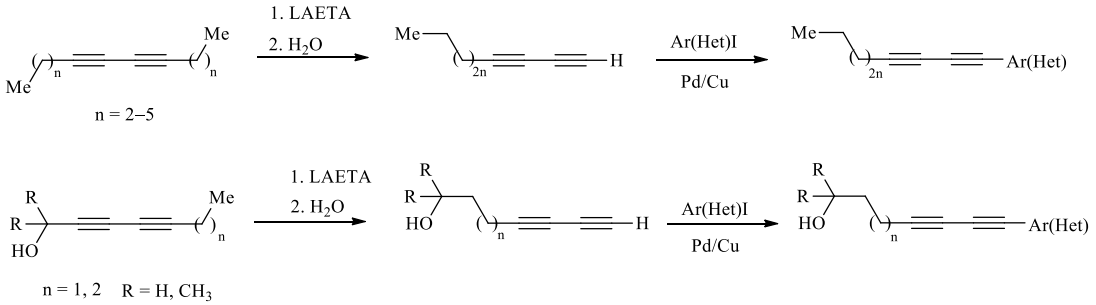
АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ НАУЧНЫХ ГРУПП КАФЕДРЫ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ СПбГУ

Кафедра органической химии Санкт-Петербургского государственного университета имеет богатую историю и традиции [1]. В настоящее время на кафедре работают 8 профессоров, к которым нужно ещё добавить и директора Института химии СПбГУ И.А. Балову, 8 доцентов, 3 научных сотрудника, а также 6 ассистентов и 1 старший преподаватель Кадрового резерва Института химии СПбГУ. В 2017 году на кафедре проводились исследования в рамках проектов, поддержанные грантами РФФИ (21 проект) и РНФ (руководители А.Ф. Хлебников и М.С. Новиков). Можно также отметить, что руководителями девяти грантов РФФИ являются молодые ученые. Одна научно-исследовательская работа выполнялась в рамках Госконтракта. Ниже кратко представлены актуальные направления исследований научных групп кафедры органической химии СПбГУ и наиболее важные результаты, полученные в течение последних 5-6 лет.

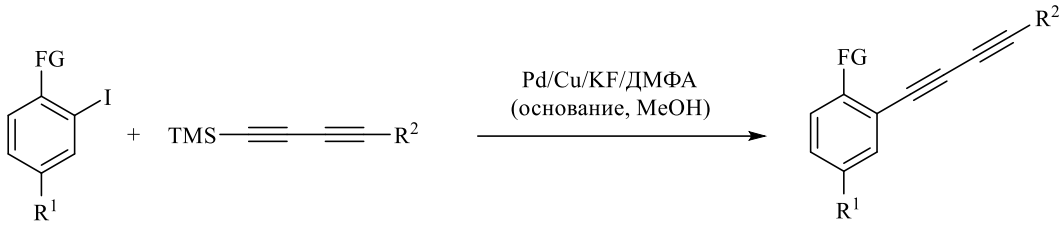
Основными направлениями исследований научной группы **д.х.н., директора Института химии СПбГУ И.А. Баловой** являются синтез и превращения функционализированных ацетиленовых и диацетиленовых соединений, получение гетероциклических соединений на их основе [2−13], металл-катализируемые реакции [7,14−17]. Для синтеза функционализированных диацетиленов применяется оригинальный подход с использованием реакции «диацетиленовой молнии» – метода получения терминальных диацетиленов из доступных и устойчивых интернальных изомеров под действием 2-аминоэтиламида лития (LAETA), и последующее кросс-сочетание Соногаширы [3,8−11,13] (схема 1).

Схема 1



Показана возможность успешного применения фторида калия как основания в реакции Соногаширы бута-1,3-диинилсиланов при *one-pot* десилилировании для получения функционализированных арилдиацетиленов, а также для введения ацетиленовых фрагментов в гетероциклические системы [3,5-8,10] (схема 2).

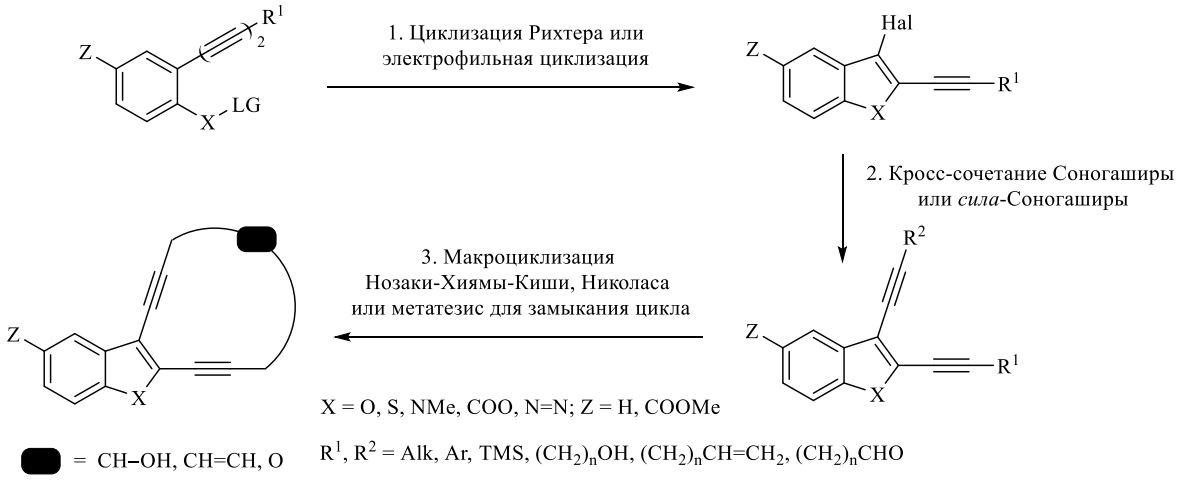
Схема 2



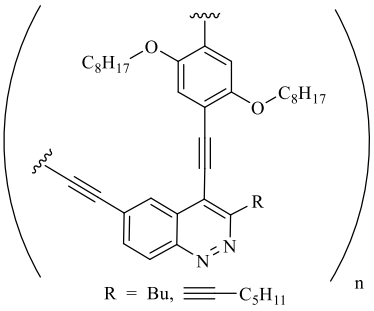
FG = COOMe, SMe, N=N-N(Et)Ph; R^1 = H, Br, COOEt; R^2 = C_5H_{11}, $(CH_2)_2OH$, CH_2OMe

Предложена и разработана эффективная стратегия синтеза ендиинов, сопряженных с различными гетероциклами – аналогов природных ендииновых антибиотиков. Синтетический подход основан на электрофильной циклизации *орто*-функциональных (бута-1,3-диинил)аренов – одностадийного способа получения 2-этинил-3-йодгетероинденов [6,7,10,12] и изокумаринов [5], и последующего кросс-сочетания продуктов циклизации с терминальными ацетиленами по протоколу Соногаширы (схема 3). Контроль региоселективности введения различных этинильных заместителей в гетероцикл, толерантность разработанного метода по отношению к множеству функциональных групп, является большим преимуществом при использовании предложенного подхода в синтезе макроциклических ендиинов. Для получения 12- и 11-членных макроциклов, конденсированных с гетероциклическим ядром, впервые был применен метатезис (Ring-Closing Metathesis) [7,12]; в синтезе 9- и 10-членных макроциклических ендиинов успешно использована реакция Николаса [6] (схема 3). Последние показали значительную способность к повреждению ДНК в экспериментах на плазмидах.

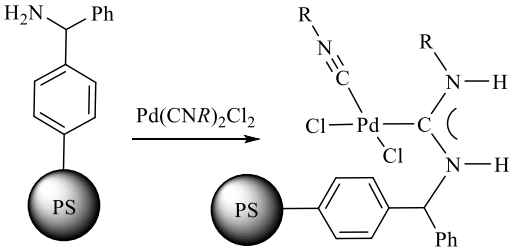
Схема 3



Циклизация Рихтера этинил- и бутадиинилзамещенных триазенов [8,13] была применена для получения флуоресцирующих олигофениленэтиниленов, содержащих циннолиновый фрагмент и проявляющих хемосенсорные свойства на ионы Pd(II) [8].



Разработка новых высокоактивных гетерогенных [15,16] и гомогенных [17] катализаторов на основе ациклических диаминокарбеновых комплексов палладия(II) для реакций гомо- и кросс-сочетаний – еще одно важное направление исследований. Принципиально новый подход предложен для одновременного генерирования и иммобилизации ациклических диаминокарбеновых комплексов палладия(II) (ADC-Pd) на поверхности полистирола [15] при использовании металл-промотируемого нуклеофильного присоединения NH_2-группы бензгидриламинной смолы к изоцианидному лиганду в составе комплекса палладия(II).



R = *tret*-Bu, Cy

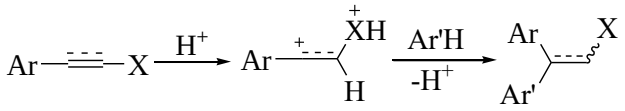
Этот тип гетерогенных прекатализаторов оказался эффективен и в условиях реакции Сузуки, и для кросс-сочетания Соногаширы, сохраняя высокую активность до 8 циклов. Данный подход был также успешно применен к синтезу иммобилизированного на полимерном носителе хирального ациклического диаминокарбенового комплекса палладия(II) [16].

Научная группа **д.х.н., профессора А.В. Васильева** развивает методы синтеза на основе электрофильной активации органических соединений действием суперкислот Бренстеда, сильных кислот Льюиса и кислотных цеолитов. Основные полученные результаты представлены в обзорах [18-21].

Разработаны способы алкенилирования и алкилирования аренов с помощью катионов, генерируемых из алкинов [22-24] и алкенов [25-29], содержащих акцепторные или гетероциклические заместители (схема 4). Внутримолекулярные реакции

ацетиленовых производных приводят к получению различных карбо- и гетероциклов [19,21,23,24].

Схема 4

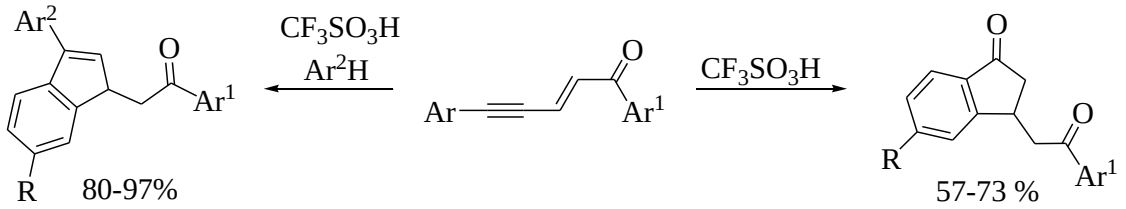


X - электроноакцепторные или гетероциклические заместители

H^+ - кислоты Бренстеда, Льюиса, кислотные цеолиты

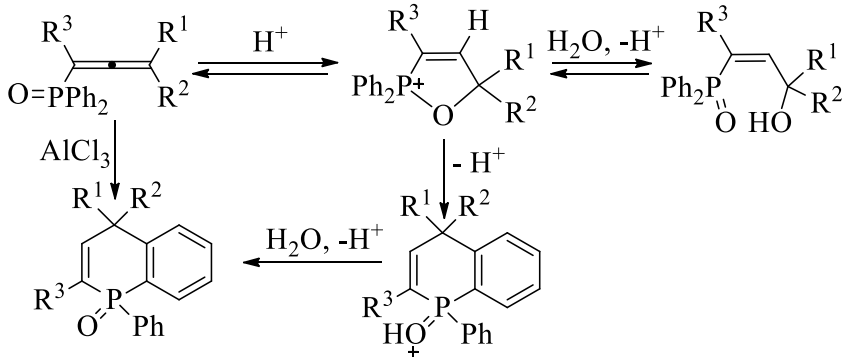
В условиях суперэлектрофильной активации в CF_3SO_3H 1,5-диарилпент-2-ен-4-ин-1-оны (сопряженные енионы) протонируются по карбонильной группе и кратным связям с образованием катионных частиц, имеющих несколько электрофильных центров. В результате внутри- и межмолекулярных превращений такие енионы дают разнообразные производные инданового ряда (схема 5) [30,31].

Схема 5



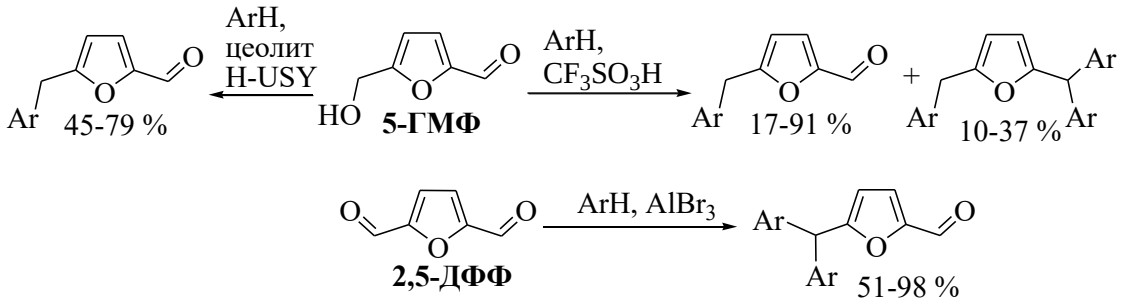
Фосфорсодержащие аллены под действием сильных кислот Бренстеда и Льюиса переходят в фосфагетероциклы и другие соединения (схема 6). Катионные интермедиаты этих превращений охарактеризованы и подробно исследованы методами ЯМР ^1H, ^{13}C и ^{31}P [32-34].

Схема 6



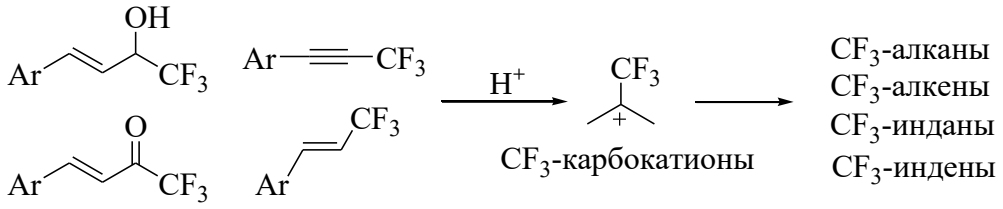
Использование сильнокислотных реагентов позволяет осуществлять широкие модификации гетероциклических систем за счет реакций по двойным связям [27,28], гидроксиметильным [35] или альдегидным группам [35,36] в боковых цепях гетероциклов. Так, на основе превращений 5-гидроксиметилфурфурола (5-ГМФ) и 2,5-диформилфурана (2,5-ДФФ) реализован синтез нескольких серий новых соединений фуранового ряда (схема 7) [35].

