

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 547.314, 547.512, 547.315.1, 547.717

СИМПОЗИУМ ПО ХИМИИ АЛКИНОВ, АЛЛЕНОВ И МАЛЫХ ЦИКЛОВ¹

© 2023 г. М. М. Ефремова, Н. В. Ростовский*

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт химии,
Россия, 199034 Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9
*e-mail: n.rostovskiy@spbu.ru

Поступила в редакцию 07.10.2023 г.

После доработки 18.10.2023 г.

Принята к публикации 20.10.2023 г.

Симпозиум по химии алкинов, алленов и малых циклов проходил с 3 по 6 июля 2023 года в Санкт-Петербургском государственном университете в рамках Всероссийской конференции с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии». В работе симпозиума приняли участие ведущие специалисты в химии алкинов, алленов и малых циклов, были представлены последние достижения химии этих классов соединений и обсуждались дальнейшие перспективы развития. В данном обзоре собраны краткие аннотации сделанных докладов и содержатся ссылки на соответствующие публикации авторов.

Ключевые слова: алкины, аллены, циклопропаны, гетероциклические соединения.

DOI: 10.31857/S0514749223120017, **EDN:** NZUIUP

ВВЕДЕНИЕ

1. ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ
2. КЛЮЧЕВЫЕ ДОКЛАДЫ
3. ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ
4. УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

С 3 по 6 июля 2023 года в Санкт-Петербургском государственном университете при поддержке Санкт-Петербургского отделения Российского химического общества им. Д.И. Менделеева состоялась Всероссийская конференция с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии». Конференция была посвящена академику Алексею

Евграфовичу Фаворскому [1], одному из величайших химиков-органиков, чье имя имеет особое значение для ученых Санкт-Петербургской научной школы и России в целом [2].

Жизнь Алексея Евграфовича была неразрывно связана с Санкт-Петербургским университетом, в котором он выполнил дипломные и диссертационные исследования, создал научную школу и почти 30 лет возглавлял кафедру органической химии.

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

Он также был основателем и первым директором Института органической химии в Москве, а сейчас имя А.Е. Фаворского носит Иркутский институт химии СО РАН. Начатые и активно развиваемые А.Е. Фаворским исследования в области химии ацетиленов, алленов, малых циклов и механизмов органических реакций до сих пор находятся в сфере интересов химиков по всему миру [3–6]. Именно этим актуальным темам был посвящен симпозиум [7], прошедший в рамках конференции «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии» и собравший, без преувеличения, наиболее выдающихся ученых, ведущих исследования в этих областях, краткие аннотации докладов которых представлены в данном обзоре.

1. ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Академик РАН, д.х.н. Ирина Петровна Белецкая (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия) в своей пленарной лекции рассказала о роли катализа в синтетической органической химии [8]. Были представлены примеры современных трендов в этой области, включая энантиоселективный синтез с применением комплексов меди(II) [9], металл-контролируемый региодивергентный синтез гетероциклов на основе функционализированных ацетиленов. Были рассмотрены различные виды катализа, основанные на использовании комплексов металлов [10, 11], включая палладиевый и медный катализ, нанокатализ, асимметрический катализ, катализ хиральными кислотами Льюиса, фотокаталитические превращения [12], а также примеры использования катализа в синтезе лекарственных веществ.

В пленарном докладе **д.х.н. Игоря Владимировича Алабугина** (Университет штата Флорида, Таллахасси, США; Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова ФИЦ КНЦ РАН, Казань, Россия) обсуждались практические способы использования общих знаний о энергии химических связей для разработки новых реакций и поиска новых физических явлений. Было отмечено, что ключом к управлению потоком энергии в химических реакциях является использование уникальных стереоэлектронных особенностей функциональных групп и соединение неблагоприятных и благоприятных элементарных

стадий в цепи химических превращений. Игорь Владимирович рассказал о явлении ап-конверсии электронов в электрокаталитических превращениях, при которых один электрон может управлять несколькими каталитическими циклами [13–17].

