства и гинекологии на основе стероида Мефипристона и нового простагландина 11-дезоксимизопростола, превосходящего по всем критериям (технология, фармакология) известные простагландиновые составляющие. Завершены доклинические исследования. Разработан лабораторный регламент и опытно-промышленный регламент для фармстанции и лекарственного средства, проведены токсикологические исследования.

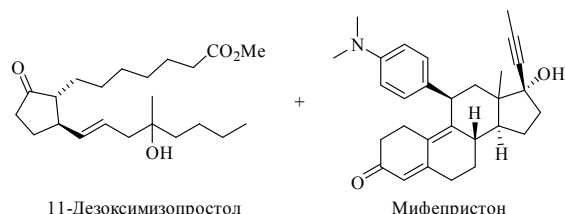


Рис. 7. Новый простагландиновый препарат для акушерства и гинекологии на основе 11-дезоксимизопростола

Получены новые фуллеренсодержащие мономеры норборненового типа, которые в паре с безфуллереновыми мономерами в молярном соотношении 1:1 метатезисной полимеризацией действием катализатора Граббса превращены в соответствующие растворимые в органических растворителях гомо- и блок-сополимеры для использования в фотовольтаических устройствах ¹².

Завершен проект полного синтеза хирального 10-11-дидегидроаналога эпотилона *D* **10** с изостерическим замещением на участке C¹⁵–C³ природных эпотилонов (рис. 8). В качестве источников хиральности использованы *R*-(–)-карвон, *R*-(–)-пантолактон и *S*-(+)-оксазолидин-2-он

Эванса. Ключевая стадия – катализируемое метатезисное циклозамыкание ациклического сложного эфира **11** катализатором Граббса второго поколения. Отличительная особенность подхода – вовлечение в структуру блока *Z*-тризамещенной двойной связи из *R*-(–)-карвона. Число стадий в расчете на *R*-(–)-карвон – 16, выход **10** – 1.1%. Новый аналог эпотилона *D* цитотоксичен и является перспективной структурой в поиске противораковых агентов с таксолоподобным механизмом действия ¹³.

Лаборатория фармакофорных циклических систем (заведующий лабораторией д.х.н., проф. АН РБ Файзуллина Л.Х.)

С 1985 года в Уфимском институте химии под руководством д.х.н., проф. Ф.А. Валеева ведутся научные исследования по изучению синтетического потенциала левоглюкозенона, получаемого пиролизом целлюлозы. За 40 лет по этой тематике защищены 1 докторская, 12 кандидатских диссертаций, осуществлены синтезы более 500 новых производных левоглюкозенона, которые опубликованы в открытой печати. В этом обзоре будут приведены лишь некоторые результаты исследований этого уникального углеводного енона за последние 10 лет.

Так, на основе аддукта Дильса-Альдера левоглюкозенона и пиперилена разработана схема 26-стадийного химического синтеза аналога «морского» цитотоксического саркодиктиина *A* с 14-метилциклогексеновым циклом *A*, ключевой стадией которой является внутримолекулярная ацетилен-альдегидная конденсация в 10-членный карбоцикл боковых цепей при метилциклогексеновом ядре (рис. 9) ¹⁴.

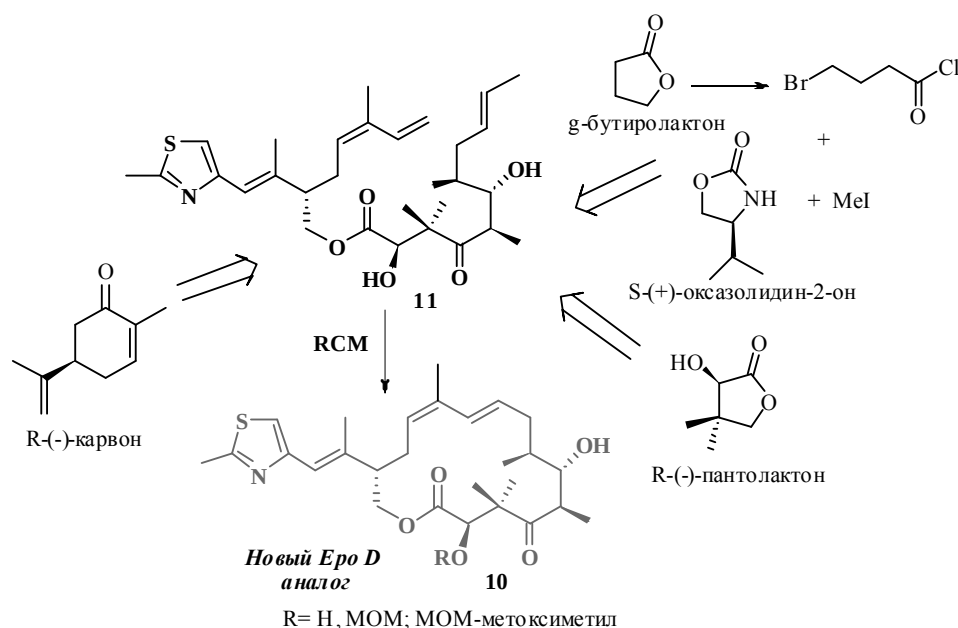


Рис. 8. Полный синтез хирального 10,11-дидегидроаналога эпотилона *D*

На основе диастереомерных аддуктов Михаэля левоглюкозенона и циклоalkanонов разработаны синтезы лактонов, в том числе аналога природного форакантонида. Создание лактонного цикла основано на расщеплении С–С-связи, что исключает условия сильного разбавления, необходимые для внутримолекулярной лактонизации. Схема адаптирована для синтеза других лактонов, включая макролиды. Проблему спонтанной кетализации циклогексанового фрагмента, осложняющей использование разработанной ранее схемы синтеза лактонов для получения нативных прототипов, удалось решить только путем восстановления кето-группы с ее регенерацией после стадий манипуляций защитными группами и операций по введению метильной группы в ω -положение будущего лактона (рис. 10). Все последующие стадии укладываются в ранее разработанную схему синтеза лактонов¹⁵. Изучены биологические свойства лактонов, выявлены лидеры.

На сегодняшний день под руководством Файзуллиной Л.Х. продолжаются научные исследования в области применения левоглюкозенона и его производных в синтезе хиральных биологически активных соединений и их аналогов.

Лаборатория биорегуляторов насекомых (заведующий лабораторией д.х.н., проф. Ишмуратов Г.Ю.)

Под руководством д.х.н. Г.Ю. Ишмуратова созданы разнообразные феромонные препараты для борьбы с хлопковой совкой и непарным шелкопрядом. В 2024 году в Институте изготовили 10 000 феромонных клеевых ловушек, которые совместно с Горзеленхозом успешно применили для борьбы с непарным шелкопрядом *Lymantria dispar* на территории зеленых насаждений городских лесов уфимского городского лесничества (рис. 11).

Предложен одnoreакторный способ превращения алкенов в соединения с $-C=N$ -группой, предполагающий последовательность «окисление

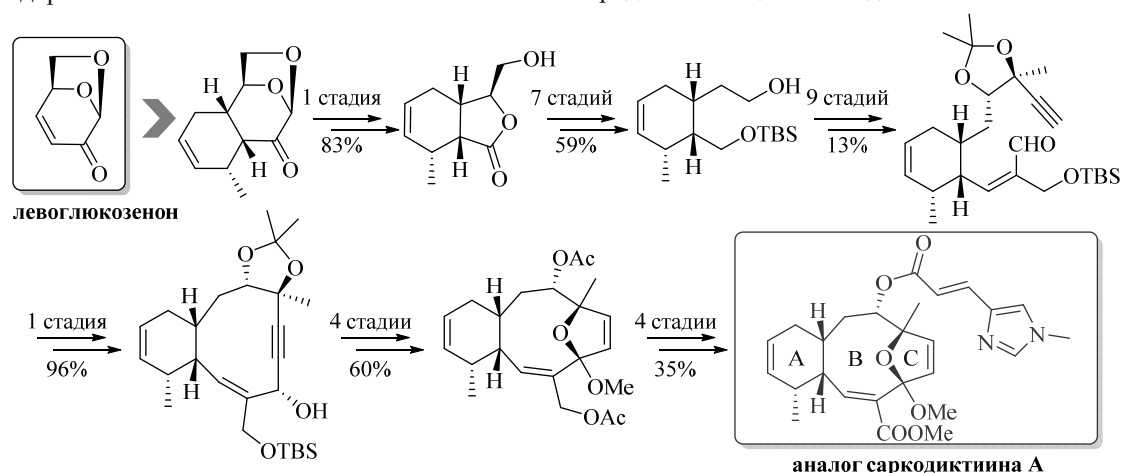


Рис. 9. Полный синтез 4-аналога саркодиктинина А с метилциклогексеновым кольцом А, для определения степени влияния модифицированного цикла А на цитотоксическую активность элеутезидов