Схема 7

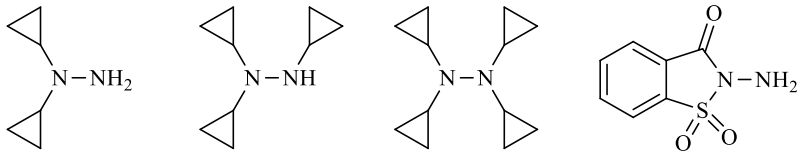


Отдельное направление посвящено синтезу и электрофильной активации фторорганических соединений. Протонирование CF_3-замещенных спиртов, кетонов, алкенов и алкинов приводит к генерированию высоко реакционноспособных карбокатионов, последующие превращения которых заканчиваются образованием фторированных производных (схема 8) [22,26,37-40]. Для синтезированных CF_3-инданов обнаружены важные биологически активные свойства [37].

Схема 8

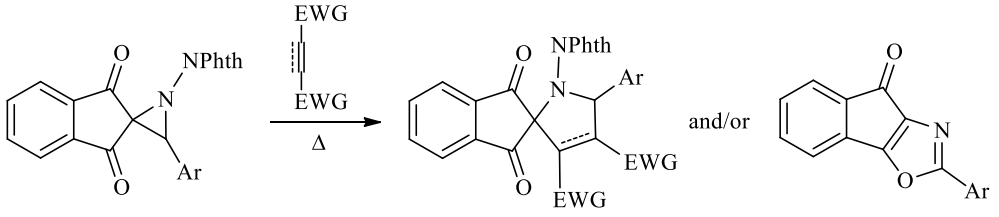


Исследования научной группы **заведующего кафедрой органической химии, д.х.н., профессора М.А. Кузнецова** традиционно связаны с двумя направлениями: химия органических производных гидразина и синтез разнообразных азотистых гетероциклов. В последние годы были синтезированы и исследованы свойства трёх неизвестных ранее циклопропилгидразинов [41], а также *N*-аминосахарина [42]



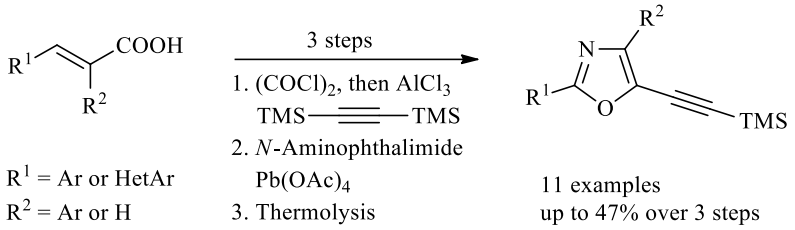
Большое внимание уделялось синтезу производных *N*-аминоазиридина методом окислительного аминоазиридинирования (работы суммированы в обзоре [43]), а также превращениям получающихся продуктов. Так, фталимидоазиридинированием арилидениндандионов получены спироазиридины, для которых в условиях термолиза реализовано 1,3-диполярное циклоприсоединение и превращение в оксазолы (схема 9) [44].

Схема 9



Предложен трёхстадийный метод синтеза 5-этинилоксазолов из производных акриловых кислот, ключевым превращением которого является электроциклизация азометинилидов, термически генерируемых из продуктов азиридинирования 5-(триметилсилил)пент-1-ен-4-ин-3-онов (схема 10) [45].

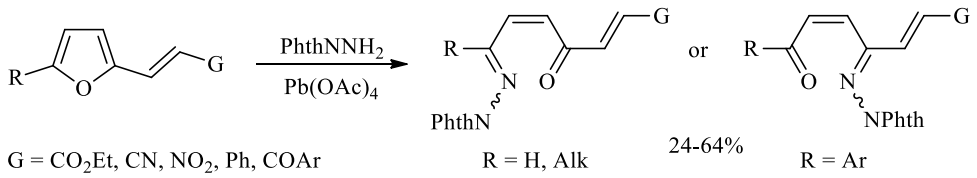
Схема 10



В то же время, окислительное фталимидоазиридинирование арилиминов халконов приводит не к ожидаемым имидоилазиридинам или имидазолам, а к продуктам более глубоких превращений, 1,3,5-триарилпиразолинам [46].

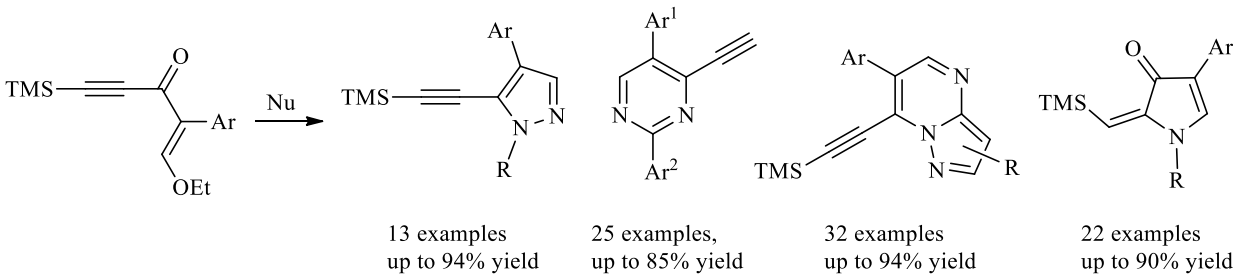
Изучена термическая перегруппировка 2,3-диарил-1-фталимидоазиридинов в имины [47], а также окислительное присоединение *N*-аминофталимида к производным 2-винилфурана, проходящее по эндоциклическим двойным связям и приводящее к раскрытию циклов в монофталоилгидразоны гекса-2,5-диен-1,4-дионов (схема 11) [48].

Схема 11



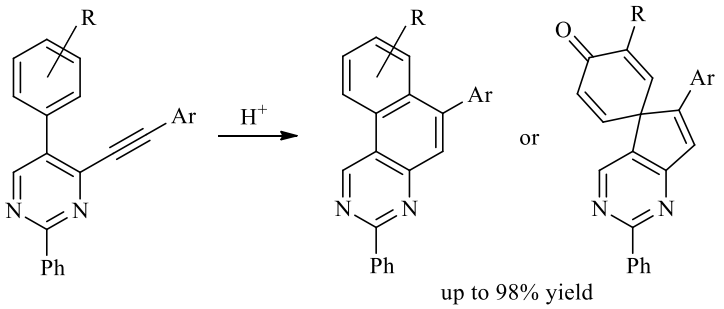
Разработан способ получения 5-(триметилсилил)-1-этоксипент-1-ен-4-ин-3-онов и исследовано их взаимодействие с рядом азотистых нуклеофилов. В результате предложены новые методы синтеза ряда этинил- [49-51] и метиленсамещённых гетероциклов (схема 12) [52].

Схема 12



Показана возможность кислотно-катализируемой циклизации *орто*-арил(этинил)пиримидинов в бензо[*f*]хиназолины и спиросочленённые трициклические гетероциклы (схема 13) [53].

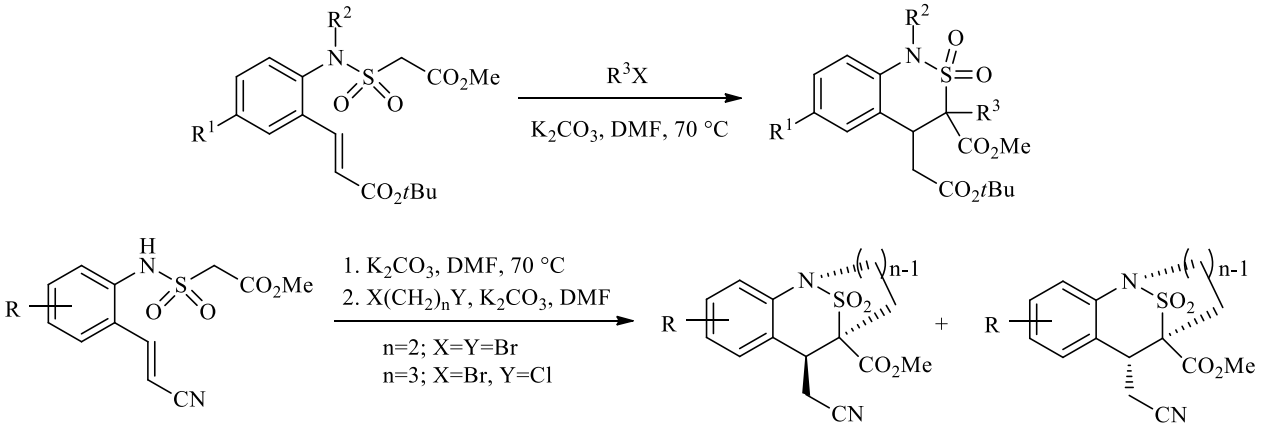
Схема 13



Разработан способ селективного формилирования пирролов в третье положение путём использования стерически загруженных формамидов в реакции Вильсмайера-Хаака [54]. Исследована региоселективность взаимодействия несимметричных тиомочевин с производными малеиновой кислоты и таутомерия продуктов в растворе [55,56].

На схеме 14 приведены примеры синтезов высокофункционализированных би- и трициклических сультамов, которыми занимается д.х.н., доцент В.В. Соколов. Эти соединения представляют несомненный интерес как потенциальные сульфамидные препараты нового типа [57-60]:

Схема 14



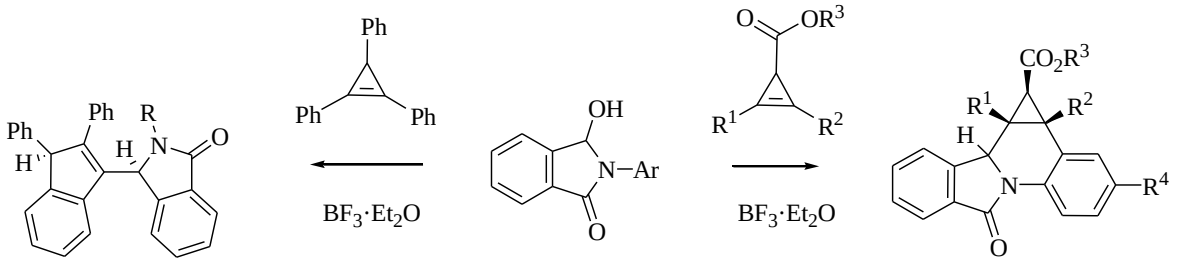
Общим направлением работы к.х.н., доцента П.С. Лобанова стало изучение методов синтеза, реакционной способности и биологической активности пяти- и шестичленных ароматических азотистых гетероциклов. В результате исследования циклоконденсаций акцепторнозамещённых ендиаминов и енаминов с различными типами ароматических диэлектрофилов найдены новые удобные пути синтеза изохинолинов, индолов, циннолинов, а также некоторых их азааналогов, впервые получен новый тип *пери*-конденсированных гетероциклов - пиримидо[4,5,6-*de*][1,8]нафтиридины [61-68]. Эти работы суммированы в обзорах [69,70].

Детальное исследование перегруппировки виниловых эфиров α-ацилацетамидоксимов позволило выявить синтетические возможности и ограничения этой реакции, как метода синтеза 2-аминопирролов [71].

Совместно с группой д.б.н. А.О. Шпакова (Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова РАН) исследовано влияние структурных факторов на способность новых производных тиенопиримидинов активировать аденилатциклазу и влиять на уровень тестостерона [72-74]. Среди синтезированных тиенопиримидинов найдено соединение, обладающее более высокой активностью, чем ранее описанные.

Одним из направлений, развиваемых на кафедре долгие годы, является химия соединений с напряженными малыми циклами. В рамках этой тематики в научной группе **д.х.н., профессора А.П. Молчанова** изучены реакции *N*-ацилиминиевых катионов с циклопропенами. При взаимодействии циклопропенов с 5-гидрокси-1-арил-1,5-дигидро-*2H*-пиррол-2-онами образуются как продукты формального циклоприсоединения – циклопропа[*c*]изоиндоло[2,1-*a*]хинолин-1-карбоксилаты, так и продукты с раскрытием трехчленного цикла – 3-(*1H*-инден-3-ил)изоиндолины (схема 15). Ряд полученных соединений обладает флуоресцентными свойствами [75].

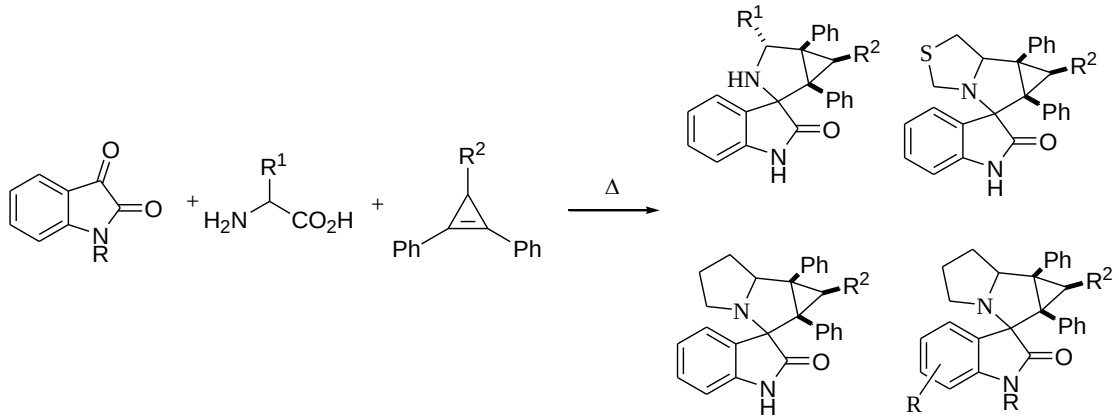
Схема 15



Также впервые изучены реакции циклопропеновых соединений с азометинилидами, генерируемыми из изатина и аминокислот. Найдено, что в реакцию вступают производные 2,3-дифенилциклопроп-2-ен-1-карбоновой кислоты, 1,2,3-трифенилциклопропен, а также 3,3-дифенилциклопропен (схема 16). Показано, что

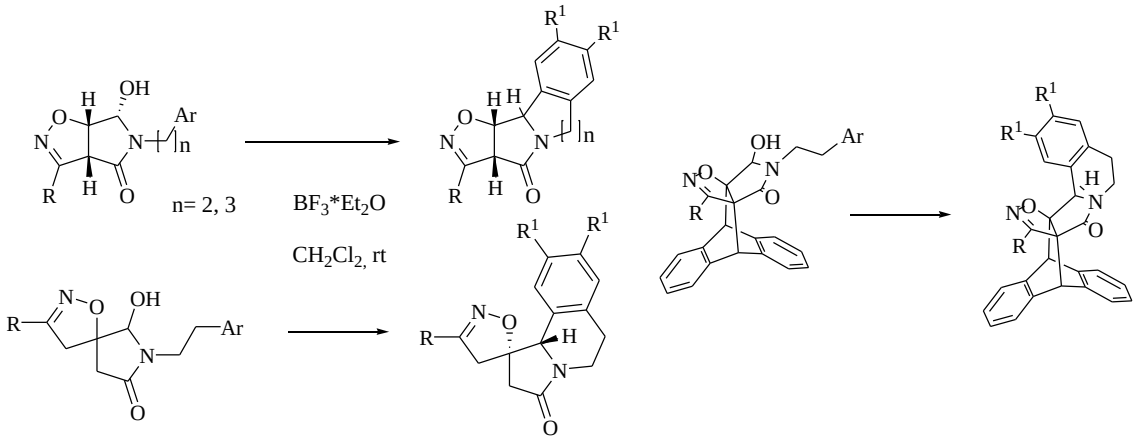
данный метод является хорошим инструментом для синтеза конденсированных полициклических систем с циклопропановым фрагментом [76].

Схема 16



Пирроло[2,1-*a*]изохинолиновый фрагмент является основой эритриновых алкалоидов, обладающих противораковой, антибактериальной, противоопухолевой активностью, а также антивирусными, антидепрессантными, противоокислительнымие свойствами. К наиболее распространенным методам синтеза этих соединений относятся 1,3-диполярное циклоприсоединение *N*-илидов изохинолина к активированным алкинам или олефинам и циклизации ацилиминиевых катионов. Предметом исследований стали внутримолекулярные реакции с участием высокореакционноспособных *N*-ацилиминиевых катионов, генерируемых из гидроксипирроло[3,4-*d*]изоксазолонов, включенных в конденсированные или спиросочлененные гетероциклические системы (схема 17). Необходимые гидроксипирроло[3,4-*d*]изоксазолоны синтезировали из замещенных малеимидов или итаконимидов циклоприсоединением нитрилоксидов с последующим восстановлением одной карбонильной группы. Установлена регио- и стереоселективность реакций, границы применимости подхода [77-79].

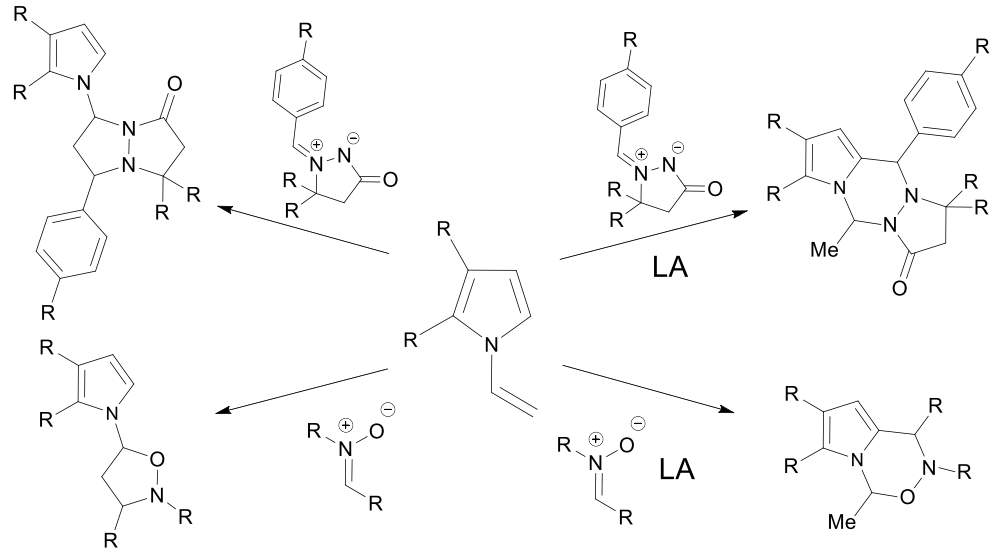
Схема 17



Пиррольный и индольный фрагменты также являются важными структурными компонентами природных соединений, обладающих широким спектром

фармакологических свойств, что мотивировало исследование 1,3-диполярного циклоприсоединения к *N*-винилпирролам и индолам нитронов, азометиниминов и нитрилоксидов. Оказалось, что использование различных катализаторов, в частности, кислот Льюиса, позволяет не только повысить регио- и стереоселективность [3+2]-процесса, но и направить его по пути формального [3+3]-циклоприсоединения (схема 18). [80-82].

Схема 18



Работа научной группы под руководством **д.х.н., профессора В.А. Николаева** развивается в нескольких направлениях, стержнем которых является изучение химии полифункциональных диазокарбонильных соединений (ДКС) в основном и возбужденном состояниях, а также синтез практически значимых молекул на основе их превращений, в том числе:

а) изучение реакций неизвестных ранее фторалкилсодержащих диазодикетонов (*F*-ДКС) с целью синтеза фторсодержащих гетероциклических соединений

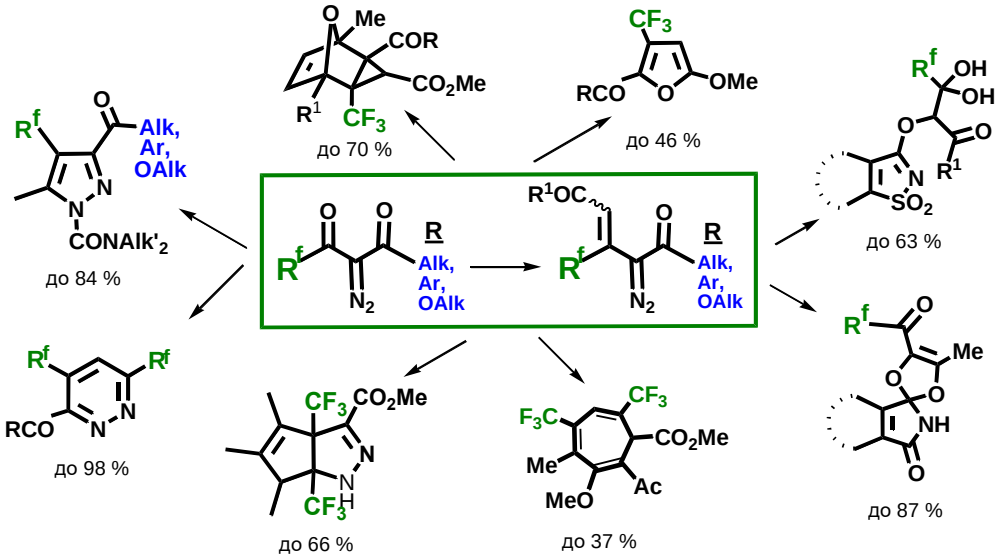
б) изучение катализируемых комплексами переходных металлов (Rh, Cu, Ru) или кислотами Бренстеда превращений ДКС

в) выявление новых фотохимических реакций ДКС, механизма их протекания и возможности применения этих превращений в синтетической практике.

Основная задача научной работы в первом направлении заключается в разработке эффективных методов синтеза новых *F*-ДКС и создании на их основе способов получения недоступных ранее фторсодержащих гетероциклических молекул [83-87]. Изучаемые *F*-ДКС содержат в своей структуре реакционоспособный CF_3-C=O фрагмент, который легко вступает в нетипичные для ДКС реакции, в том числе, в [2+2]-циклоприсоединение по карбонильной группе, а также в реакцию Виттига. Первый

процесс позволяет получать фторалкилсодержащие пиразолы [84], вторая реакция оказалась удобным методом синтеза фторированных винилдиазокарбонильных соединений (***F***-ВДКС), которые, несомненно, обладают огромным синтетическим потенциалом (схема 19) [83-87].

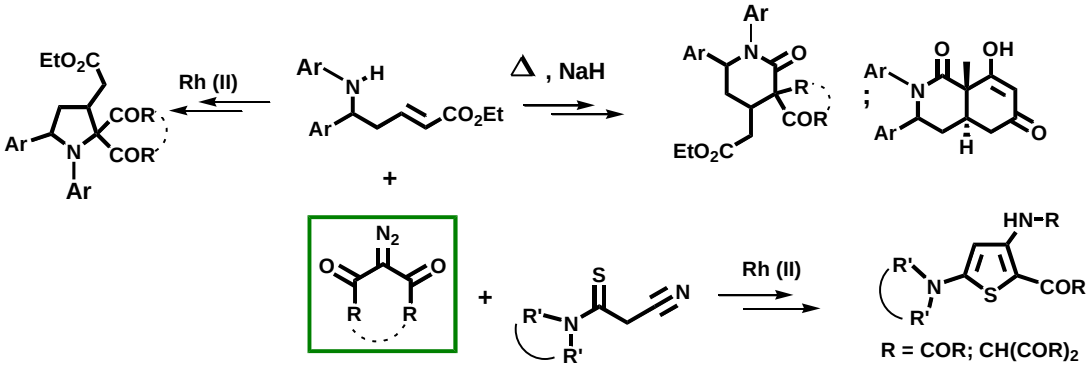
Схема 19



Установлено, что Rh(II)-катализируемое разложение ***F***-ВДКС приводит к внутримолекулярной [1,5]- и [1,3]-электроциклизации с образованием CF_3-замещенных тиофенов и циклопропенов. Последние легко вступают в дальнейшие превращения (например, [4+2]-ЦП к различным диенам) [85]. Термическое разложение ***F***-ВДКС, в основном, дает продукты превращения образующихся карбенов [84]. В присутствии фосфинов ***F***-ВДКС вступают в реакцию *диаза*-Виттига, приводящую к образованию фторалкилзамещенных пиридазинов [83,88].

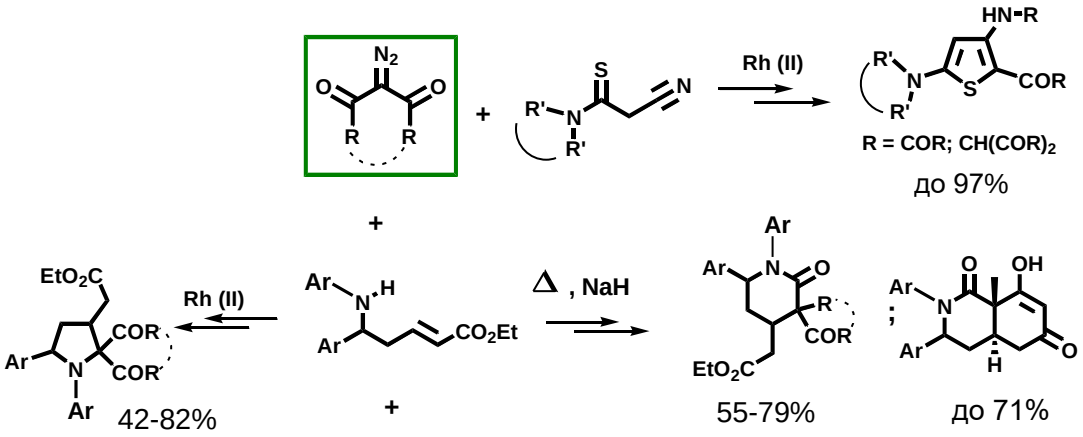
Другим направлением работы группы является установление основных закономерностей реакций промежуточных ‘металло-карбенов’ и илидов, генерируемых при каталитическом разложении диазосоединений, с полифункциональными аминами, имидами, сульфонимидами и другими субстратами, содержащими N, O, S-гетероатомы в структуре молекулы. Эти реакции привлекают большое внимание, и в последнее время были подробно изучены многие *межмолекулярные* реакции *N*- и *O*-илидов с целой серией электрофилов (C=O, C=N, а также активированными кратными связями) [89]. В то же время, аналогичные *внутримолекулярные* превращения, позволяющие получать различные гетероциклические структуры, оставались практически не исследованными. Для восполнения этого пробела проведено изучение Rh(II)-катализируемых реакций диазосоединений с полифункциональными аминами и тиоамидами, содержащими дополнительно электрофильные фрагменты в своей структуре, что позволило предложить новые эффективные подходы к *N*- и *S*-гетероциклическим структурам (схема 20) [90,91].

Схема 20



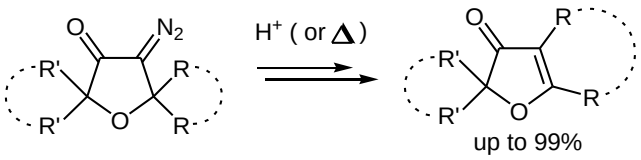
Помимо каталитических реакций, были изучены также термические превращения диазосоединений различных классов с полифункциональными аминами в присутствии NaH, что оказалось удобным методом синтеза сложных конденсированных гетероциклических систем (схема 21) [92].

Схема 21



Катализируемые кислотами превращения ДКС (как и термические) редко применяются в синтетической органической химии. Тем не менее, в случае диазокетонов ряда ТГФ использование катализа сильными кислотами Бренстеда (или термолиза при высоких температурах) привело к образованию 3(*2H*)-фуранонов с практически количественными выходами (схема 22). Полученные 3(*2H*)-фураноны с 4,5-диарильным фрагментом и *n*-SO_2X замещением в одном из колец являются ингибиторами фермента COX-2 и проявляют высокую противовоспалительную активность (NSAIDs) [93-95].