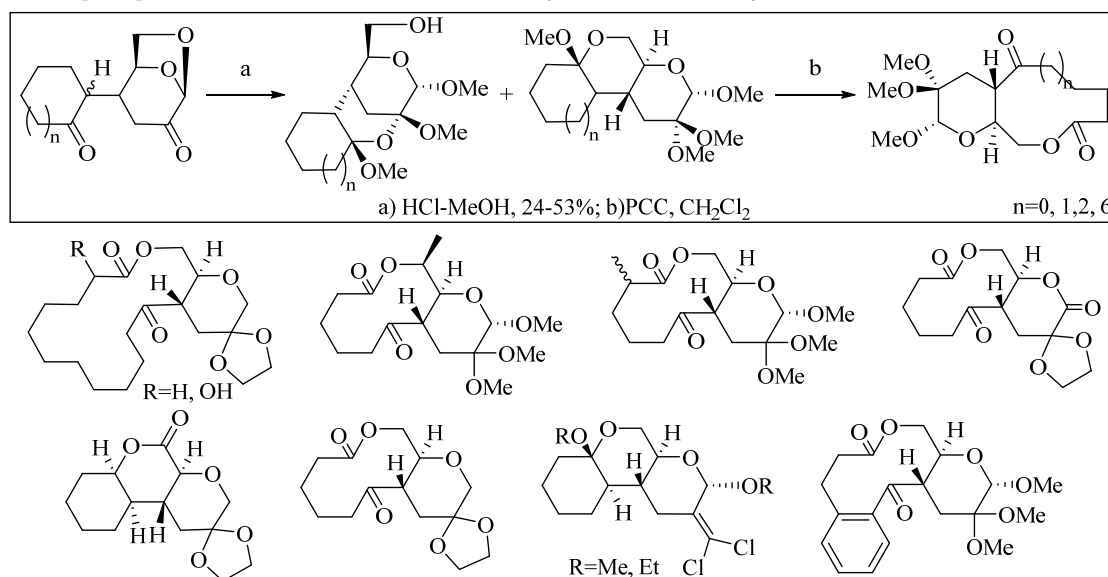


Рис. 10. Лактоны, полученные из левоглюкозенона

алкена озоном, восстановление до карбонильного соединения гидроксиламином/производным гидразина, конденсация карбонильного соединения с гидроксиламином/производным гидразина» и позволяющий исключить стадию получения и выделения карбонильного соединения. При этом используются или сами гидразины/гидроксиламин, или их гидрохлориды в смеси ацетатом натрия. С применением данного метода получены фенилгидразоны, оксимы, семикарбазоны и ацилгидразоны из изоникотиновой кислоты – потенциально биологически активные соединения, а также перспективные субстраты для органического синтеза^{16–18}.



Рис. 11. Феромонные ловушки для борьбы с хлопковой совкой и непарным шелкопрядом *Lymantria dispar*

Лаборатория органических функциональных материалов (заведующий лабораторией д.х.н., проф., академик АН РБ Мустафин А.Г.)

В лаборатории ОФМ под руководством д.х.н. А.Г. Мустафина проводятся исследования по разработке способов синтеза и изучению физико-химических свойств новых электропроводящих сопряженных полимеров. Так, был получен большой ряд новых производных полианилина (ПАНИ) путем модификации ароматического и аминного фрагментов ариламинного мономера введением различных алкильных, (цикло)алкенильных заместителей, а также варьированием условий окислительной полимеризации, таких как допирующие и окисляющие агенты, соотношение (со)мономеров с целью настройки физико-химических свойств получающихся полимеров. Для всего ряда полученных полимеров были изучены физико-химические свойства и показана возможность практического применения в датчиках влажности резистивного типа, адсорбентов и антибактериального агента¹⁹.

Также были получены различные композиты ПАНИ с многостенными углеродными нанотрубками и серой. Полученные материалы были исследованы в качестве катодов для литий-ионных

аккумуляторов. Результаты, полученные для различных систем, показали, что использование как углеродных нанотрубок (УНТ), так и серы благоприятно для электродных материалов на основе ПАНИ и позволяет повысить стабильность циклирования, обратимость окислительно-восстановительных процессов и увеличить емкость. В результате композит УНТ/S/ПАНИ продемонстрировал удельную разрядную емкость 165 мАч/г при плотности тока 100 мА/г и среднем потенциале разряда 2.4 В.

Впервые выполнены полимераналогичные превращения синтезированных нами производных полианилина путем внутримолекулярной циклизации под действием полифосфорной кислоты с получением ранее неопisanного ряда полииндола с 1,5-присоединением мономерных звеньев. Изучение свойств новых полииндолов показало, что они обладают высокой фотопроводимостью и превосходят по указанным показателям исходные полимеры (рис. 12)²⁰.

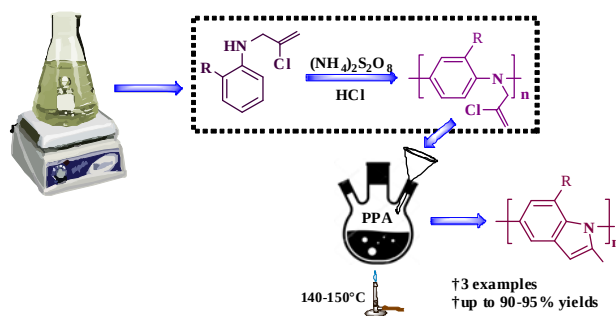
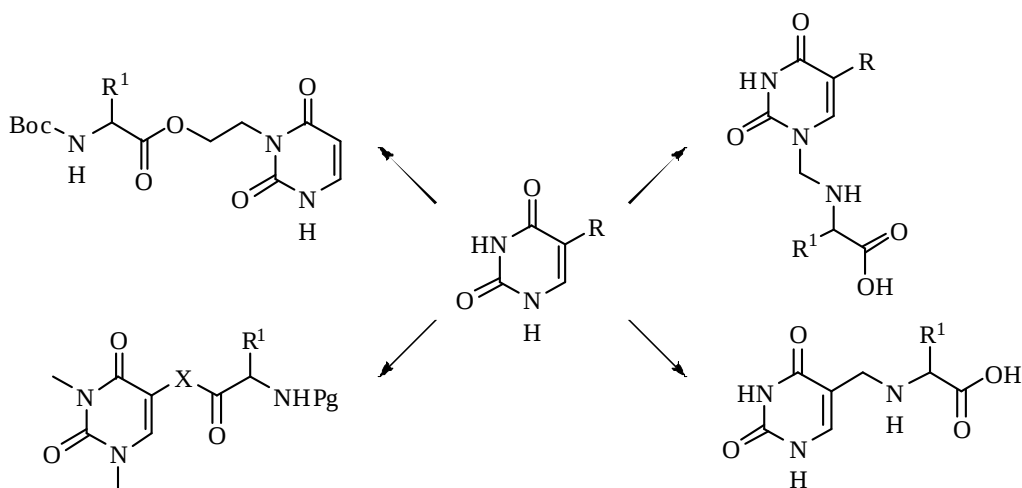


Рис. 12. Синтез производных полииндола

Многолетними исследованиями аминоксигруппировки Кляйзена в ароматическом ряду установлены основные структурные, кинетические, термодинамические закономерности протекания реакции и обобщены в работе²¹.

Синтезирован ряд гибридных молекул на основе 6-метилурацила и природных аминокислот, перспективных в качестве препаратов с антиоксидантной и противовоспалительной активностью²².

Лаборатория полимерной химии (заведующий лабораторией д.х.н., проф. АН РБ Мингалеев В.З.) проводит фундаментальные и прикладные исследования механизмов синтеза, модификации и свойств полимеров. Исследования лаборатории являются развитием научной школы академика РАН Ю.Б. Монакова (заведующий лабораторией стереорегулярных полимеров УФИХ УФИЦ РАН с 1971 по 2011 гг.), работы которого в области каталитической полимеризации диеновых мономеров получили мировое признание.



Pg = H, Boc, Phth; X = NH, O; R = H, OH, NH₂; R¹ = H, CH₃, CH₂CO₂H, CH₂CH₂CO₂H, CH₂CH₂SCH₃

Рис. 13. Гибридные молекулы на основе 6-метилурацила и природных аминокислот

Одним из центральных вопросов полимеризации под действием металлоорганических катализаторов является вариативность строения активных центров (АЦ), т.е. полицентровость катализаторов. В результате проведенных исследований установлено влияние взаимодействия между поверхностью частиц β -TiCl₃ и жидкой фазой (ЖФ) в классическом катализаторе TiCl₄-Ali-Bu₃ на его дисперсность и закономерности полимеризации изопрена²³. Отделение ЖФ катализатора и последующая обработка катализатора растворителем приводят к снижению диаметра частиц β -TiCl₃ с 1.23 до 0.45 мкм. Уменьшение размера частиц сопровождается значительным падением активности катализатора, его 1,4-*цис*-специфичности и средней молекулярной массы полиизопрена. Показано, что эти эффекты обратимы. При повторном добавлении АОС и жидкой фазы к суспензии частиц β -TiCl₃ активность, 1,4-*цис*-специфичность катализатора и средняя молекулярная масса полиизопрена повышаются в ряду



В том же ряду размер частиц катализатора возрастает практически до исходной величины ~1.23 мкм. Обнаруженные закономерности являются следствием существования в катализаторе двух групп центров полимеризации. К первой относятся центры, локализованные на поверхности кристаллических участков частиц β -TiCl₃. Их строение соответствует моно металлической модели Косси. Монометаллические поверхностные АЦ характеризуются невысокой активностью и низкой 1,4-*цис*-специфичностью в полимеризации изопрена. Ко второй группе относятся биметаллические АЦ, которые формируются в аморфных участках агломератов частиц β -TiCl₃ (рис. 14). Эти центры отличаются высокой реакцион-

ной способностью и 1,4-*цис*-специфичностью. Вклад биметаллических АЦ повышается при увеличении размера частиц β -TiCl₃ в процессе экспозиции катализатора, что сопровождается увеличением его активности. В свою очередь, увеличение размера частиц обусловлено их агрегацией в результате взаимодействия с ЖФ катализатора, благодаря чему в аморфных участках агрегатов формируются биметаллические АЦ.

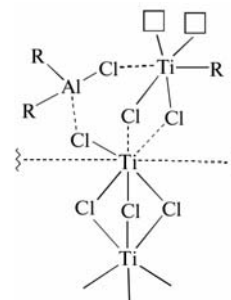


Рис. 14. Строение высокоактивного АЦ полимеризации, который формируется при взаимодействии частиц β -TiCl₃ с жидкой фазой катализатора

Использование *p*- и π -электронодонорных модификаторов для полицентровых титановых и неодимовых катализаторов, снижение температуры приготовления и модификация поверхностной структуры микрогетерогенных частиц в турбулентных потоках позволяют создать условия для трансформации полицентровых систем в моноцентровые²⁴. Это позволяет более целенаправленно регулировать молекулярные характеристики полимеров на фоне высокой активности катализатора. Несмотря на различную природу атомов переходного металла и различный композиционный состав многокомпонентного катализатора, полимеризация изопрена протекает на АЦ одного типа ($\ln M = 13.4$). Этот тип центров

для титановых и неодимовых катализаторов имеет одинаковую вероятность ограничения роста цепей, несмотря на существенные различия в рабочих концентрациях катализатора и соотношении катализатор/сокатализатор. При этом влиять на кинетическую неоднородность каталитических систем можно путем гидродинамического воздействия как на предварительно полученный микрогетерогенный катализатор (TiCl_4 -ТИБА), так и на исходный микрогетерогенный компонент каталитической системы ($\text{NdCl}_3 \times n\text{ИПС}$).

Полученные результаты позволили предложить и обосновать новые технические способы модификации микрогетерогенных титановых, неодимовых и гадолиниевых катализаторов, которые были внедрены в производство изопренового каучука различных марок на АО «Синтез-Каучук» (г. Стерлитамак). Активация высокоактивных центров полимеризации под действием турбулентных пульсаций сплошной среды приводит к повышению активности катализатора, снижению его расходных норм, улучшению молекулярной структуры и эксплуатационных параметров 1,4-*цис*-полиизопрена. Этот цикл работ был удостоен Премии Правительства Республики Башкортостан в области науки и техники за 2019 год.

В лаборатории полимерной химии УФИХ УФИЦ РАН проводятся исследования по модификации природных и синтетических полимеров для получения физически и химически сшитых гидрогелей, которые являются одними из наиболее изучаемых объектов в химии полимеров из-за их многообещающих свойств для использования в современных биомедицинских технологиях. Показано образование полимерных комплексов за счет водородных связей между макромолекулами пектина и арабиногалактана²⁵. Сшивание этого комплекса с помощью ионов кальция приводит к образованию гидрогелей, свойства которых в значительной степени определяются присутствием арабиногалактана. С увеличением содержания арабиногалактана происходит пропорциональное снижение величины равновесного набухания гидрогелей. Модификация пектиновых гидрогелей арабиногалактаном может рассматриваться как эффективный способ регулирования способности к набуханию, что важно для применения гидрогелей в качестве имплантов. Получены гидрогели хитозана, сшитые 5-норборнен-2,3-дикарбоновой кислотой²⁶. Частотные зависимости модуля накопления и модуля потерь обработаны обобщенной вязкоупругой моделью Максвелла, что позволило рассчитать модуль сдвига и параметры молекулярного строения гидрогелей. Установлено, что полученные гидрогели характеризуются ионной

природой сшивок и не слишком высокими значениями модуля сдвига, которые можно регулировать с помощью концентрации кросс-линкера в пределах от 134 до 966 Па. При этом частота сшивок изменяется в пределах от 0.05 до 0.39 моль/м³, а размер ячеек изменяется в пределах от 20 до 38 нм. Полученные гидрогели перспективны в качестве платформ для создания тканеподобных мягких материалов с контролируемым упругим откликом и инъекционных форм гидрогелевых препаратов.

Одним из интересных объектов исследования лаборатории полимерной химии являются термостойкие полимеры на основе полиариленфталидов. Получены новые «макромономеры» – диарилендифталиды симметричного и не симметричного строения, на основе которых синтезированы новые сополиариленфталиды периодического строения с электронодонорными и электроноакцепторными блоками различной длины, склонные к избирательной адсорбции различного класса органических низкомолекулярных соединений, и пригодные для изготовления хемосенсоров в системах распознавания типа «электронный язык». Впервые получены сополиариленфталиды, содержащие в полимерной цепи структуры, построенные по типу присоединения «голова к голове» (ГГ) и «голова к хвосту» (ГХ). Синтезирована серия сополимеров дифенилоксидного ряда с различным соотношением дифталидных ГГ и фталидных ГХ групп. Показано, что введение дифталидных групп приводит к увеличению физико-механических и адгезионных характеристик образующихся сополимеров. При значительном преобладании одной из структур пленки сополимеров изотропные и хрупкие, а при промежуточных соотношениях дифталидных и фталидных групп (1:20–30) – микрофазно-разделенные и прочные. Синтезирован широкий круг диастереомерных пар биарил-3,3'-дифталидов с ароматическими (гетероароматическими) заместителями полифениленового ряда, большая часть из которых разделена и охарактеризована методами РСА, ВЭЖХ, ИК-, ЯМР ¹H и ¹³C. Такие соединения представляют собой новые мономеры для получения полигетероариленов с дифталидной группой в полимерной цепи, которые могут быть использованы в производстве термостойких конструкционных материалов. Сильное отталкивание электроотрицательных атомов кислорода в смежных фталидных группах биарил-3,3'-дифталидов приводит к заторможенности вращения вокруг С3–С3' связи и, как следствие, к появлению стабильных конформеров (ротамеров) этих соединений. В случае рацемических (*R*^{*},*R*^{*})-диастереомеров – это конформеры с эритроидным расположением

фталидных групп (*цис*-ротамеры), у которых диэдральный угол $\text{Ar}-\text{C3}-\text{C3}'-\text{Ar}'$ принимает, согласно результатам РСА, значения от ~ 40 до $\sim 52^\circ$, а в случае мезо (R^*, S^*)-дифталидов – треоидные конформеры (*транс*-ротамеры) с диэдральным углом 180° . Установлено, что цисоидная форма рацемических и трансоидная форма мезо-биарил-3,3'-дифталидов сохраняются в растворе ²⁷.

Предложен новый способ синтеза дикетокислот и их псевдохлорангидридов заключающийся во взаимодействии ароматических бис-фенолов с 2-(4-фторбензоил)бензойной кислотой, который протекает по механизму нуклеофильного замещения. Самополиконденсацией псевдохлорангидридов получены новые полиарилендифталиды с двумя простыми эфирными группами в основной цепи, два из которых (на основе бисфенола А и резорцина) демонстрируют переход в высокоэластическое состояние. Показано, что введение между дифталидными группами более протяженных конформационно-подвижных гетероароматических фрагментов с двумя шарнирными атомами позволяет варьировать температуры стеклования и тем самым расширяет области работоспособности полиариленфталидов, полиарилендифталидов и их сополимеров.

Лаборатория химической кинетики (заведующий лабораторией д.х.н. Сафиуллин Р.Л.)

Под руководством д.х.н. Сафиуллина Р.Л. при исследовании механизма фотоокисления 2-метил-4-[(2E)-1-метилбут-2-ен-1-ил]фенилазида была обнаружена новая окислительно-восстановительная перегруппировка нитрозооксида, которая имеет место при наличии метильного заместителя в *орто*-положении по отношению к нитрозооксидной группе. Терминальный атом кислорода *цис/син*-формы нитрозооксида отрывает H-атом заместителя с образованием гидропероксинитрена, который далее изомеризуется путем миграции гидроксильного радикала к метиленовой группе в нитрозобензиловый спирт ²⁸.