Схема 22

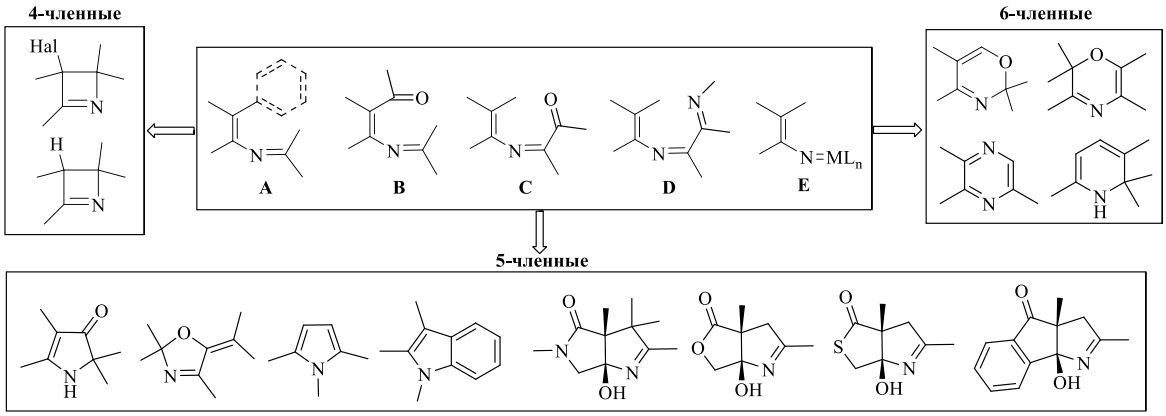


Совместно с коллегами из Лазерного центра СПбГУ в ходе изучения реакций ДКС в возбужденном состоянии экспериментально подтверждено образование основных

интермедиатов, предполагавшихся на пути от исходных диазокарбонильных соединений к продуктам их фотохимических превращений, в том числе – диазиринов, карбенов, кетенов, илидов. Одним из последних достижений научной группы в этой области является разработка нового метода *N*-функционализации С-Н-связей различных органических субстратов с помощью открытой недавно фотохимической реакции ДКС без элиминирования азота, которая позволяет фактически “встраивать” молекулу диазосоединения в структуру С-Н-донора [96-99].

Научная группа **д.х.н., профессора М.С. Новикова** занимается разработкой новых подходов к синтезу 4-6-членных *N*-, *N,O*- и *N,N*- гетероциклов через азаполиеновые интермедиаты. Азаполиеновые синтетические блоки до недавнего времени не пользовались особым вниманием специалистов в области гетероциклической химии и рассматривались исключительно как субстраты для узкого круга реакций [4+2]-циклоприсоединения. Однако последнее десятилетие ознаменовалось открытием целого ряда новых превращений этих высоконепредельных соединений, что резко изменило отношение к ним. Интересы научной группы были сфокусированы на новых превращениях аза-, оксаза- и диазаполиенов типа **A–D** (схема 23), а также их метало-аналогов E, которые оказались уникальными интермедиатами в синтезах разнообразных *N*-, *N,O*- и *N,N*-гетероциклов. Химия этих интермедиатов тесным образом связана с химией 2*H*-азириновых и изоксазольных систем, последние достижения которой подробно отражены в трех обзорных статьях, подготовленных совместно научными группами проф. А.Ф. Хлебникова и проф. М.С. Новикова [100-102].

Схема 23



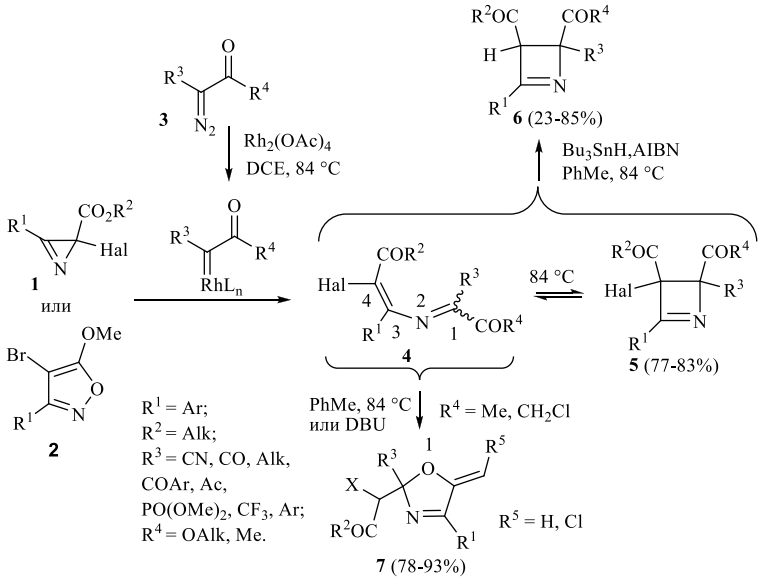
Мощным импульсом для развития химии этих соединений послужила разработка удобного метода их получения/генерирования на основе раскрытия азириновых или изоксазольных циклов с участием карбеноидов [101]. Поскольку при определенных условиях может быть эффективно осуществлено взаимопревращение изоксазол–ацилазирин, при использовании данного метода почти всегда существует возможность выбора между этими субстратами с учетом их относительной доступности,

устойчивости, специфической реакционной способности, толерантности к заместителям и т.д. [102].

Гетерополиены **A–D** могут быть достаточно стабильными соединениями, а могут представлять собой реакционноспособные интермедиаты, которые генерируют *in situ*. Наличие в них одной или более электроноакцепторной группы обусловливает склонность не только к реакциям с нуклеофильными реагентами, но и к термическим и каталитическим циклизациям. Гетероциклические системы, представленные на схеме 23, образуются в результате либо 1,4-, 1,5-, 1,6-циклизации гетерополиена, либо домино-последовательности «1,5-прототропный сдвиг/1,2-прототропный сдвиг/1,5-циклизация».

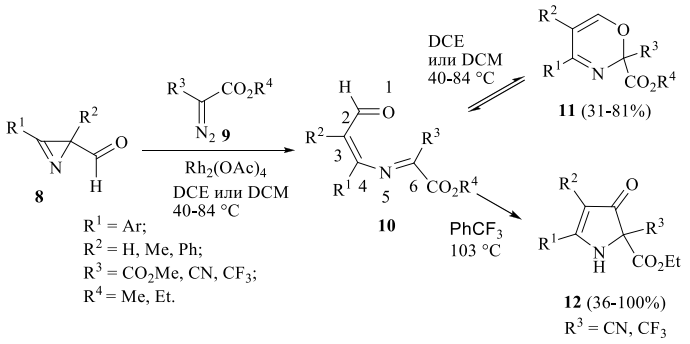
1,4-Циклизация в 2,3-дигидроазеты **5** характерна для 4-галогензамещенных 2-азабута-1,3-диенов **4**, полученных из 2-галогеназиринов **1** или 4-галогенизоксазолов **2** и диазосоединений **3** при катализе $Rh_2(OAc)_4$ (схема 24) [103]. Показано, что эта циклизация реализуется при нагревании и имеет обратимый характер. Разработана оригинальная методика синтеза термически стабильных негалогенированных дигидроазетов **6** действием на равновесную смесь **4/5** Bu_3SnH в присутствии азоизобутиронитрила [104]. Синтезирован широкий ряд дигидразетов **6**, некоторые из которых проявили высокую противоопухолевую активность с высоким апоптозным и низким некротическим потенциалом на клеточной линии моноцитарной лейкемии человека THP-1 [104]. При наличии енолизуемой ацильной группы в при атоме C-1 азадиена **4** в кипящем дихлорэтане наряду с 1,4-циклизацией наблюдается конкурентная 1,5-циклизация в оксазолины **7**, которая становится единственным процессом при температурах выше 100 °C или в присутствии 1,8-диазабицикло[5.4.0]ундец-7-ена.

Схема 24



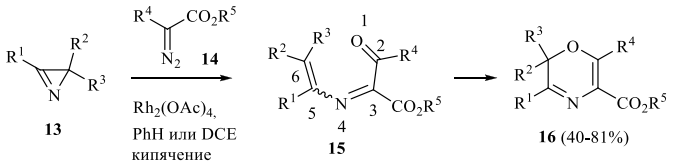
1,5-Оксазагекса-1,3,5-триены **9**, которые были генерированы Rh(II)-катализируемой реакцией диазосоединений 10 с 2-формилзамещенными азиринами **8** [105] или изоксазолами [106], оказались удобными предшественниками сразу двух классов гетероциклов: 2*H*-1,3-оксазинов **11** и 1,2-дигидро-3*H*-пиррол-3-онов **12** (схема 25) [107]. Каждое из этих соединений может быть получено, как правило, с высоким выходом путем варьирования только двух реакционных параметров: температуры и растворителя. Показано, что пирролоны практически количественно образуются при высоких температурах из оксазинов **11**, причем, согласно DFT расчетам, изомеризация реализуется через последовательность превращений «1,5-прототропный сдвиг/1,2-прототропный сдвиг/1,5-циклизация» с участием имидоилкетенового и азометин-илидного интермедиатов.

Схема 25



Разработанный в 2013 г. метод синтеза неконденсированных 2*H*-1,4-оксазинов **16** 1,6-циклизацией 1,4-оксазагекса-1,3,5-триенов **15,** которые генерируют из азиринов **13** и диазокетоэфиров **14** [107] или диазокетонов [108] в присутствии $Rh_2(OAc)_4$, до сих пор остается практически единственным приемлемым методом их получения (схема 26) [109].

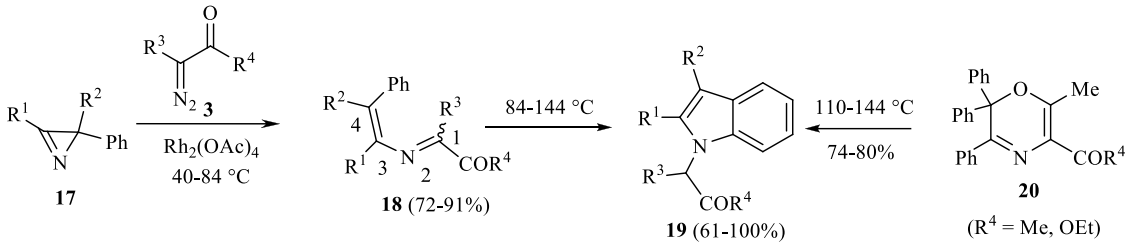
Схема 26



Не так давно была обнаружена термическая 1,5-циклизация 4-арилзамещенных (3*Z*)-2-азадиенов **18**, которая легла в основу синтеза индолов **19** из азиринов **17** или оксазинов **20** (схема 27) [110]. На основании DFT расчетов для этой циклизации был постулирован псевдоперициклический механизм [110]. Позднее было показано, что подобная циклизация, протекающая через азометин-илидный интермедиат, является

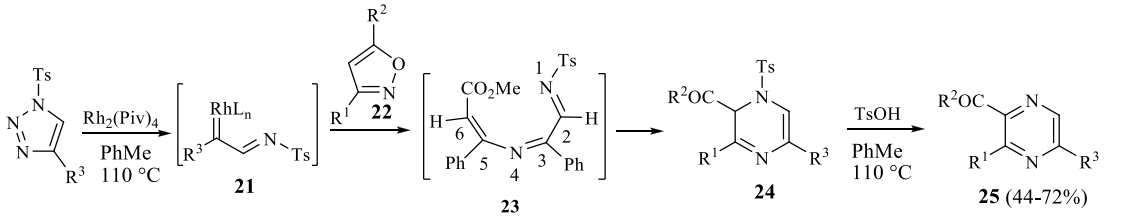
достаточно общей и характерна также для 2-азагекса-1,3,5-триенов [111] и 1,4-диазагекса-1,3,5-триенов [112], циклизующихся в производные пиррола.

Схема 27



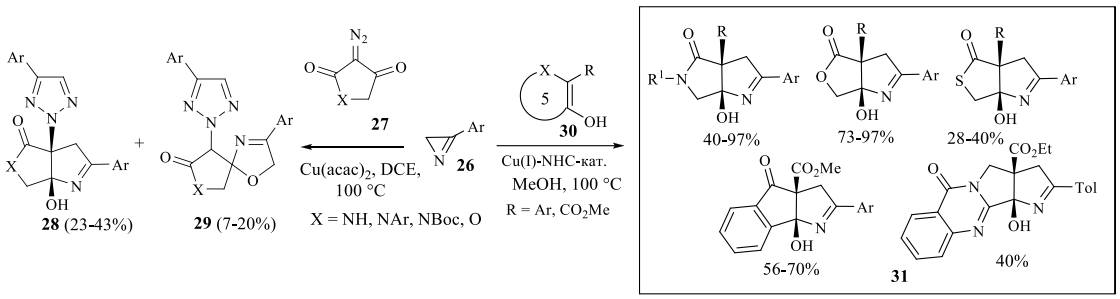
Применение родиевых иминокарбеноидов **21** для генерирования азаполиеновых интермедиатов открывает интересные перспективы для синтеза новых производных пиразина и 3-аминопиррола. В работе [112] установлено, что для реализации «иминокарбеноидной» схемы синтеза дигидропиразинов **24** и пиразинов **25** следует использовать не азириновые, а изоксазольные субстраты **22**, которые позволяют генерировать исключительно (5*Z*)-1,4-диазагексатриены **23**, склонные только к 1,6-циклизации в дигидропиразолы **24** (схема 28). Из азиринов в этой реакции образуются предпочтительно (5*E*)-изомерные диазатриены, для которых характерна 1,5-циклизация в 3-аминопирролы [112].

Схема 28

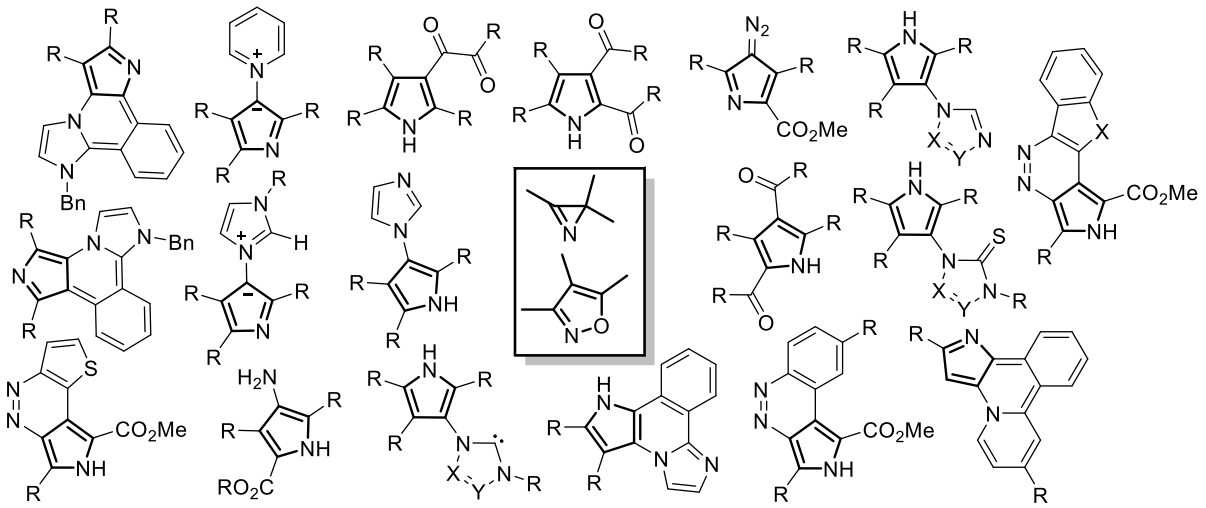


Использование металло-аналогов азаполиенов, Cu(I)- и Cu(II)-винилнитреновых комплексов, это еще одно направление, в котором 2*H*-азирины могут быть успешно использованы в качестве N-C-C синтетических блоков для формирования новых гетероциклических систем. В работе [113] описана необычная Cu(II)-катализируемая реакция сочетания азиринов **26** с диазотетрамовыми и диазотетроновыми кислотами, в которой образуются производные триазола с конденсированными **28** и спиро-сочлененными **29** бициклическими заместителями при атоме N-2 (схема 29). Эта реакция является первым примером формирования 1,2,3-триазольного цикла из (N–N) и (C–C–N) синтетических блоков. На её основе впоследствии удалось разработать эффективный метод аннелирования 5-членных циклических енолов **30** с азиринами при Cu(I)-NHC катализе, что открыло доступ к широкому ряду пирролоконденсированных систем **31** с гидроксильной группой при узловом атоме [114,115].