Обнаружено, что фотоокисление ароматических азидов, содержащих в *пара*-положении вторичную аминогруппу, приводит к азотсодержащим гетероциклическим оксимамам. Оксими образуются через последовательность тандемных домино-превращений в результате внутримолекулярной трансформации нитрилоксидов – интермедиатов реакции. Пиррольный цикл формируется при присоединении атома углерода нитрилоксидной группы к третичному атому азота таутомерной формы аминного остатка. Такой тип изомеризации нитрилоксидов обнаружен впервые.

Синтезированы новые 4-[(алкилсульфанил)-метил]-1H-пиразолы взаимодействием 3-[(алкилсульфанил)метил]пентан-2,4-дионо

нитрофенилгидразином, гидрамидами никотиновой и изоникотиновой кислот. Реакция 3-[(алкилсульфанил)метил]пентан-2,4-дионо с гидразидом никотиновой кислоты в среде карбоновых кислот сопровождается переацилированием и образованием 3,5-диметил-4-[(алкилсульфанил)метил]-1-ацил-1H-пиразолов ²⁹.

Пиримидин-4(3H)-оны, обладают широким спектром действия и могут стимулировать процесс регенерации нервной, костной и эпителиальной тканей. Синтезированные производные, эффективность которых значительно превосходит известные препараты, такие как 6-метилурацил и 5-гидрокси-6-метилурацил. Получены новые 6-ферроценилпиримидин-4(3H)-оны и установлено, что они обладают выраженными противоопухолевыми свойствами. Сделан вывод, что структура пиримидинового основания важна для разработки новых противоопухолевых препаратов ³⁰.

Было найдено, что 1,1-дигидропероксициклогексан (циклонокс) способен селективно окислять сульфиды до сульфоксидов. Установлены оптимальные условия для проведения окисления, выход целевого продукта достигает 96%. Метод оказался довольно универсальным, окисление протекает в мягких условиях (комнатная температура, отсутствие катализаторов) и позволяет использовать широкий спектр органических растворителей ³¹.

Лаборатория химической физики (заведующий лабораторией д.х.н., проф. Хурсан С.Л.)

Показано, что воздействие света на пленки полиариленфталидов инициирует фотофизические и фотохимические процессы, приводящие к образованию системы разделенных стабилизированных интермедиатов ион-радикальной природы ³². Релаксационные процессы обуславливают длительную люминесценцию, которую можно возбуждать также с помощью электрического тока. Обнаружено, что постоянное магнитное поле обратимо снижает интенсивность электролюминесценции. Это явление может иметь прикладное значение в оптоэлектронных устройствах для управления световыми потоками электролюминесценции с помощью магнитного поля.

Зарегистрированы и идентифицированы спектры флуоресценции (ФЛ) таутомеров производных 5-фторурацила (ФУ): 5-фторпиримидин-2,4(1H,3H)-дион (А), 5-фтор-2-гидрокси-пиримидин-4(3H)-он (В) и 5-фтор-4-гидрокси-пиримидин-2(1H)-он (D). Показано, что ФЛ редких таутомеров производных FU происходит путем возбуждения гомоассоциатов урацила с последующим внутримолекулярным переносом протонов (ВПП), образованием пары редких таутомеров и излучательной дезактивацией одного из них ³³.

Разработан метод коррекции неравновесных термодинамических характеристик жидкофазных реакций, в которых непосредственное участие принимают протонодонорные молекулы растворителя. Модель апробирована на реакциях гидратации, пероксидирования и енолизации. К результатам высокоуровневого *ab initio* и DFT расчета при достаточно гибкой сольватационной схеме может быть применена модель линейного масштабирования поверхности потенциальной энергии химической реакции, лежащая в основе уравнения Белла-Эванса-Поляни. Результаты работы, могут быть использованы для количественного описания реакционной способности органических соединений³⁴.

С помощью нейронных сетей в совокупности с гомологическим конструированием была построена трехмерная структура полноразмерного протонного M2 канала вируса гриппа штамма A/H1N1/PR/8/34. Протонный M2 канал относят к виропоринам – вирусным белкам, которые являются потенциальными биологическими мишенями для разработки новых противовирусных лекарств. В работе использовали уникальный собственный алгоритм, который представляет собой комбинацию методов молекулярного моделирования, опирающиеся на эмпирические данные и расчеты в силовых полях с расширенной параметризацией. Уточнение и коррекция элементов вторичной и третичной структур проводилось с помощью методов машинного обучения. Подобный подход может быть успешно применен для предсказания структуры виропоринов других вирусов.

Разработана экспертная система для предсказания индекса селективности малых молекул в отношении вируса гриппа штамма A/H1N1 с использованием методов машинного обучения³⁵.

Группа анализа неорганических и координационных соединений лаборатории ФХМА (заведующий лабораторией к.х.н. Салихов Ш.М.). Под руководством д.х.н. Ю.И. Муринова разработаны простые и эффективные методики синтеза ацилированных производных этиленовых аминов и 1-(2-алкиламидоэтил)-2-алкил-2-имидазолинов с α, α' -разветвленными заместителями, изучена экстракционная способность синтезированных реагентов при извлечении благородных и редких металлов из солянокислых растворов³⁶.

Гидрохлорид 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина (разбавитель хлороформ) является эффективным экстрагентом для извлечения галлия(III) из растворов 5–10 моль/л HCl. Ряд экстрагируемости элементов в данных условиях: Ga(III) > Zn(II) >> In(III). Предложено использовать гидрохлорид 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолина в гидроме-

таллургической схеме переработки отработанного полупроводникового материала, содержащего оксиды Ga(III), In(III) и Zn(II), для селективного отделения Ga(III) и Zn(II) от In(III) при кислотности раствора выщелачивания 5 моль/л HCl.

Показано, что смеси ацилированных производных этиленовых аминов и 1-(2-алкиламидоэтил)-2-алкил-2-имидазолинов с α, α' -разветвленными карбоновыми кислотами эффективно извлекают редкоземельные металлы из хлоридных и нитратных растворов в интервале pH 5.5–7.0. Установлен механизм экстракции редкоземельных металлов из нитратных растворов смесью недекановой кислоты с 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолином. Экстракция редкоземельных металлов смесью обусловлена преимущественным переходом в органическую фазу гидроксокомплексов редкоземельных металлов с образованием экстрагируемых комплексов типа $[Ln(OH)A_2 \cdot L]$ и $[Ln(OH)_2A \cdot L]$. Недекановая кислота входит в состав комплекса в виде карбоксилат-аниона, 1-(2-неонониламидоэтил)-2-неононил-2-имидазолин непосредственно не связан с ионом металла, нитрат-ион не принимает участия в экстракционном равновесии. Показана принципиальная возможность применения данного реагента для разделения пары эрбий–иттрий ($\beta = 3.3$).

Производные 1,2,4-триазола – малотоксичные промышленные реагенты пропиконазол, тебуконазол и пенконазол удовлетворяют требованиям, предъявляемым к свойствам промышленных экстрагентов. Пенконазол (хлороформ) является эффективным экстрагентом для извлечения и концентрирования Pd(II) из азотнокислых растворов, а также для его селективного отделения от Cu(II), Ni(II), Pb(II), Fe(III), лантанидов(III) и Ag(I). Палладий(II) экстрагируется по координационному механизму с образованием экстрагируемого комплекса $[Pd(NO_3)_2L_2]$. Координация пенконазола к иону металла осуществляется через атом N⁴ триазольного кольца. Палладий(II) полностью реэкстрагируется азотнокислым раствором тиомочевина или 3–4 М раствором NH_4OH ³⁷.

Показана возможность применения пропиконазола (толуол с 15% об. *n*-деканолом) и пенконазола (хлороформ) для эффективного (более 99.9%) извлечения и 10-кратного концентрирования Pt(IV) и Pd(II) из модельных солянокислых растворов выщелачивания отработавших промышленных катализаторов на основе оксида алюминия за одну ступень экстракции с высокоселективным отделением платиновых металлов от Al(III) и Ni(II). Определены условия количественной (более 99%) реэкстракции Pt(IV) солянокислым раствором тиомочевины и Pd(II) раствором аммиака³⁸.

Методом внутрисферного замещения лигандов синтезированы хлорокомплексы Pd(II), Pt(II) и Pt(IV) с (*RS*)-1-(4-хлорфенил)-4,4-диметил-3-(1Н-1,2,4-триазол-1-ил-метил)-пентан-3-олом (тебуконазолом): *транс*-[PdCl₂L₂], *цис*-[PdCl₂L₂], *транс*-[Pd₂(μ-Cl)₂Cl₂L₂], *цис*-[PtCl₂L₂], *транс*-[PtCl₂L₂] и *транс*-[PtCl₄L₂]. Методами электронной, ИК- и ЯМР ¹H и ¹³C спектроскопии установлены структура координационных узлов комплексов и способ координации реагента к ионам металла через атом N⁴ триазольного кольца. На основании полного отнесения сигналов в спектрах ЯМР определено соотношение *RS*- и *RR(SS)*-диастереомеров в комплексах палладия(II), соотношение *трео*- и *эритро*-диастереомеров и конформационное состояние реагента L в комплексах платины.

Изучена экстракция Pd(II) из солянокислых растворов новыми комплексообразующими реагентами, синтезированными в лаборатории химической кинетики УФИХ УФИЦ РАН: [(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1Н-пиразолом, 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1Н-пиразолом и 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметилизоксазолом, а также из азотнокислых и нитратно-нитритных растворов – 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1Н-пиразолом. Установлен координационный механизм экстракции Pd(II) новыми реагентами, определен состав экстрагируемых соединений и способ координации реагентов к ионам Pd(II) через донорные атомы тиоэфирной серы и азота N₂. Показана возможность применения 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1Н-пиразола (хлороформ) для десятикратного концентрирования палладия(II) из нитратно-нитритного раствора, моделирующего состав рафинатов пурекс-процесса по ряду компонентов, с полным извлечением палладия(II) в органическую фазу за 5 мин при В : О = 10 : 1 и молярном соотношении Pd : L = 1 : 2.

Установлено, что глюконаты 3d-металлов (Mn, Co, Cu, Zn) обладают иммунокорригирующими свойствами: повышают содержание иммуноглобулинов G и их комплексов с C1q, значительно снижающееся в результате действия циклофосфамида; глюконаты кобальта и марганца оказывают стимулирующее действие на функциональную активность комплемента по классическому пути, что свидетельствует о различных механизмах иммунокорригирующего действия исследуемых глюконатов металлов ³⁹.

Отдел электрохимической энергетики (заведующий отделом, д.х.н., проф., Колосницын В.С.)

Одним из направлений исследований, развиваемым в Уфимском Институте химии УФИЦ РАН, является электрохимическая энергетика. В

рамках этого направления под руководством профессора Колосницына В.С. ведутся фундаментальные и прикладные исследования в области электрохимии и физической химии жидких, полимерных и твердых электролитных систем, электрохимии литиевого электрода, наноструктурированных углеродных материалов, электрохимии серы и сложных оксидов переходных металлов. Большое внимание уделяется исследованиям, направленным на создание электрохимических накопителей энергии, обладающих лучшими энергетическими и эксплуатационными свойствами по сравнению с существующими – литий-серных и литий-ионных аккумуляторов с металлическим литиевым электродом. Разработки накопителей энергии ведутся в тесном взаимодействии с индустриальными партнерами, что позволит создать научные и технологические основы промышленного производства отечественных литиевых аккумуляторов. Наиболее энергоемкими электрохимическими накопителями электрической энергии, разрабатываемыми в Институте, являются литий-серные аккумуляторы (ЛСА). Поскольку ЛСА являются аккумуляторами с жидким катодом, их энергетические и эксплуатационные характеристики определяются свойствами электролитных систем и токовых коллекторов положительных электродов. В Институте большое внимание было уделено исследованиям физико-химических и электрохимических свойств растворов различных литиевых солей в сульфолане ⁴⁰ и показано, что сульфолан является одним из наиболее перспективных растворителей для электролитов литий-серных и литий-ионных аккумуляторов с металлическим литиевым электродом (ЛИА). Большое внимание было уделено исследованиям состава, физико-химических и электрохимических свойств сольватных ионных жидкостей на основе сульфолана, которые по своей химической природе являются сольватными комплексами литиевых солей. Сольватные ионные жидкости на основе сульфолана обладают высокой удельной и катионной проводимостью и рассматриваются как перспективные электролиты для литий-металлических аккумуляторов с высокопотенциальными катодными материалами ⁴¹.

При заряде и разряде ЛСА в результате электрохимических превращений элементарной серы образуются смешанные сольватные комплексы литиевая соль–полисульфид лития–растворитель, состав и свойства которых определяют, как удельную энергию, так и мощность литий-серных аккумуляторов. Детальные исследования показали (табл. 1), что растворы полисульфидов лития в сульфолане и смешанные сольватные комплексы литиевая соль–полисульфид лития–сульфолан

обладают удельной и катионной проводимостью, достаточной для обеспечения глубокого электрохимического превращения серы и полисульфидов лития при заряде и разряде ЛСА.

Физико-химические свойства и строение растворов литиевых солей в сульфолане были изучены не только экспериментальными, но и теоретическими методами, что позволило более глубоко понять строение сульфоновых электролитных систем и спрогнозировать их свойства ⁴².

Перспективным токовым коллектором положительных электродов литий-серных аккумуляторов является алюминиевая фольга с покрытием из углеродных нанотрубок. Разработан простой и масштабируемый лабораторный метод низкотемпературного синтеза углеродных нанотрубок непосредственно на тонкослойной алюминиевой фольге. Установлено, что на поверхности синтезированных углеродных нанотрубок электрохимическое превращение серы и полисульфидов лития протекает с высокой скоростью и эффективностью и обеспечивает длительное циклирование (более 1000 циклов) литий-серных аккумуляторов. Полученные результаты имеют важное значение для разработки коммерчески приемлемых литий-серных аккумуляторов ⁴³.

В рамках договора с ООО «Рэнера» (отраслевой интегратор Госкорпорации «РОСАТОМ» в области систем накопления электроэнергии)

были разработаны научные основы технологии производства призматических аккумуляторных литий-серных ячеек в мягком металл полимерном корпусе (*pouch cell*), изготовлены оснастка и опытные образцы (рис. 15) с номинальной емкостью 1–5 Ач ⁴⁴.



Рис. 15. Фото лабораторного прототипа литий-серного аккумулятора пакетного типа в мягком металл полимерном корпусе (*pouch cell*)

Научные исследования в институте продолжаются. Некоторые разработки ведутся с промышленными партнерами, что позволит решить проблемы импортозамещения и внедрения новых отечественных технологий.

Авторы выражают огромную благодарность всем сотрудникам УФИХ УФИЦ РАН за предоставленные материалы и помощь в подготовке этого обзора.

Таблица 1

Состав и электрохимические свойства сольватных комплексов полисульфидов лития и литиевых солей с сульфоланом

№ пп	Система	t, С	$\chi, \times 10^{-3}$ Ом ⁻¹ см ⁻¹	t_{Li^+}	$\chi_{Li^+}, \times 10^{-3}$ Ом ⁻¹ см ⁻¹
1.	1M LiClO ₄ в сульфолане	30	2.22	0.31	0.69
2.	LiClO ₄ · 4Сульфолан	30	1.69	0.48	0.81
3.	Li ₂ S ₄ · 6Сульфолан	30	0.039	0.92	0.036
4.	Li ₂ S _{6.5} · 3LiClO ₄ · 10Сульфолан	30	0.078	0.94	0.073
5.	0.12M Li ₂ S _{4.25} - 0.4m LiClO ₄ - Сульфолан	30	1.60	0.26	0.42
		40	2.05	0.29	0.59
		50	2.71	0.35	0.95
6.	0.13M Li ₂ S _{3.85} - 1m LiClO ₄ - Сульфолан	30	1.61	0.32	0.52
		40	2.22	0.34	0.75
		50	2.98	0.37	1.10
7.	0.12M Li ₂ S _{3.25} - 2m LiClO ₄ - Сульфолан	30	0.97	0.34	0.33
		40	1.31	0.36	0.47
		50	1.98	0.40	0.79
8.	Li ₂ S _{4.25} · 3.3LiClO ₄ · 13.5Сульфолан	30	0.39	0.68	0.27
		40	0.64	0.72	0.46
		50	1.02	0.74	0.75
9.	Li ₂ S _{3.85} · 7.7LiClO ₄ · 19.4Сульфолан	30	0.09	0.91	0.08
		40	0.41	0.88	0.36
		50	0.70	0.75	0.53
10.	Li ₂ S _{3.25} · 16.3LiClO ₄ · 29.3Сульфолан	30	0.06	-	-
		40	0.73	0.80	0.58
		50	1.05	0.75	0.79

χ – удельная ионная проводимость; t_{Li^+} – эффективное число переноса катиона лития; χ_{Li^+} – удельная катионная проводимость