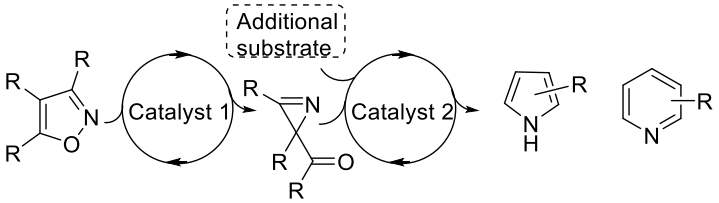
Схема 29



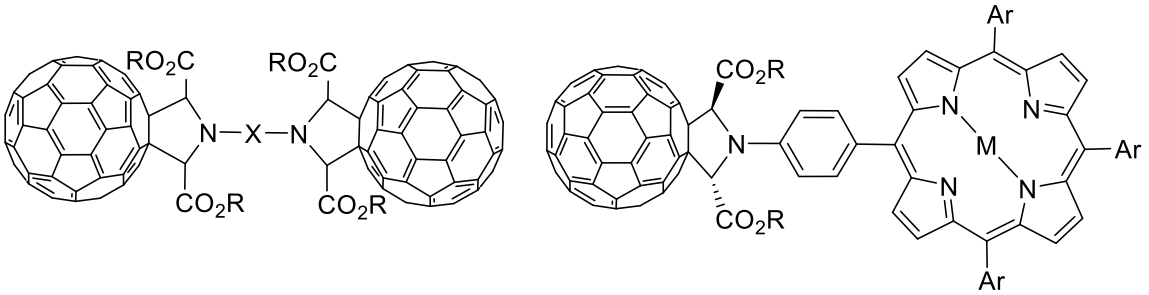
В научной группе **д.х.н., профессора А.Ф. Хлебникова** проводятся исследования по синтезу, изучению химии и синтетическому применению азиринов [100-102,116-123] и азиридинов [124-130], высокая реакционная способность которых обусловлена напряжением цикла, а также изоксазолов, реакционная способность которых в значительной степени связана с наличием лабильной связи N-O [131-135]. Различные аспекты химии азиринов [100-102], азиридинов [124] и изоксазолов [131] обобщены нами в недавно опубликованных обзорах. Цель проводимых исследований заключается в разработке новых эффективных источников активных илидных [121,123,126-130,135-137], бетаиновых [116,117,121,123,133,134] и карбеновых [116,117,136,137] интермедиатов для использования в конструировании сложных гетероциклических систем с полезными свойствами. Для теоретической оценки энергетических характеристик исследуемых реакций и равновесий, рационального выбора реакционных партнеров и выяснения механизмов реакций использовались квантово-химические расчеты методами теории функционала плотности [116,117,119-123,125,126,128,129,133,134,136-138]. В результате проведенных исследований предложена новая стратегия синтеза 3-гетерилпирролов [123], разработаны методы синтеза новых пиррол-содержащих гетероциклических систем [116-123,133-137], в том числе, обладающих флуоресцентными свойствами [116,119,133] для применения в флуоресцентном биоимиджинге [118,119] и в качестве лигандов для новых комплексов металлов [116,117,119,121].



Разработаны эстафетные мультикаталитические схемы для эффективного синтеза азотсодержащих гетероциклических соединений (производных пиррола [134,135] и пиридина [132]), в том числе, путем использования изоксазол-азириновой изомеризации как переключателя реакционной способности [102].



На основе азаридин-илидного подхода реализован дизайн наноразмерных фуллерен- и порфирин-содержащих ансамблей со свойствами, обеспечивающими их применение в фотовольтаике и системах с нелинейными оптическими свойствами [125-130].



Две научные группы в составе кафедры органической химии занимаются исследованиями в области органического анализа, традиционного на кафедре направления, которое берет свое начало от лаборатории **органического анализа**, созданной проф. И.А. Фаворской, и лаборатории **газовой хроматографии**, созданной проф. Б.В. Иоффе.

Научная группа **д.х.н., профессора И.Г. Зенкевича** проводит работы в области хемометрики, развития и совершенствования хроматографических (ГЖХ, ВЭЖХ) и

хромато-спектральных (ГХ-МС, ВЭЖХ-УФ, ВЭЖХ-МС) методов анализа органических соединений, что связано как с решением аналитических задач, так и с рассмотрением проблем органической химии. Задачи первого типа включают совершенствование методов количественного анализа вне зависимости от природы аналитов. Решение же задач идентификации органических соединений, так или иначе, предполагает рассмотрение их физико-химических свойств.

Показано, что нелинейные вариации большинства монотонно изменяющихся в гомологических рядах свойств органических соединений (А) могут быть аппроксимированы линейными (первого порядка) рекуррентными соотношениями:

$$A(n+1) = a\,A(n) + b$$

где A(n+1) – значение свойства А для гомолога, содержащего (n+1) атомов углерода в молекуле, A(n) – то же для гомолога с (n) атомами углерода в молекуле.

При всей кажущейся простоте этого соотношения оно, фактически, соответствует новому принципу аппроксимации. Его математическим «эквивалентом» являются полиномы переменных степеней. Иными словами, при необходимости аппроксимации свойств N гомологов в ряду {1, 2, 3, …, N} для первого из них достаточно полинома первой степени, для второго степень полинома возрастает до двух, а последнего из перечисленных – до N. Такой подход позволяет с высокой точностью вычислять значения большинства «классических» физико-химических свойств гомологов (нормальные температуры кипения, показатели преломления, плотности, вязкости, поверхностное натяжение, энергии ионизации и т.д.) [139-141], констант диссоциации органических кислот [142,143], различных хроматографических параметров [144] и даже октановых чисел углеводородов [145].

Критерий возможности газохроматографического и хромато-масс-спектрометрического анализа термически нестабильных аналитов предложен в результате подробной расшифровки состава реакционных смесей синтеза диазокарбонильных соединений [146,147]. Впервые охарактеризованы моноэфиры органических дикарбоновых кислот на примере фталатов и малеатов. Показано, что в процессе газохроматографического разделения они превращаются в ангидриды [148,149], что объясняет высокую токсичность моноалкилфталатов:

Возможность анализа таких нестабильных соединений как пероксиды и гидропероксиды, если хроматографические системы удовлетворяют современным требованиям инертности [150], продемонстрирована на примере гидропероксида

дибензилового эфира [151]. Деструкция 1,1-диметилгидразина в присутствии серы приводит к образованию другого нестабильного соединения – диметилтионитрозамина $(CH_3)_2N$-N=S [152]. Примечательно, что в последних двух случаях, так же как и для 3,4-дихлор-1,2,5-оксадиазол-2-оксида, образующегося в следовых количествах при нитрозировании дихлорметана [153], установление структуры базируется на масс-спектрах в сочетании с хроматографическими параметрами удерживания.

Получение производных анализируемых соединений используется для оптимизации их хроматографического разделения и детектирования. Так превращение алкилзамещенных фенолов в йодпроизводные позволило снизить пределы их детектирования в водных средах до 0.01 – 0.1 мкг/л [154,155]. Применение диметилацеталя диметилформамида (DMFDMA) для превращения карбоновых кислот в метиловые эфиры, а аминосоединений – в *N*-диметиламинометиленовые производные известно давно, но систематическая характеристика соответствующих производных аминокислот масс-спектрами и индексами удерживания на стандартных неполярных фазах (RI) была выполнена только в 2015 г. Сравнение величин RI карбонильных соединений и продуктов их взаимодействия с DMFDMA позволяет уточнять природу карбонильных групп, в частности, различать алифатические и алициклические карбонильные соединения, а также отличать их от алкиларилкетонов [156,157].

Детальный анализ литературных данных, особенно, опубликованных после 2008 г., позволил выявить появление опасной тенденции представления результатов хромато-масс-спектрометрического анализа – некритического отношения к содержанию списков идентифицированных компонентов сложных образцов. Некоторые причины этой тенденции проанализированы в работе [158], а интересным примером представляется «обнаружение» спиро[2.4]гепта-4,6-диена в различных природных объектах, декларированное в полутора десятках публикаций 2002-2016 гг. Специальное рассмотрение проблемы [159] показало, что во всех случаях речь идет об ошибочной идентификации изомерного ему толуола C_7H_8, обладающего не только сходным масс-спектром, но и практически совпадающим индексом удерживания на стандартных неполярных фазах.

Важным вкладом в теорию идентификации органических соединений стал вывод о свойствах разностей значений одномерных свойств или аналитических параметров. Если значения двух свойств A и B характеризуют индивидуальные соединения, то их разности (A – B) становятся информативными на более общих уровнях групповой идентификации [160].

Работы научной группы **д.х.н., профессора Л.А. Карцовой** направлены на разработку селективного хроматографического (ВЭЖХ, ВЭТСХ, HILIC) и электрофоретического (КЗЭ, КЭХ, МЭКХ) определения биологически активных аналитов (белки, аминокислоты, стероидные гормоны и НПС, катехоламины, катехины и др.) в сложных матрицах с участием организованных сред (макроциклические и ион-парные агенты, дендритные полимеры, мицеллы, микроэмульсии).

Одно из основных направлений в практике клинической медицины - экспресс-диагностика разнообразных заболеваний по характеристическим хроматографическим и электрофоретическим профилям биологически активных соединений с последующей хемометрической обработкой полученных данных, что позволяет обнаруживать новые диагностические биомаркеры и осуществлять контроль эффективности проводимой лекарственной терапии. Показана перспективность применения метаболических профилей в качестве дополнительных диагностических критериев эндокринных патологий. Применяя метод формального независимого моделирования аналогий классов к хроматографическим и электрофоретическим стероидным профилям, показана возможность проводить классификацию образцов сыворотки крови по типу «норма» - «патология» [161, 162]. Подобный подход применен и при анализе других объектов со сложной матрицей, содержащей биологически активные соединения [163,164]. Обсуждены возможности физико-химических методов (хроматографических, электрофоретических, потенциометрических, вольтамперометрических, хромато-масс-спектрометрических), а также тест-методов при определении диагностических маркеров различных заболеваний [165-170]. Предложен вариант одновременного определения четырёх противотуберкулезных препаратов (ПТП) (*этамбутол, пиразинамид, изониазид, рифампицин*) в плазме крови человека и их метаболитов методом ОФ ВЭЖХ с тандемным масс-спектрометрическим детектированием с электроспрей ионизацией в режиме положительной ионизации путём мониторинга множественных реакций (MRM) [171].

Ключевыми параметрами хроматографического и электрофоретического анализа являются эффективность и селективность разделения. Один из подходов влиять на них заключается во введении в стационарные фазы, элюент, фоновый электролит различных модификаторов и комплексообразователей (циклодекстринов, поверхностно-активных веществ (ПАВ), полимерных материалов, ионов металлов и т.д.)[172]. Полимерные модификаторы, обладая устойчивой мицеллоподобной структурой и большим количеством терминальных групп, имеют значительные преимущества, отличающие их от низкомолекулярных аналогов. В первую очередь, это касается

многофункциональности подобных материалов. В сфере наших интересов – полимеры, имеющие ионные или ионогенные группы: **наноанионит** на основе сополимера стирола и дивинилбензола с терминальными четвертичными аммонийными группам, сверхразветвленные полимеры (**СРП)** на основе полиэтиленимина с олигосахаридной оболочкой и **высокофторированные полимеры**, содержащие терминальные отрицательно и положительно заряженные группы.

Были выявлены перспективы применения *Наночастиц* анионита (НИА) при создании стабильных в широком диапазоне pH покрытий стенок кварцевого капилляра для селективного электрофоретического разделения органических и неорганических ионов. Возможности НИА показаны при анализе смесей органических кислот: щавелевой, винной, яблочной, лимонной, молочной и янтарной. Электростэкинг, как и ранее, обеспечил лучшие результаты: концентрирование до 5000 раз, а пределы обнаружения – 1-2 нг/мл. Разработанный вариант реализован при электрофоретическом определении неорганических анионов в моче [173].

Перспективы использования водорастворимых **СРП** в качестве стационарных и псевдостационарных фаз обусловлены их уникальными физико-химическими характеристиками: стабильная мицеллоподобная структура; наличие внутримолекулярных полостей, обеспечивающих способность образовывать комплексы типа «*гость-хозяин*», меняя миграционные характеристики аналитов. СРП успешно зарекомендовали себя в качестве компонентов электрофоретических систем при разделении белков лизоцима, миоглобина, инсулина, и альбумина [174-177]. Предложен вариант формирования физически-адсор**б**ированного покрытия стенок кварцевого капилляра СРП с олигосахаридной оболочкой при обработке капилляра в щелочной среде растворами комплексов «Cu^{2+}- СРП» (Рис. 1). Дендритный полимер, введенный в фоновый электролит, в зависимости от pH, выполняет двойную функцию: псевдостационарной фазы и модификатора стенок кварцевого капилляра, предотвращая сорбцию белков. Установлено, что изучаемые СРП проявляют свойства хиральных селекторов, обеспечивая высокие факторы энантиоселективности при разделении энантиомеров β-блокаторов [178,179].