Литература

1. Патент №2664668 РФ. Антиаритмическое лекарственное средство / Юнусов М.С., Муринов Ю.И., Цырлина Е.М., Юнусова С.Г., Зарудий Ф.С., Крыжановский С.А., Цорин И.Б. // Б.И. – 2018. – №24.
2. Габбасов Т.М., Андрианова Е.И., Петрова С.Ф., Иванов С.П., Цырлина Е.М., Садиков А.З., Сагдуллаев Ш.Ш., Юнусов М.С. Гидролиз лаппаконитина в кислой среде. Получение N-деацетиллаппаконитина // Химия природных соединений. – 2020. – №4. – С.659-662.
3. Крыжановский С.А., Юнусов М.С., Цорин И.Б., Барчуков В.В., Барчукова Е.И. Антиаритмические свойства монохлоргидрата N-деацетиллаппаконитина // Фармакокинетика и фармакодинамика. – 2021. – №2. – С.19-24.
4. Le U.N.P., Chang Y.-J., Lu Ch.-H., Chen Y., Su W.-Ch., Chao Sh.-T., Baltina L.A., Petrova S.F., Li S.-R., Hung M.-Ch., Lai M.-M.C., Baltina L.A., Lin Ch.-W. Glycyrrhizic acid conjugates with amino acid methyl esters target the main protease, exhibiting antiviral activity against wild-type and nirmatrelvir-resistant SARS-CoV-2 variants // Antiviral Research. – 2024. – V.227. – Pp.105920.
5. Koval'skaya A.V., Lobov A.N., Sorokina V.A., Tsypysheva I.P. Alkylation of 9- and 11-substituted and 9,11-disubstituted (–)-cytosine derivatives by dibromoethane // Chemistry of Natural Compounds. – 2023. – V.59. – Pp.1019-1022.
6. Tsypysheva I.P., Koval'skaya A.V., Petrova P.R., Lobov A.N., Erastov A.S., Zileeva Z.R., Vakhitov V.A., Vakhitova Yu.V. Synthesis of conjugates of (–)-cytosine derivatives with ferrocene-1-carbaldehyde and their cytotoxicity against HEK293, Jurkat, A549, MCF-7 and SH-SY5Y cells // Tetrahedron. – 2021. – V.76, №7. – Pp.130902.
7. Gibadullina N.N., Kireeva D.R., Lobov A.N., Dokichev V.A. One-pot synthesis of difluoromethyl-containing 1,2,3,4-tetrahydropyridines // Journal of Fluorine Chemistry. – 2023. – V.266. – Pp.110088.
8. Gibadullina N.N., Mukhamedyarova A.R., Lobov A.N., Zimin Yu.S., Dokichev V.A. An environmentally friendly method for the synthesis of 1,2,3,4-tetrahydropyridines and hexahydroimidazo[1,2-a]pyridines in water promoted by potassium, sodium and ammonium chlorides // Tetrahedron Letters. – 2024. – V.152. – Pp.155348.
9. Gibadullina N.N., Latypova D.R., Vakhitov V.A., Khasanova D.V., Zainullina L.F., Vakhitova Yu.V., Lobov A.N., Ugrak B.I., Tomilov Yu.V., Dokichev V.A. Synthesis and cytotoxic activities of difluoroacetyl-substituted hexahydropyrimidine derivatives // Journal of Fluorine Chemistry. – 2018. – V.211. – Pp.94-99.
10. Makaev Z.R., Vostrikov N.S., Selezneva N.K., Miftakhov M.S. A facile synthesis of (±)-15-deoxy-Δ²,14-prostaglandin J2 methyl ester // Mendelevov Communications. – 2023. – V.33, №4. – Pp.479-480.
11. Miftakhov M.S., Mikheev V.V., Torosyan S.A., Biglova Y.N., Gimalova F.A., Menshov V., Mustafin A.G. Fullerene containing norbornenes: synthesis and ring-opening metathesis polymerization // Tetrahedron. – 2014. – V.70, №43. – Pp.8040-8046.
12. Торосян С.А., Биглова Ю.Н., Михеев В.В., Гималова Ф.А., Мустафин А.Г., Мифтахов М.С. Новые мономеры для фуллеренсодержащих полимеров // ЖОрХ. – 2014. – Т.50, №2. – С.190-193.

References

1. Yunusov M.S., Murinov Yu.I., Tsyrlina E.M., Yunusova S.G., Zarudij F.S., Kryzhanovskiy S.A., Tsorin I.B. [Antiarrhythmic drug]. Patent RF no.2664668, 2018.
2. Gabbasov T.M., Andrianova E.I., Petrova S.F., Ivanov S.P., Tsyrlina E.M., Yunusov M.S., Sadikov A.Z., Sagdullaev S.S. [Hydrolysis of lappaconitine in acidic solution. Preparation of n-deacetylappaconitine]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2020, vol.56, no.4, pp.767-770.
3. Kryzhanovskiy S.A., Yunusov M.S., Tsorin I.B., Barchukov V.V., Barchukova E.I. *Antiaritmicheskie svoystva monokhlorgidrata N-dezatsetillappakonitina* [Antiarrhythmic properties of N-desacetylappaconitine monochlorohydrate]. *Farmakokinetika i Farmakodinamika* [Pharmacokinetics and pharmacodynamics], 2021, no.2, pp.19-24.
4. Le U.N.P., Chang Y.-J., Lu Ch.-H., Chen Y., Su W.-Ch., Chao Sh.-T., Baltina L.A., Petrova S.F., Li S.-R., Hung M.-Ch., Lai M.-M.C., Baltina L.A., Lin Ch.-W. [Glycyrrhizic acid conjugates with amino acid methyl esters target the main protease, exhibiting antiviral activity against wild-type and nirmatrelvir-resistant SARS-CoV-2 variants]. *Antiviral Research.*, 2024, vol.227, pp.105920.
5. Koval'skaya A.V., Lobov A.N., Sorokina V.A., Tsypysheva I.P. [Alkylation of 9- and 11-substituted and 9,11-disubstituted (–)-cytosine derivatives by dibromoethane]. *Chemistry of Natural Compounds*, 2023, vol.59, pp.1019-1022.
6. Tsypysheva I.P., Koval'skaya A.V., Petrova P.R., Lobov A.N., Erastov A.S., Zileeva Z.R., Vakhitov V.A., Vakhitova Yu.V. [Synthesis of conjugates of (–)-cytosine derivatives with ferrocene-1-carbaldehyde and their cytotoxicity against HEK293, Jurkat, A549, MCF-7 and SH-SY5Y cells]. *Tetrahedron*, 2021, vol.76, no.7, pp.130902.
7. Gibadullina N.N., Kireeva D.R., Lobov A.N., Dokichev V.A. [One-pot synthesis of difluoromethyl-containing 1,2,3,4-tetrahydropyridines]. *Journal of Fluorine Chemistry*, 2023, vol.266, pp.110088.
8. Gibadullina N.N., Mukhamedyarova A.R., Lobov A.N., Zimin Yu.S., Dokichev V.A. [An environmentally friendly method for the synthesis of 1,2,3,4-tetrahydropyridines and hexahydroimidazo[1,2-a]pyridines in water promoted by potassium, sodium and ammonium chlorides]. *Tetrahedron Letters*, 2024, vol.152, pp.155348.
9. Gibadullina N.N., Latypova D.R., Vakhitov V.A., Khasanova D.V., Zainullina L.F., Vakhitova Yu.V., Lobov A.N., Ugrak B.I., Tomilov Yu.V., Dokichev V.A. [Synthesis and cytotoxic activities of difluoroacetyl-substituted hexahydropyrimidine derivatives]. *Journal of Fluorine Chemistry*, 2018, vol.211, pp.94-99.
10. Makaev Z.R., Vostrikov N.S., Selezneva N.K., Miftakhov M.S. [A facile synthesis of (±)-15-deoxy-Δ²,14-prostaglandin J2 methyl ester]. *Mendelevov Communications*, 2023, vol.33, no.4, pp.479-480.
11. Miftakhov M.S., Mikheev V.V., Torosyan S.A., Biglova Y.N., Gimalova F.A., Menshov V., Mustafin A.G. [Fullerene containing norbornenes: synthesis and ring-opening metathesis polymerization]. *Tetrahedron*, 2014, vol.70, no.43, pp.8040-8046.
12. Torosyan S.A., Biglova Y.N., Mikheev V.V., Gimalova F.A., Mustafin A.G., Miftakhov M.S. [New monomers for fullerene-containing polymers]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2014, vol.50, no.2, pp.179-182.

13. Валеев Р.Ф., Сунагатуллина Г.Р., Лоза В.В., Лобов А.Н., Мифтахов М.С. Синтез нового 10,11-дидегидроаналога эпотилона D // *ЖОрХ.*– 2021.– Т.57, №6.– С.802-819.
14. Шарипов Б.Т., Першин А.А., Салихов Ш.М., Валеев Ф.А. Элеутезиды и их аналоги XI. Заключительный этап синтеза аналога саркодиктиина А с 14-метилциклогекс-12-еновым циклом А // *ЖОрХ.*– 2016.– Т.52, №5.– С.732-736.
15. Faizullina L.Kh., Khalilova Y.A., Salikhov Sh.M., Valeev F.A. Stereocontrolled synthesis of (9S)-ketodecanolide on the basis of Michael adducts obtained from levoglucosenone and cyclohexanone // *Chemistry of Heterocyclic Compounds.*– 2018.– V.54.– Pp.598-603.
16. Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Назаров И.С., Ишмуратов Г.Ю. Однореакторный синтез фенилгидразонов из алкенов // *ЖОрХ.*– 2018.– Т.54, №1.– С.56-59.
17. Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Назаров И.С., Ишмуратова Н.М., Ишмуратов Г.Ю. Гидроксиламин в превращениях перекисных продуктов озонлиза алкенов // *ЖОрХ.*– 2018.– Т.54, №8.– С.1116-1120.
18. Легостаева Ю.В., Гарифуллина Л.Р., Назаров И.С., Ишмуратов Г.Ю. Однореакторный озонолитический синтез производных изониазида из (–)- α -пинена и Δ^3 -карена // *ЖОрХ.*– 2018.– Т.54, №1.– С.145-146.
19. Latypova L.R., Andriianova A.N., Salikhov S.M., Mullagaliev I.N., Salikhov R.B., Abdrakhmanov I.B., Mustafin A.G. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants // *Polymer International.*– 2020.– V.69, №9.– Pp.804-812.
20. Latypova L.R., Andriianova A.N., Usmanova G.S., Salikhov R.B., Mustafin A.G. Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s // *Polymer International.*– 2023.– V.72, №4.– Pp.440-450.
21. Абдрахманов И.Б., Гимадиева А.Р., Мустафин А.Г., Шарафутдинов В.М. Амино-перегруппировка Кляйзена и превращения орто-алкенилариламинов.– М.: Наука, 2020.– 255 с.
22. Хазимуллина Ю.З., Гимадиева А.Р., Хайруллина В.Р., Зайнуллина Л.Ф., Вахитова Ю.В., Мустафин А.Г. Синтез и исследование противовоспалительной активности новых производных пиримидина - ингибиторов изоформ циклооксигеназ // *Биоорганическая химия.*– 2022.– Т.48, №5.– С.569-579.
23. Мингалеев В.З. Влияние размера частиц катализатора $TiCl_4-Al(i-Bu)_3$ на вклад моно- и биметаллических активных центров в полимеризацию изопрена // *Кинетика и катализ.*– 2016.– Т.57, №1.– С.54-62.
24. Захаров В.П., Мингалеев В.З., Берлин А.А., Насыров И.Ш., Жаворонков Д.А., Захарова Е.М. Кинетическая неоднородность титановых и неодимовых катализаторов производства 1,4-цис-полиизопрена // *Химическая физика.*– 2015.– Т.34, №3.– С.69-75.
25. Киселев В.А., Мударисова Р.Х., Бадыкова Л.А., Колесов С.В., Мингалеев В.З. Реологические свойства и кинетика набухания гидрогелей на основе полимерных комплексов пектина и арабиногалактана // *Высокомолекулярные соединения. Серия А.*– 2024.– Т.66, №3.– С.191-200.
26. Mingaleeva G.R., Abdurahimov T.D., Yakupova L.R., Zaharova E. M., Mingaleev V. Z. Synthesis and Rheological Studies of Ionic Hydrogels of Chitosan
13. Valeev R.F., Sunagatullina G.R., Loza V.V., Lobov A.N., Miftakhov M.S. [Synthesis of a New 10,11-Didehydro Analog of Epothilone D]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2021, vol.57, no.6, pp.889-904.
14. Sharipov B.T., Pershin A.A., Salikhov Sh.M., Valeev F.A. [Eleuthesides and their analogues XI. The final stage of the synthesis of sarcodictyin A analogue with 14-methylcyclohex-12-ene ring A]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2016, vol.52, no.5, pp.721-726.
15. Faizullina L.Kh., Khalilova Y.A., Salikhov Sh.M., Valeev F.A. [Stereocontrolled synthesis of (9S)-ketodecanolide on the basis of Michael adducts obtained from levoglucosenone and cyclohexanone]. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 2018, vol.54, pp.598-603.
16. Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Nazarov I.S., Ishmuratov G.Yu. One-pot synthesis of phenylhydrazones from alkenes]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2018, vol.54, no.1, pp.51-54.
17. Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Nazarov I.S., Ishmuratova N.M., Ishmuratov G.Yu. [Hydroxylamine reactions with peroxide products of alkenes ozonolysis]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2018, vol.54, no.8, pp.1122-1126.
18. Legostaeva Yu.V., Garifullina L.R., Nazarov I.S., Ishmuratov G.Yu. [One-pot ozonolytic synthesis of isoniazid derivatives from (–)- α -pinene and Δ^3 -carene]. *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2018, vol.54, no.1, pp.146-148.
19. Latypova L.R., Andriianova A.N., Salikhov S.M., Mullagaliev I.N., Salikhov R.B., Abdrakhmanov I.B., Mustafin A.G. [Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants]. *Polymer International*, 2020, vol.69, no.9, pp.804-812.
20. Latypova L.R., Andriianova A.N., Usmanova G.S., Salikhov R.B., Mustafin A.G. [Influence of copolymer composition on the properties of soluble poly (aniline-co-2-[2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl] aniline)s]. *Polymer International*, 2023, vol.72, no.4, pp.440-450.
21. Abdrakhmanov I.B., Gimadiev A.R., Mustafin A.G., Sharafutdinov V.M. *Amino-peregruppirovka Klyayzena i prevrashcheniya orto-alkenilarilaminov* [Amino-Claisen rearrangement and transformations of ortho-alkenylarylamines]. Moscow, Nauka Publ., 2020, 255 p.
22. Khazimullina Yu.Z., Gimadiev A.R., Khairullina V.R., Zainullina L.F., Vakhitova Yu.V., Mustafin A.G. [The synthesis and anti-inflammatory studies of new pyrimidine derivatives, inhibitors of cyclooxygenase isoforms]. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2022, vol.48, no5, pp.1027-1035.
23. Mingaleev V.Z. [Effect of $TiCl_4-Al(i-Bu)_3$ Catalyst Particle Size on the Contribution of Mono- and Bimetallic Active Centers to Isoprene Polymerization]. *Kinetics and Catalysis*, 2016, vol.57, no.1, pp.52-60.
24. Zakharov V.P., Mingaleev V.Z., Zakharova E.M., Berlin A.A., Nasyrov I.S., Zhavoronkov D.A. [Kinetic inhomogeneity of titanium- and neodymium-based catalysts for the production of cis-1,4-polyisoprene]. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2015, vol.9, no.2, pp.300-305.
25. Kiselev V.A., Mudarisova R.Kh., Badykova L.A., Kolesov S.V., Mingaleev V.Z. [Rheological properties and swelling kinetics of hydrogels based on polymer complexes of pectin and arabinogalactan]. *Polymer Science, Series A*, 2024, vol.66, no.2, pp.177-186.