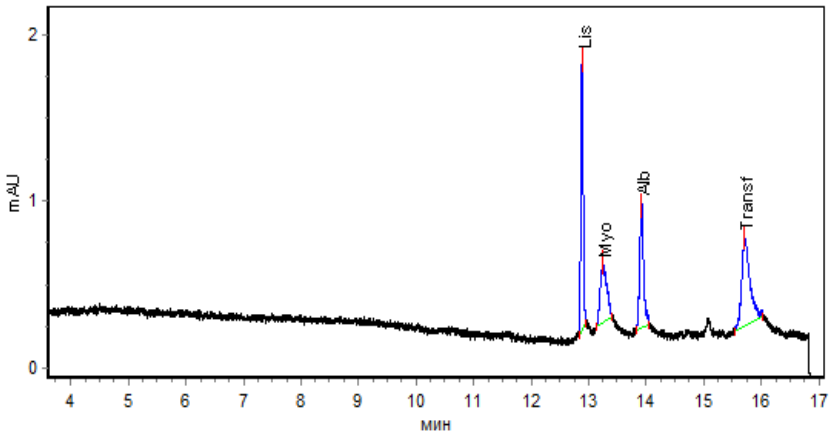


Рис. 1. Электрофореграмма смеси белков (50 мкг/мл) на модифицированном Cu^{+2}-PEI-Mal-B (4:1, мольн.) капилляре. Условия: Система КЭ «КАПЕЛЬ-105М»; УФ детектирование (210 нм); 20кВ; ввод пробы гидродинамический 2с 30 мбар; фоновый электролит - 100 мМ фосфатный буферный раствор (pH = 2).

Водорастворимые высокофторированные полимеры характеризуются способностью к гидрофобным взаимодействиям с разделяемыми аналитами. Они могут, в отличие от описанных выше полимерных модификаторов, служить альтернативой применяемым в электрофорезе ПАВ для разделения нейтральных соединений. Введение ионогенных групп обеспечило фторполимерам наличие собственной электрофоретической подвижности и проявление различных кислотно-основных функций. Выявлены возможности использования сополимера перфтор(3,6-диокса-4-метил-7-октен)сульфонилфторида с этиленом (аналог нафиона) и полимеров на основе перфтор(3,6-диокса-4-метил-8-нонен)сульфонилфторида и их производных в качестве модификаторов рабочего буфера в КЭ и элюента в ВЭЖХ и ВЭТСХ.

Полученные фторполимеры с ионогенными терминальными группами могут выполнять функции мицеллоподобных фаз, что подтверждается разделением нейтральных аналитов – стероидных гормонов, которые в отсутствии полимерного модификатора мигрируют вместе с электроосмотическим потоком [180, 181], и приводит к высокой эффективности (≥100 000 т.т./м) и селективности разделения катехоламинов, белков, аминокислот по сравнению с традиционно используемым детергентом додецилсульфатом натрия (Рис.2).

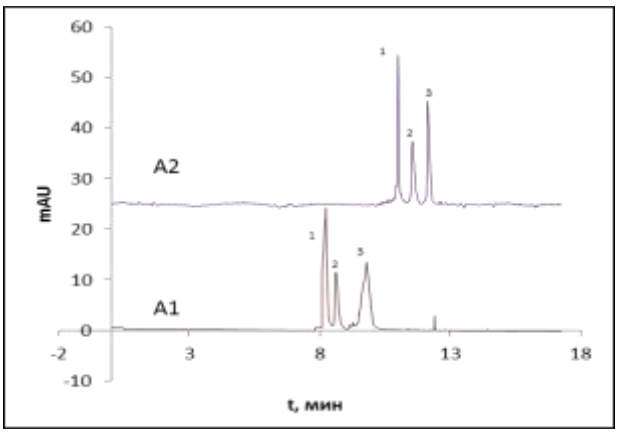


Рис. 2. Электрофореграммы модельной смеси белков: 1-лизоцим, 2-миоглобин, 3-альбумин. Условия: 100 мМ фосфатный буферный раствор, pH 2, 15% об. ацетонитрила, гидродинамический ввод пробы, 2 с, 30 мбар, 20 кВ. А1 – без модификатора, А2 – 4 мг/мл фторполимер-SO_2NH_2.

Установленные закономерности апробированы при анализе фармпрепаратов (определение энантиомерного состава в препаратах «Анаприлин», «Акридилол»), биологических жидкостей (анионный состав мочи, определение альбумина в крови и лизоцима в слюне), образцов белого и красного вина (количественный анализ органических кислот).

Широкое применение в методах разделения находят **ионные жидкости (ИЖ)**. Введение ИЖ на основе имидазола в фоновый электролит приводит к динамической модификации стенок кварцевого капилляра, а при концентрациях, превышающих критическую концентрацию мицеллообразования, формируется мицеллярная фаза, что открывает резервы для регулирования эффективности и селективности разделения аналитов различной природы [182-186]. Применение внутрикапиллярного концентрирования с использованием ИЖ C_{16}MImCl в составе буферного электролита позволило сконцентрировать аминокислоты и катехоламины в 10-14 раз. Предложена схема электрофоретического определения кортикостероидов в образцах мочи с пределами обнаружения гормонов 30-95 нг/мл с применением C_{16}MImCl в качестве *псевдостационарной* фазы.

Подобная логика модификации реализована и в разработанной микрофлюидной системе (МФС) капиллярного электрофореза с электрохимическим детектированием для определения электрохимически активных соединений [187,188]. Описан процесс изготовления чипа на основе полидиметилсилоксана и стекла [187]. Изучены возможности обработки поверхности канала чипа в газовом разряде додецилсульфатом натрия, дезоксихолатом натрия, ионной жидкостью: хлоридом

додецилтриметилимидазолия. Выявлены возможности использования разработанной МФС для определения нейромедиаторов.

Список литературы

1. Кузнецов М.А., Васильев А.В., Ищенко М.А., и др. *ЖОрХ*, 2017, *53*, 1257. [Kuznetsov, M.A., Vasilyev A.V., Ishchenko et al. *Russ. J. Org. Chem.* 2017, *53*, 1275]
2. Данилкина Н.А., Куляшова А.Е., Балова И.А. *ХГС*, **2012**, 100. [Danilkina N.A., Kulyashova A.E., Balova I.A.. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2012**, *48*, 95.]
3. Ляпунова А.Г., Дьяченко А.С., Данилкина Н.А. *ЖОрХ*, **2017**, *53*, 783. [Lyapunova A.G., D'yachenko A.S., Danilkina N.A. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, *53 in press*]
4. Govdi A.I., Kulyashova A.E., Vasilevsky S.F., Balova I.A. *Tetrahedron Letters*. **2017**, *58*, 762.
5. Danilkina N.A., Gurskaya L.Y., Vasilyev A.V., Balova I.A. *Eur. J. Org. Chem*. **2016,** 739.
6. Lyapunova A.G., Danilkina N.A., Khlebnikov A.F., Köberle B., Bräse S., Balova I.A. *Eur. J. Org. Chem.* **2016**, 4842.
7. Danilkina N.A., Lyapunova A.G., Khlebnikov A.F., Starova G.L., Bräse S., Balova I.A. *J. Org. Chem*. **2015**, *80*, 5546.
8. Danilkina N.A., Vlasov P.S., Vodianik S.M., Kruchinin A.A., Vlasov Y.G., Balova I.A. *Beilst. J. Org. Chem.* **2015**, *11*, 373**.**
9. Kulyashova, A.E., N. A. Danilkina, Miheeva E., Balova I.A. *Mendeleev Commun.* **2014,** *24*, 102.
10. Danilkina N.A., Kulyashova A.E., Khlebnikov A.F., Bräse S., Balova I.A. *J. Org. Chem*. **2014**, *79*, 9018.
11. Kulyashova A.E., Sorokoumov V.N., Popik V.V., Balova I.A. *Tetrahedron Lett.* **2013,** *54*, 2235.
12. Danilkina N., Nieger M., Selivanov S., Bräse S., Balova I. *Eur. J. Org. Chem.* **2012**, 5660.
13. Данилкина Н.А., Горбунова Е.В., Сорокоумов В.Н., Балова. И.А. *ЖОрХ*, **2012**, *48*, 1428. [Danilkina N.A., Gorbunova E.G. Sorokoumov V.N., Balova I.A. *Russ. J. Org. Chem.* **2012**, *48*, 1424.]
14. Михайлов В.Н., Сорокоумов В.Н., Балова И.А. *Усп. хим.* **2017**, 86, 459. [Mikhaylov V.N., Sorokoumov V.N., Balova I.A. *Russ. Chem. Rev.* **2017**, 86, 459.]
15. Mikhaylov V.N., Sorokoumov V.N., Korvinson K.A., Novikov A.S., Balova I.A. *Organometallics.* **2016**, 35, 1684.
16. Михайлов В.Н., Корвинсон К., Сорокоумов В.Н. *ЖОХ*, **2016**, 86, 1830. [Mikhailov V.N., Korvinson K., Sorokoumov V.N. *Russ. J. Gen. Chem.* **2016**, 86, 2473.]

17. 16. Ryabukhin D.S., Sorokoumov V.N., Savicheva E.A., Boyarskiy V.P., Balova I.A., Vasilyev A.V. *Tetrahedron Lett.* **2013**, 54, 2369.
18. Васильев А.В. *Усп. хим.* **2013**, *82*, 187. [Vasilyev A.V. *Russ. Chem. Rev.* **2013**, *82*, 187.]
19. Рябухин Д.С., Васильев А.В. *Усп. хим.* **2016**, *85*, 637. [Ryabukhin D. S., Vasilyev A. V. *Russ. Chem. Rev.* **2016**, *85*, 637].
20. Boyarskiy V.P., Ryabukhin D.S., Bokach N.A., Vasilyev A.V. *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 5894.
21. Казакова А.Н., Васильев А.В. *ЖОрХ.* **2017**, *53*, 479. [Kazakova A.N., Vasilyev A.V. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, *53*, 485.]
22. Alkhafaji H.M.H., Ryabukhin D.S., Muzalevskiy V.M., Vasilyev A.V., Fukin G.K., Shastin A.V., Nenajdenko V.G. *European Journal of Organic Chemistry.* 2013, N 6, p. 1132-1143.
23. Ryabukhin D.S., Gurskaya L.Yu., Fukin G.K., Vasilyev A.V. *Tetrahedron.* **2014**, *70*, 6428.
24. Ryabukhin D.S., Fukin G.K., Vasilyev A.V. *Tetrahedron.* **2014**, *70*, 7865.
25. Zakusilo D.N., Ryabukhin D.S., Boyarskaya I.A., Yuzikhin O.S., Vasilyev A.V. *Tetrahedron.* **2015**, *71*, 102.
26. Sandzhieva M.A., Kazakova A.N., Boyarskaya I.A., Ivanov A. Yu., Nenajdenko V.G., Vasilyev A.V. *J. Org. Chem.* **2016**, *81*, 5032.
27. Lisakova A.D., Ryabukhin D.S., Trifonov R.E., Ostrovskii V.A., Boyarskaya I.A., Vasilyev A.V. *Synthesis.* **2017**, *49*, 579.
28. Zalivatskaya A.S., Ryabukhin D.S., Tarasenko M.V., Ivanov A.Yu., Boyarskaya I.A., Grinenko E.V., Osetrova L.V., Kofanov E.R., Vasilyev A.V. *Beilst. J. Org. Chem.* **2017**, *13*, 883.
29. Kazakova A.N., Bogomazova A.A., Iakovenko R.O., Zlotsky S.S., Vasilyev A.V. *Tetrahedron Lett*. **2016**, *57*, 4210.
30. Saulnier S., Golovanov A.A., Ivanov A. Yu., Boyarskaya I.A., Vasilyev A.V. *J. Org. Chem.* **2016**, *81*, 1967.
31. Saulnier S., Golovanov A.A., Vasilyev A.V. *RSC Adv.* **2016**, *6*, 103546.
32. Bogachenkov A.S., Dogadina A.V., Boyarskaya I.A., Boyarskiy V.P., Vasilyev A.V. *Org. Biomol. Chem.* **2016**, *14*, 1370.
33. Lozovskiy S.V., Bogachenkov A.S., Dogadina A.V., Vasilyev A.V. *Tetrahedron Lett.* **2016**, *57*, 3167.
34. Lozovskiy S.V., Ivanov A.Yu., Bogachenkov A.S., Vasilyev A.V. *ChemistrySelect.* **2017**, *2*, 4505.
35. Ryabukhin D.S., Zakusilo D.N., Kompanets M.O., Tarakanov A.A., Boyarskaya I.A., Artamonova T.O., Khohodorkovskiy M.A., Opeida I.O., Vasilyev A.V. *Beilst. J. Org. Chem.* **2016**, *12*, 2125.