- with 5-Norbornene-2,3-dicarboxylic acid // Russian Journal of General Chemistry. – 2024. – V.94, №10. – Pp.2638-2646.
27. Yangirov T.A., Fatykhov A.A., Sedova E.A., Khalilov L.M., Meshcheryakova E.S., Ivanov S.P., Salazkin S.N., Kraikin V.A. The rotameric (R^* , S^*)- and (R^* , R^*)-biaryl-3,3'-diphtalides of polyphenylene series // Tetrahedron. – 2019. – V.75, №10. – Pp.1282-1292.
28. Chainikova E.M., Khursan S.L., Yusupova A.R., Teregulova A.N., Lobov A.N., Abdullin M.F., Enikeeva L.V., Gubaydullin I.M., Safiullin R.L. Interplay of conformational and chemical transformations of ortho-substituted aromatic nitroso oxides: Experimental and theoretical study // The Journal of Organic Chemistry. – 2017. – V.82, №15. – Pp.7750-7763.
29. Baeva L.A., Nugumanov R.M., Gataullin R.R., Fatykhov A.A. Reaction of 3-[(alkylsulfanyl)methyl]pentane-2,4-diones with nicotinic hydrazide // Chemistry of Heterocyclic Compounds. – 2020. – V.56. – Pp.548-554.
30. Grabovskiy S.A., Kabal'nova N.N., Andriayshina N.M., Egorov V.I., Valiullin L.R., Nabatov A.A., Raginov I.S., Murinov Yu.I. *In vitro* proliferative activity of 6-substituted uracil derivatives // Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research. – 2021. – V.9, №3. – Pp.357-365.
31. Grabovskii S.A., Andriyashina N.M., Lobov A.N., Antipin A.V., Safiullin R.L. Catalyst-Free Oxidation of Sulfides to Sulfoxides by *gem*-Dihydroperoxide under Mild Conditions // Synlett. – 2023. – V.34, №11. – Pp.1247-1252.
32. Ovchinnikov M.Yu., Antipin V.A., Khursan S.L. Thermostimulated luminescence of poly(diphenylene-phthalide) films. Kinetics and mechanistic steps of irradiative processes // Journal of Luminescence. – 2020. – V.218. – P.116869.
33. Ovchinnikov M.Yu., Antipin V.A., Khursan S.L. Activation mechanisms of recombination processes in irradiated poly(arylene-phthalides) // Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. – 2024. – V.448. – P.115347.
34. Ostakhov S.S., Ovchinnikov M.Yu., Masyagutova G.A., Khursan S.L. Luminescent and DFT study of keto-enol tautomers of 5-fluorouracil and its derivatives in aqueous solutions // The Journal of Physical Chemistry A. – 2019. – V.123, №37. – Pp.7956-7964.
35. Борисевич С.С., Гуреев М.А. Камфецин и гинсамид: динамика потенциальных взаимодействий с каналом М2 вируса гриппа // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2023. – Т.72, №10. – С.2548-2558.
36. Anpilogova G.R., Bondareva S.O., Khisamutdinov R.A., Murinov Yu.I. Fatty Imidazolines: A Novel Extractant for the Recovery of Palladium(II) from Hydrochloric Acid Solutions // Solvent Extraction and Ion Exchange. – 2014. – V.32. – Pp.206-220.
37. Bondareva S.O., Spirikhin L.V., Lobov A.N., Murinov Yu.I. Solvent extraction of neodymium(III) from chloride solutions using a mixture of diacylated diethylenetriamines and carboxylic acids // Solvent extraction and ion exchange. – 2017. – V.35, №5. – Pp.332-344.
38. Анпилогова Г.Р., Хисамутдинов Р.А., Голубятникова Л.Г., Муринов Ю.И. Экстракция палладия(II) (*RS*)-1-[2-(2,4-дихлорфенил)пентил]-1H-1,2,4-триазолом из азотнокислых растворов // ЖОХ. – 2017. – Т.87, №1. – С.138-144.
26. Mingaleeva G.R., Abdurahimov T.D., Yakupova L.R., Zaharova E. M., Mingaleev V. Z. [Synthesis and Rheological Studies of Ionic Hydrogels of Chitosan with 5-Norbornene-2,3-dicarboxylic acid]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2024, vol.94, no.10, pp.2638-2646.
27. Yangirov T.A., Fatykhov A.A., Sedova E.A., Khalilov L.M., Meshcheryakova E.S., Ivanov S.P., Salazkin S.N., Kraikin V.A. [The rotameric (R^* , S^*)- and (R^* , R^*)-biaryl-3,3'-diphtalides of polyphenylene series]. *Tetrahedron*, 2019, vol.75, no.10, pp.1282-1292.
28. Chainikova E.M., Khursan S.L., Yusupova A.R., Teregulova A.N., Lobov A.N., Abdullin M.F., Enikeeva L.V., Gubaydullin I.M., Safiullin R.L. [Interplay of conformational and chemical transformations of ortho-substituted aromatic nitroso oxides: Experimental and theoretical study]. *The Journal of Organic Chemistry*, 2017, vol.82, no.15, pp.7750-7763.
29. Baeva L.A., Nugumanov R.M., Gataullin R.R., Fatykhov A.A. [Reaction of 3-[(alkylsulfanyl)methyl]pentane-2,4-diones with nicotinic hydrazide]. *Chemistry of Heterocyclic Compounds*, 2020, vol.56, pp.548-554.
30. Grabovskiy S.A., Kabal'nova N.N., Andriayshina N.M., Egorov V.I., Valiullin L.R., Nabatov A.A., Raginov I.S., Murinov Yu.I. [*In vitro* proliferative activity of 6-substituted uracil derivatives]. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 2021, vol.9, no.3, pp.357-365.
31. Grabovskii S.A., Andriyashina N.M., Lobov A.N., Antipin A.V., Safiullin R.L. [Catalyst-Free Oxidation of Sulfides to Sulfoxides by *gem*-Dihydroperoxide under Mild Conditions]. *Synlett*, 2023, vol.34, no.11, pp.1247-1252.
32. Ovchinnikov M.Yu., Antipin V.A., Khursan S.L. [Thermostimulated luminescence of poly(diphenylene-phthalide) films. Kinetics and mechanistic steps of irradiative processes]. *Journal of Luminescence*, 2020, vol.218, p.116869.
33. Ovchinnikov M.Yu., Antipin V.A., Khursan S.L. [Activation mechanisms of recombination processes in irradiated poly(arylene-phthalides)]. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2024, vol.448, p.115347.
34. Ostakhov S.S., Ovchinnikov M.Yu., Masyagutova G.A., Khursan S.L. [Luminescent and DFT study of keto-enol tautomers of 5-fluorouracil and its derivatives in aqueous solutions]. *The Journal of Physical Chemistry A*, 2019, vol.123, no.37, pp.7956-7964.
35. Borisevich S.S., Gureev M.A. [Camphene and ginsamide: dynamics of potential interactions with the influenza virus M2 channel]. *Russian Chemical Bulletin*, 2023, vol.72, no.10, pp.2548-2558.
36. Anpilogova G.R., Bondareva S.O., Khisamutdinov R.A., Murinov Yu.I. [Fatty Imidazolines: A Novel Extractant for the Recovery of Palladium(II) from Hydrochloric Acid Solutions]. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 2014, vol.32, pp.206-220.
37. Bondareva S.O., Spirikhin L.V., Lobov A.N., Murinov Yu.I. [Solvent extraction of neodymium(III) from chloride solutions using a mixture of diacylated diethylenetriamines and carboxylic acids]. *Solvent extraction and ion exchange*, 2017, vol.35, no.5, pp.332-344.
38. Anpilogova G.R., Khisamutdinov R.A., Golubyatnikova L.G., Murinov Y.I. [Extraction of palladium(II) with (*RS*)-1-[2-(2,4-dichlorophenyl)pentyl]-1H-1,2,4-triazole from nitric acid solutions]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2017, vol.87, no.1, pp.132-138.

39. Анпилогова Г.Р., Баева Л.А., Нугуманов Р.М. Экстракционное извлечение и концентрирование палладия(II) 4-[(гексилсульфанил)метил]-3,5-диметил-1-фенил-1H-пиразолом из модельного нитратно-нитритного рафината ПУРЕКС-процесса // ЖПХ. – 2023. – Т.96, №8. – С.692-699.
40. Sheina L.V., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. Physicochemical Properties of Lithium Bis(trifluoromethanesulfonyl)imide Solutions in Sulfolane // Russian Journal of Physical Chemistry A. – 2024. – V.98, №3. – Pp.431-439.
41. Savvina A.A., Karaseva E.V., Mochalov S.E., Kolosnitsyn V.S. Solvate complexes of lithium salts with sulfolane as electrolytes for advanced energy storage devices // Russian Journal of General Chemistry. – 2025. – V.95, №3. – Pp.593-605.
42. Savvina A.A., Mochalov S.E., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. Cationic conductivity of lithium salt solutions in sulfolane // The Journal of Physical Chemistry B. – 2025. – V.129, №17. – Pp.4190-4196.
43. Yusupova A.R., Kuzmina E.V., Kolosnitsyn V.S. Theoretical Investigation of the Structure and Physicochemical Properties of Alkaline and Alkaline Earth Metal Perchlorate Solutions in Sulfolane // The Journal of Physical Chemistry B. – 2022. – V.126, №39. – Pp.7676-7685.
44. Барков А.Г., Мишинкин В.Ю., Кузьмина Е.В., Карасева Е.В., Колосницын В. С. Электрохимические превращения полисульфидов лития на углеродных электродах, изготовленных низкотемпературным пиролизом паров этанола на алюминиевой фольге // Вестник Томского государственного университета. Химия. – 2024. – №36. – С.26-40.
39. Anpilogova G.R., Baeva L.A., Nugumanov R.M. [Extractive recovery and concentration of palladium(II) from simulated nitrate-nitrite PUREX process raffinate with 4-[(hexylsulfanyl)methyl]-3,5-dimethyl-1-phenyl-1H-pyrazole]. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2023, vol.96, no.8, pp.773-779.
40. Sheina L.V., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. [Physicochemical Properties of Lithium Bis(trifluoromethanesulfonyl)imide Solutions in Sulfolane]. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2024, vol.98, no.3, pp.431-439.
41. Savvina A.A., Karaseva E.V., Mochalov S.E., Kolosnitsyn V.S. Solvate complexes of lithium salts with sulfolane as electrolytes for advanced energy storage devices]. *Russian Journal of General Chemistry*, 2025, vol.95, no.3, pp.593-605.
42. Savvina A.A., Mochalov S.E., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. [Cationic conductivity of lithium salt solutions in sulfolane]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2025, vol.129, no.17, pp.4190-4196.
43. Yusupova A.R., Kuzmina E.V., Kolosnitsyn V.S. Theoretical Investigation of the Structure and Physicochemical Properties of Alkaline and Alkaline Earth Metal Perchlorate Solutions in Sulfolane]. *The Journal of Physical Chemistry B*, 2022, vol.126, no.39, pp.7676-7685.
44. Barkov A.G., Mishinkin V.Y., Kuzmina E.V., Karaseva E.V., Kolosnitsyn V.S. *Elektrokhimicheskiye prevrashcheniya polisul'fidov litiya na uglerodnykh elektrodakh, izgotovlennyykh nizkotemperaturnym pirolizom parov etanola na alyuminiyevoy fol'ge* [Electrochemical transformations of lithium polysulfides on carbon elec trodes made by low-temperature pyrolysis of ethanol vapors on aluminum foil]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimia* [Tomsk State University Journal of Chemistry], 2024, no.36, pp.26-40.