36. Gurskaya L. Yu., Belyanskaya D. S., Ryabukhin D. S., Nilov D. I., Boyarskaya I. A., Vasilyev A. V. *Beilst. J. Org. Chem.* **2016**, *12*, 950.
37. Iakovenko R. O., Kazakova A. N., Muzalevskiy V. M.,Ivanov A. Yu., Boyarkaya I. A., Chicca A., Petrucci V., Gertsch J., Krasavin M., Starova G. L., Zolotarev A. A., Adontceva M. S., Nenajdenko V. G., Vasilyev A.V. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 8827.
38. Kazakova A.N., Iakovenko R.O., Boyarskaya I.A., Nenajdenko V.G., Vasilyev A.V. *J. Org. Chem.* **2015**, *80*, 9506.
39. Kazakova A.N., Iakovenko R.O., Boyarskaya I.A., Ivanov A. Yu., Avdontceva M.S., Zolotarev A.A., Panikorovsky T.L., Starova G.L., Nenajdenko V.G., Vasilyev A.V. *Org. Chem. Front.* **2017**, *4*, 255.
40. Martynov M.Yu., Iakovenko R.O., Kazakova A.N., Boyarskaya I.A., Vasilyev A.V. *Org. Biomol. Chem.* **2017**, *15*, 2541.
41. Shestakov A.N., Kuznetsov M.A. *Chem. Comm*., **2016**, *52*, 2398.
42. Kuznetsov M.A., Shestakov A.N., Zibinsky M., Krasavin M., Supuran C.T., Kalinin S., Tanç M. *Tetrahedron Lett*., **2017**, *58*, 172.
43. Kuznetsov M.A., Kuznetsova L.M., Pankova A.S. *Tetrahedron Lett.*, **2016**, *57*, 3575.
44. Pankova A.S., Kuznetsov M.A. *Tetrahedron Lett.*, **2014**, *55*, 2499.
45. Pankova A.S., Stukalov A.Yu., Kuznetsov M.A. *Org. Lett*., **2015**, *17*, 1826.
46. Stukalov A., Sokolov V.V., Suslonov V.V., Kuznetsov M.A. *Eur. J. Org. Chem*., **2017,** 2587.
47. Pankova A.S., Sorokina M.V., Kuznetsov M.A. *Tetrahedron Lett*., **2015**, *56*, 5381.
48. Sorokina M.V., Pankova A.S., Kuznetsov M.A. *Asian J. Org. Chem*., **2016**, *5*, 389.
49. Pankova A.S., Golubev P.R., Ananyev I.V., Kuznetsov M.A. *Eur. J. Org. Chem*., **2012,** 5965.
50. Golubev P.R.. Pankova A.S., Kuznetsov M.A. *Eur. J. Org. Chem*., **2014**, 3614.
51. Golubev P., Karpova E.A., Pankova A.S., Sorokina M., Kuznetsov M.A. *J. Org. Chem*., **2016**, *81*, 11268.
52. Golubev P.R.. Pankova A.S., Kuznetsov M.A. *J. Org. Chem*., **2015**, *80*, 4545.
53. Shestakov A.N., Pankova A.S., Golubev P., Khlebnikov A.F., Kuznetsov M.A. *Tetrahedron*, **2017**, *73*, 3939.
54. Ilyin P.V., Pankova A.S., Kuznetsov M.A. *Synthesis*, **2012**, *44*, 1353.
55. Pankova A.S., Samartsev M.A., Shulgin I.A., Golubev P.R., Avdontseva M.S., Kuznetsov M.A. *RSC Advances*, **2014**, *4*, 51780.
56. Pankova A.S., Golubev P.R., Khlebnikov A.F., Ivanov A.Yu., Kuznetsov M.A. *Beil. J. Org. Chem*,, **2016**, *12*, 2563.
57. Rassadin V.A., Grosheva D.S., Arefeva I.A., Tomashevskiy A.A., Sokolov V.V., de Meijere A. *Eur. J. Org. Chem*., **2012**, 5028.

58. Рассадин В.А., Грошева Д.С.,. Томашевский А.А, Соколов В.В. ХГС. **2013**, 47 [Rassadin V.A., Grosheva D.S., Tomashevskiy A.A., Sokolov V.V. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2013**, *49*, 39].
59. Соколов В.В., Иванов А.Ю., Авдонцева М.С., Золотарев А.А. *ХГС*. **2014**, 599 [Sokolov V.V., Ivanov A.Y., Avdontseva M.S., Zolotarev A.A. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2014**, *50*, 550].
60. Grosheva D.S., Rassadin V.A., Sokolov V.V. *Eur. J. Org. Chem.*, **2015**, 1533.
61. Выползов А.В., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *Изв. АН. Сер. хим*.,**2012,** 873 [Vypolzov A.V., Dar'in, D.V., Lobanov P.S. *Rus. Chem. Bull*., **2012**, *61*, 877].
62. Игумнова Е.М., Селиванов С.И., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *ХГС*. **2012**, 465 [Igumnova E.M., Selivanov S.I., Dar'in D.V., Lobanov P.S. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2012**, *48*, 436].
63. Бакулина О.Ю., Игумнова Е.М., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *ХГС*. **2013**, 506 [Bakulina O.Yu., Igumnova E.M., Dar'in D.V., Lobanov P.S. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2013**, *49*, 466].
64. Мишина М.С., Иванов А.Ю., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *ХГС*. **2013**, 693 [Mishina M.S., Ivanov A.Yu., Dar'in D.V., Lobanov P.S. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2013**, *49*, 648].
65. Bakulina O.Yu., Ivanov A.Yu., Lobanov P.S., Dar'in, D.V. *Tetrahedron*, **2014**, *70*, 7900.
66. Bakulina O.Yu., Ivanov A.Yu., Lobanov P.S., Dar'in D.V. *Mendeleev Communications*, **2014**, *24*, 163.
67. Chizhova M.E., Bakulina O.Yu., Ivanov A.Yu., Lobanov P.S., Dar'in D.V. *Tetrahedron*, **2015**, *71*, 6196.
68. Dar’in D.V., Ivanov A.Yu., Lobanov P.S. *Journal of Heterocyclic Chemistry*, **2015**, 52, 1192.
69. Лобанов П.С., Дарьин Д.В. *ХГС*. **2013**, 546 [Lobanov P.S., Dar'in D.V. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2013**, *49*, 507].
70. Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *Усп. Хим.* **2015**, *84*, 601. [Dar’in D.V., Lobanov P.S. *Russ. Chem.Rev.*, **2015**, ***84***, 601].
71. Пивнева Е.Е., Галенко А.В., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *ХГС*. **2012**, 942 [Pivneva E.E., Galenko A.V., Dar'in D.V., Lobanov P.S. *Chem. Heterocyclic Compd.*, **2012**, *48*, 875].
72. Шпаков А.О., Дарьин Д.В., Деркач К.В., Лобанов П.С. *Докл. АН,* **2014**, *456*, 494 [Shpakov A.O., Dar'in D.V., Derkach K.V. Lobanov P.S. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, **2014**, *456*, 104].
73. Шпаков А.О., Деркач К.В., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. *Цитология*, **2014**, *56*, 346 [Shpakov A.O., Dar'in D.V., Derkach K.V. Lobanov P.S. *Cell and Tissue Biology*, **2014**, *8*, 400].
74. Деркач К.В., Дарьин Д.В., Лобанов П.С. Шпаков А.О., *Докл. АН,,* **2014**, *459*, 382 [Derkach K.V., Dar’in D.V., Lobanov P. S., Shpakov A.O. *Doklady Biological Sciences*, **2014**, *459*, 326].

75. Larina A.G., Nosova V.E., Filatov A.S., Molchanov A.P., Kostikov R.R., Starova G.L., Zolotarev A.A., Boitsov V.M., Stepakov A.V. *Tetrahedron*, **2016**, *72*, 5064.
76. Filatov A.S., Knyazev N.A., Molchanov A.P., Panikorovsky T.L., Kostikov R.R., Larina A.G., Boitsov V.M., Stepakov A.V. *J. Org.Chem*. **2017**, *82*, 959.
77. Ledovskaya M.S., Stepakov A.V., Boitsov V.M., Kostikov R.R., Molchanov A.P. *Tetrahedron*, **2015**, *71*, 1952.
78. Stepakov A.V., Ledovskaya M.S., Kostikov R.R., Molchanov A.P. *Tetrahedron*, **2015,** *71*, 7562.
79. Ledovskaya M.S., Molchanov A.P.,Kostikov R.R., Panikorovsky T.L., Gurzhiy V.V., Ryazantsev M.N., Boitsov V.M., Stepakov A.V. *Tetrahedron*, **2016**, *72*, 4827.
80. Efremova M.M., Scherbakova V.S., Ivanov A.V., Stepakov A.V.,Kostikov R.R., Molchanov A.P., *Tetrahedron* **2015**, *71*, 2071.
81. Молчанов А.П., Сироткина Е.В.,Ефремова М.М., Костиков Р.Р., Иванов А.В., Щербакова В.С. *ЖОрХ*. **2015**. *51*., 660. [*Russ. J. Org. Chem.* **2015**, *51*, 640.]
82. Efremova M.M., Kostikov R.R., Stepakov A.V.,Panikorovsky T.L., Scherbakova V.S., Ivanov A.V., Molchanov A.P. *Tetrahedron*, **2017**, *73*, 671.
83. Nikolaev V.A., Kappe C. O., Medvedev J.J., Prakash G.K.S. et al. Chem. Eur. Jour. **2016**, 22, 174.
84. Supurgibekov M.B., Cantillo D., Prakash G.K. S., Nikolaev V.A. Org. Biomol. Chem. **2014**, 12, 682.
85. Nikolaev V.A., Supurgibekov M.B., H.M.L. Davies, et al. J. Org. Chem. **2013**, 78, 4239.
86. Nikolaev V.A., Supurgibekov M.B., Haiges R., et al. *J. Fluor. Chem.* **2013**, *156*, 322.
87. Supurgibekov M.B., Prakash G.K. S., Nikolaev V.A. *Synthesis*. **2013,** *45*, 1215.
88. Supurgibekov M.B., Zakharova V.M., Nikolaev V.A. *Tetrahedron Lett.* **2011**, *52*, 341.
89. Медведев Ю.Ю., Николаев В.А. *Усп. Хим.* **2015**, *84*, 737. [Medvedev J.J., Nikolaev V.A. *Russ. Chem. Rev.* **2015**, *84*, 737].
90. Medvedev J.J., Galkina O.S., Klinkova A.A., Giera D.S., Hennig L., Schneider C., Nikolaev V.A. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 2640.
91. Medvedev J.J., Meleshina M.V., Panikorovskii T.L., Schneider C., Nikolaev V.A. *Org. Biomol. Chem.* **2015**, *13*, 9107.
92. Medvedev J.J., Efimov I.V., Shafran Yu.M., Suslonov V.V., Bakulev V.A. , Nikolaev V.A. *Org. Biomol. Chem.* **2017**, *in press.*
93. Родина Л.Л., Медведев Ю.Ю., Мороз П.Н., Николаев В.А. *ЖОрХ.* **2012**, *48*, 604. [Rodina L.L., Medvedev Yu.Yu., Moroz P.N., Nikolaev V.A. *Russ. J. Org. Chem.* **2012**, *48*, 602].
94. Rodina L.L., Medvedev J.J., Galkina O.S., Nikolaev V.A. *Eur. J. Org. Chem.* **2014**, 2993.

95. Medvedev J.J., Semenok D.V., Azarova X.V., Rodina L.L., Nikolaev V.A. *Synthesis.* **2016**, *48*, 4525.

96. Galkina O. S., Rodina L. L. *Russ. Chem. Rev.* **2016**, *85*, 537- 555;

97. Rodina L. L., Galkina O. S., Nikolaev V.A. et al., *Asian J. Org. Chem.* **2016**, *5*, 691-698.

98. Rodina L.L., Medvedev J.J., Galkina O.S., Nikolaev V.A. *Eur. J. Org. Chem.* **2014**, 2993.

99. Rodina L.L., Baranovskij V.I., Galkina O.S., Nikolaev V.A., Tonogina N.L., Povolotskij A.V. *Asian J. Org. Chem.* **2017**, *in press*.

100. Khlebnikov A.F., Novikov M.S. Topics in Heterocyclic Chemistry: Synthesis of 4- To 7-Membered Heterocycles by Ring Expansion; D'hooghe M., Ha H.-J., Eds.; Springer: Geneva, Switzerland, **2016**; Vol. 41, pp 143.

101. Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Tetrahedron* **201**3, *69*, 3363.

102. Галенко Е.Е., Хлебников А.Ф., Новиков М.С. *ХГС*, **2016**, 637. [Galenko E.E., Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Chem. Heterocycl. Comp.* **2016**, *52*, 637].

103. Smetanin I.A., Novikov M.S., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Starova G.L.,. Yufit D.S *Tetrahedron* **2015**, *71*, 4616.

104. Smetanin I.A., Novikov M.S., Agafonova A.V., et al. *Org. Biomol. Chem.* **2016**, *14*, 4479.

105. Zavyalov K.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Yufit D.S. *Tetrahedron* **2013**, *69*, 4546.

106. Khlebnikov A.F., Novikov M.S., Gorbunova Y.G., et al. *Beilstein J. Org. Chem.* **2014,** *10*, 1896.

107. Zavyalov K.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Pakalnis V.V. *Tetrahedron* **2014**, *70*, 3377.

108. Rostovskii1 N.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Starova G.L., Avdontseva M.S. *Beilstein J. Org. Chem*. **2015**, *11*, 302.

109. Rostovskii N.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Khlebnikov V.A., Korneev S.M. *Tetrahedron* **2013**, *69*, 4292.

110. Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Rostovskii N.V., Tcyrulnikov S., Suhanova A.A., Zavyalov K.V., Yufit D.S. *J. Org. Chem.* **2015**, *80*, 18.

111. Завьялов К.В., Новиков М.С., Хлебников А.Ф., Ростовский Н.В *ЖорХ.* **2016**, *52*, 1857. [Zavyalov K.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Rostovskii1 N.V. *Russ. J. Org. Chem.*, **2016**, *52*, 1851].

112. Rostovskii N.V., Ruvinskaya J.O., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Smetanin I.A., Agafonova A.V. *J. Org. Chem.* **2017**, *82*, 256.

113. Rostovskii N.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Korneev S.M., Yufit D.S. *Org. Biomol. Chem*. **2013**, *11*, 5535.

114. Rostovskii N.V., Sakharov P.A., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Starova G.L. *Organic Lett.* **2015**, *17*, 4148.

115. Sakharov P.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Tetrahedron* **2017**, в печати, doi.org/10.1016/j.tet.2017.06.037.

116. Tomashenko O. A., Novikov M. S., Khlebnikov A. F., *J. Org. Chem.*, **2017**, *82*, 616.

117. Funt L. D., Tomashenko O. A., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Ivanov Yu. A., *J. Org. Chem.*, **2016**, *81*, 11210.

118. Koshel E. I., Tomashenko O. A., Khlebnikov A. F., Gaginskaya E. R., Saifitdinova A. F., Tunik. S. P., *Chromosome Res*. **2016**, *24* (Suppl 1), S29–S30.

119. Tomashenko O. A., Khlebnikov A. F., Mosiagin I. P., Novikov M. S., Grachova E. V., Shakirova J. R., Tunik S. P., *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 94551.

120. Galenko A. V., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Avdontseva M. S., *Tetrahedron*, **2015**, *71*, 1940.

121. Khlebnikov A. F., Tomashenko O. A., Funt L. D., Novikov M. S., *Org. Biomol. Chem*., **2014**, *12*, 6598.

122. Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Pakalnis V. V., Iakovenko R. O., Yufit D. S., *Belst. J. Org. Chem*., **2014**, *10*, 784.

123. Khlebnikov A. F., Golovkina M. V., Novikov M. S., Yufit D. S., *Org. Lett*., **2012**, *14*, 3768.

124. Khlebnikov, A. F., Novikov, M. S., *Chem. Heterocycl. Compd*., **2016**, *48*, 179.

125. Konev, A. S., Khlebnikov, A. F., Levin, O. V., Lukyanov, D. A., Zorin, I. M., *ChemSusChem*., **2016**, *9*, 676.

126. Konev, A. S., Khlebnikov, Prolubnikov, P. I., Mereshchenko, A. S., Povolotskiy, A. V., Levin, O. V., Hirsch, A., *Chem. Eur. J*., **2015**, *21*,. 1237.

127. Konev A. S., Lukyanov D. A., Vlasov P. S., Levin O. V., Virtsev A. A., Kislyakov I. M., Khlebnikov A. F., *Macromol. Chem. Phys*., **2014**, *215*, 516.

128. Khlebnikov A. F., Konev A. S., Virtsev A. A., Yufit D. S., Mlostoń G., Heimgartner H., *Helv. Chim. Acta*., **2014**, 97, 453.

129. Konev A. S., Khlebnikov A. F., Nikiforova T. G., Virtsev A. A., Frauendorf H., *J. Org. Chem.*, **2013**, *78*, 2542.

130. Konev A. S., Mitichkina A. A., Khlebnikov A. F., Frauendorf H., *Изв. АН, сер. хим*. **2012**, 860 [*Russ. Chem. Bull*., **2012**, 863].

131. Galenko A. V., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Pakalnis V. V., Rostovskii N. V., *Усп. хим.*, **2015,** *84*, 335 [*Russ. Chem. Rev.*, **2015**, *84*, 335].

132. Galenko, A. V., Galenko, E. E., Shakirova, F. M., Novikov, M. S., Khlebnikov, A. F., *J. Org. Chem.*, **2017**, *82*, 5367.

133. Galenko E. E., Galenko A. V., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Shakirova J. R. *J. Org. Chem.*, **2016**, *81*, 8495.

134. Galenko E. E., Tomashenko O. A., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., *Beilst. J. Org. Chem.*, **2015**, *11*, 1732.

135. Galenko E. E., Tomashenko O. A., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., *Org. Biomol. Chem.*, **2015**, 13, 9825.

136. Kadina A. P., Khlebnikov A. F., Novikov M. S., Pérez P. J., Yufit D. S., *Org. Biomol. Chem.*, **2012**, 10, 55.

137. Gaisina K. R., Khlebnikov A. F., Novikov M. S. *Org. Biomol. Chem.*, **2017**, *15*, 4579.

138. Khlebnikov A. F., Seyfried M. S., Heimgartner H., *Helv. Chim. Acta.*, **2016**, *99*, 110.

139. Zenkevich I.G. *J. Chemometr.* **2012**, *26*. 108

140. Zenkevich I.G. *J. Chemometr.* **2016**, *30*. 217

141. Зенкевич И.Г. *ЖОХ.* **2015**. *85*. 365. [Zenkevich I.G. *Russ. J. Gen. Chem.* **2015**, *85*, 533]

142. Зенкевич И.Г. *ЖФХ.* **2013**. *87*, 978 [Zenkevich I.G. *Russ. J. Phys. Chem.* **2013**, *87*, 956]

143. Zenkevich I.G. *J. Chemometr.* **2014**, *28*, 311

144. Zenkevich I.G. *Chromatographia.* **2012**, *75*, 767

145. Зенкевич И.Г., Мариничев А.Н. *ЖОХ,* **2014**, *84*, 1767 [Zenkevich I.G., Marinichev A.N. *Russ. J. Gen. Chem.* **2014**, *84*, 2066]

146. Корнилова Т.А., Уколов А.И., Костиков Р.Р., Зенкевич И.Г. *ЖОХ,* **2012**, *82*, 1663. [Kornilova T.A., Ukolov A.I., Kostikov R.R., Zenkevich I.G. *Russ. J. Gen. Chem.* **2012**, *82*, 1675]

147. Kornilova T.A., Ukolov A.I., Kostikov R.R., Zenkevich I.G. *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **2013**, *27*, 461

148. Зенкевич И.Г., Фахретдинова Л.Н. *Аналитика и контроль.* **2015**, *19*, 175

149. Зенкевич И.Г., Фахретдинова Л.Н. *ЖАХ,* **2016**, *71*. 1296. [Zenkevich I.G., Fakhretdinova L.N. *Russ. J. Anal. Chem.* **2016**, *71*, 1204]

150. Зенкевич И.Г., Морозова Т.Е., Кларк-Карская Ю.Ф. *ЖАХ.* **2014**, *69*. 1242. [Zenkevich I.G., Morozova T.E., Klark-Karskaya Yu.F. *Russ. J. Anal. Chem.* **2014**, *69*, 1130]

151. Зенкевич И.Г. *ЖОХ.* **2016**. *86*. 1447 [Zenkevich I.G. *Russ. J. Gen. Chem.* 2016. *86*. 2016]

152. Зенкевич И.Г., Ульянов А.В., Голуб С.Л., Буряк А.К. *ЖОХ.* 2014. *84*. 923 [Zenkevich I.G., Ulianov A.V., Golub S.L., Buryak A.K. *Russ. J. Gen. Chem.* 2014. *84*. 1102]

153. Kornilova T.A., Ukolov A.I., Kostikov R.R., Zenkevich I.G. Formation of 3,4-dichloro-1,2,5-oxadiazol-2-oxide at nitrosation of dichloromethane // Вестн. СПбГУ. Сер. физ.-хим. 2016. 3(61). 131

154. Груздев И.В., Кузиванов И.М., Зенкевич И.Г., Кондратенок Б.М. *ЖПХ.* 2012. *85*. 1440 [Gruzdev I.V., Kuzivanov I.M., Zenkevich I.G., Kondratenok B.M. *Russ. J. Appl. Chem.* 2012. *85*. 1355]

155. Груздев И.В., Кузиванов И.М., Зенкевич И.Г., Кондратенок Б.М. *ЖАХ.* 2013. *68*. 175 [Gruzdev I.V., Kuzivanov I.M., Zenkevich I.G., Kondratenok B.M. *Russ. J. Anal. Chem.* 2013. *68*. 161]

156. Зенкевич И.Г., Пушкарева Т.И. *ЖОХ.* 2015. *85*. 1365 [Zenkevich I.G., Pushkareva T.I. *Russ. J. Gen. Chem.* 2015. *85*. 1918]

157. Зенкевич И.Г., Пушкарева Т.И. *Масс-спектрометрия.* 2016. *13*. 52 [Zenkevich I.G., Pushkareva T.I. *Russ. J. Anal. Chem.* 2016. *71*. 1341]

158. Zenkevich I.G. *Anal. Bioanal. Chem.* 2013. *405*. 3075.

159. Менчиков Л.Г., Нефедов О.М., Зенкевич И.Г. *Изв. РАН. Сер. хим.* 2017. *№ 3*. 491 [Menchikov L.N., Nefedov O.M., Zenkevich I.G. *Russ. Chem. Bull. Int. Ed.* 2017. *66(3)*. 491.

160. Зенкевич И.Г. *ЖОХ.* 2017. *87*. 665 [Zenkevich I.G. *Russ. J. Gen. Chem.* 2017. *87*. 665].

161. L.A.Kartsova, E.V.Ob'edkova. Chromatographic and Electrophoretic Profiles of Biologically Active Compounds for the Diagnosis of Various Diseases // Journal of Analytical Chemistry, 2013, Vol. 68, No. 4, pp. 291–299.

162. E.V.Ob'edkova, L.A.Kartsova, D.O.Kirsanov, L.I.Velikanova, A.V.Legin. Generation of Characteristic Profiles of Steroid Hormones by Reversed-Phase HPLC. Journal of Analyt.Chemistry. 2014. V.69. №2. pp 200-204.

163. I.Yaroshenko, D.Kirsanov, L.Kartsova, N. Bhattacharyya, S.Sarkar, A.Legin. On the application of simple matrix methods for electronic tongue data processing: Case study with black tea samples. Sensors and Actuators B: Chemical191. 2014. 67-74.

164. Irina Yaroshenko, Dmitry Kirsanov, Lyudmila Kartsova, Alla Sidorova, Qiyong Sun, HaitongWan, Yu Hee, Ping Wang, AndreyLegin.Exploring bitterness of traditional Chinese medicine samples by potentiometric electronic tongue and by capillary electrophoresis and liquid chromatography coupled to UV detection. Talanta152(2016)105–11.

165. I. S. Yaroshenko, L. A. Kartsova. Determination of Markers of the Urinary Stone Disease. Journal of Analytical Chemistry, 2015, Vol. 70, No. 5, pp. 546–551.

166. I.Yaroshenko, D.Kirsanov, L.Kartsova, A.Sidorova, I.Borisova, A.Legin. Determination of urine ionic composition with potentiometric multisensor system. Talanta 131 (2015) 556-561

167. D.V. Yaroshenko, A.V.Grigoriev, A.A.Sidorova, L.A. Kartsova. Determination of cisplatin in blood plasma by liquid chromatography with mass spectrometry detection. Journal of Analyt. Chemistry 2013. Vol.68. No 2, pp. 155-159.

168. D.V. Yaroshenko, L.A. Kartsova. Matrix Effect and Methods for Its Elimination in Bioanalytical Methods Using Chromatography–Mass Spectrometry. Journal of Analyt.Chemistry. 2014. Vol. 69, No. 4, pp. 351–358.

169. Kartsova L.A. ,Sidorova A.A, Bessonova E.A. On-line Preconcentration in the Electrophoretic Determination of Amines, Amino Acids and Steroid Hormones. J. Analyt. Chemistry. – 2012. – V. 67. №7. – P.642-648.

170. L.A Kartsova, E A Bessonova. Biomedical applications of capillary electrophoresis. RUSS CHEM REV, 2015, 84 (8), 860–874.

171. Бессонова Е.А., Карцова Л.А., Соловьева С.А. Хроматографическое и хромато-масс-спектрометрическое определение противотуберкулезных препаратов основного ряда в плазме крови. Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, № 2. С. 161-167.

172. Капиллярный электрофорез (под ред. д.х.н. Л.А.Карцовой). В серии Проблемы аналитической химии. Т.18. М. Наука. 2014. 444 С.

173. Д.В. Дзема, Л.А. Карцова, Д.А. Поликарпова. Применение высокоосновного наноионита в капиллярном электрофорезе для разделения и концентрирования неорганических анионов. Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 1. С. 41-48.

174. Карцова, Л. А., Н. А. Поликарпов. Применение дендримеров и сверхразветвленных полимеров в хроматографии и электрофорезе. Журнал аналитической химии. 2012. Т. 67, № 3. С. 228–235.

175. Е. А. Бессонова, В. Ю. Королева, Л. А. Карцова, В. Е. Потолицына .On-line концентрирование белков в условиях капиллярной электрохроматографии с использованием PLOT-колонок на основе сверхразветвленных полимеров. Сорбционные и хроматографические процессы. 2014. Т. 14, № 2. С. 275–285.

176. Дзема Д.В, Карцова Л.А. Сверхразветвленные полимеры – модификаторы хроматографических (ВЭТСХ) и электрофоретических (КЭ) систем. Сорбционные и хроматографические процессы. 2013. Т.13. №5. С.704-711.

177. N. Polikarpov, V. Potolytsyna, E. Bessonova, S. Trippa,D. Appelhans, B. Voita, L. Kartsova. Dendritic glycopolymers as dynamic and covalent coating in capillaryelectrophoresis: View on protein separation processes and detectionof nanogram-scaled albumin in biological samples. Journal of Chromatography A, 1378 (2015) 65–73.

178. D. Dzema, L. Kartsova, D. Kapizova, S. Tripp, N. Polikarpov, D. Appelhans and B. Voit. Oligosaccharide-Crowned Hyperbranched Poly(ethyleneimine) as an Additive to Thin-Layer Chromatography Systems for the Separation of Vitamins, Amino Acids, and β-Blocker Enantiomers.Journal of Planar Chromatography 29 (2016) 2, 1–5.

179. D.V.Dzema, L.A.Kartsova, D.A.Kapizova. Hyperbranched Polymers Based on Polyethyleneimine with Terminal Oligosaccharide Groups as New Chiral Selector in High Performance Thin Layer Chromatography.Journal of Analytical Chemistry, 2015, Vol. 70, No. 8, pp. 1023–1030.

180. S. V. Naiden, L. A. Kartsova, G. A. Emel'yanov. A new fluorinated polymer as a modifier for liquid chromatography and capillary electrophoresis.Journal of Analyt.Chem. V. 70, Issue 6. p. 752-756. 2015.

181. D. V. Dzema, L. A. Kartsova, G. A. Emelianov, and E. A. Sukhomlinova. New Highly Fluorinated Polymers: Modifiers of Chromatographic and Electrophoretic Systems. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 2015, Vol. 51, No. 6, pp. 1100–1109.

182. E.A.Kolobova, L.A. Kartsova, E.A. Bessonova. Application of Ionic Liquids Based on Imidazole to the Electrophoretic Determination of Amino Acids in Urine. Journal of Analyt.Chem. 2015.V. 70. Issue 11. p. 1342-1346.

183. L. A. Kartsova, E. A. Bessonova, and E. A. Kolobova. Ionic Liquids as Modifiers of Chromatographic and Electrophoretic Systems. *Journal of Analytical Chemistry, 2016, Vol. 71, No. 2, pp. 141–152.*

184. E. A. Bessonova, L. A. Kartsova, and V. F. Gallyamova. Effect of 3-Methyl-1-Cetylimidazolium Chloride Ionic Liquid on the Electrophoretic Preconcentration of Steroid Hormones. Journal of Analytical Chemistry, 2016, Vol. 71, No. 7, pp. 696–702.

185. Е.А. Колобова, Л.А. Карцова, Е.А. Бессонова, А.В. Кравченко. On-line концентрирование биогенных аминов методом капиллярного электрофореза с использованием синтезированных ковалентных покрытий на основе ионных жидкостей. Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 1. С. 57-64.

186. E. Bessonova, L. Kartsova, V. Gallyamova. Ionic liquids based on imidazole for on-line concentration of catecholamines in capillary electrophoresis. Journal of Separation Science. 2017. V.40. issue 10. P.2304-2311.

187. A. V. Nikovaev, L. A. Kartsova, and V. V. Filimonov. A Microfluidic Chip for the Determination of Polyphenolic Antioxidants. Journal of Analytical Chemistry, 2015, Vol. 70, No. 8, pp. 983–988.

188. .S. Muratova, L.A.Kartsova, K.N.Mikhelson. Voltammetric vs. potentiometric sensing of dopamine: Advantages and disadvantages, novel cell designs, fundamental limitations and promising options. Sensors and Actuators B: Chemical. V. 208. Part B.2015. p.900-906.