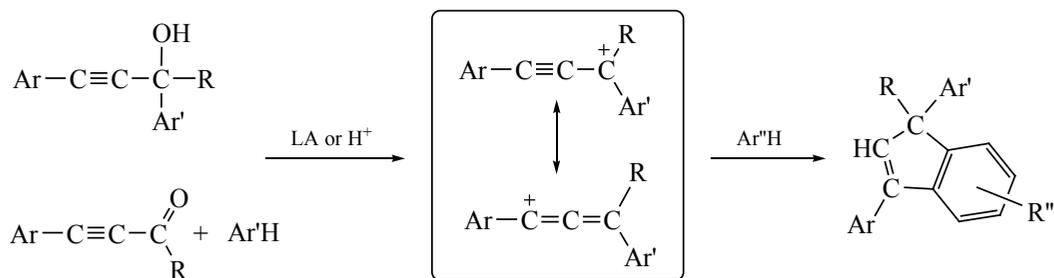
Академик РАН, д.х.н. Валентин Павлович Анаников (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия) представил пленарную лекцию о внедрении алгоритмов искусственного интеллекта в химические исследования. На примере конкретных химических задач были рассмотрены актуальные тенденции в развитии практических приложений алгоритмов искусственного интеллекта для создания высокоактивных катализаторов [18, 19], анализа спектральных данных [20] и понимания механизмов формирования и функционирования микро- и наноразмерных систем [21, 22].

Д.х.н. Елена Юрьевна Шмидт (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия, соавтор: Трофимов Б.А.) сделала пленарный доклад о аза-реакции Фаворского – нуклеофильном присоединении терминальных ацетиленов к связи C=N в суперосновных средах [KOH/DMSO, K(Na)OBu^t/DMSO], приводящем к пропаргиламинам [23]. К настоящему времени на основе этой реакции уже открыты простые одностадийные пути к синтетически и практически перспективным соединениям [24–26]. Елена Юрьевна прогнозирует, что синтетический потенциал аза-реакции Фаворского только начинает раскрываться [27], и ее новые версии будут открыты в скором времени.

2. КЛЮЧЕВЫЕ ДОКЛАДЫ

Д.х.н. Александр Викторович Васильев (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Санкт-Петербург, Россия) представил ключевой доклад о генерировании пропаргил-алленильных катионов из пропаргилловых спиртов и сопряженных ацетиленовых кетонов в условиях суперэлектрофильной активации. Такие катионы реагируют с ароматическими нуклеофилами по атомам углерода C¹ или C³ и приводят к получению разнообразных инденовых и других карбоциклических структур [28–32] (схема 1).

Схема 1



К.х.н. Наталья Александровна Данилкина (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Балова И.А.) в ключевом докладе рассказала об основных подходах к синтезу аналогов эндиновых антибиотиков и циклоалкиновых реагентов для биоконъюгации, разрабатываемых в их научной группе, методах предсказания и оценки стабильности и реакционной способности этих соединений, а также основных направлениях их применения [33–35] (схема 2).

Д.х.н. Валентин Георгиевич Ненайденко (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия) в своем ключевом докладе рассказал о синтетическом потенциале фторированных нитроолефинов, образующихся в результате радикального нитрования 2-бром-2-фторстиролов [36] (схема 3). Полученные соединения являются аналогами нестабильных и взры-

вопасных фторацетиленов и были успешно применены в синтезе ряда новых фторсодержащих гетеро- и карбоциклических соединений [37, 38], в том числе ранее неизвестных BODIPY, фторированных по гетероциклической системе.

Д.х.н. Александр Феодосиевич Хлебников (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Санкт-Петербург, Россия) сделал ключевой доклад о стратегии синтеза гетероциклов, основанной на изомеризации изоксазолов в азирины, которые затем претерпевают расширение кольца при действии различных реагентов [39, 40]. Особого внимания заслуживает изомеризация 5-хлоризоксазолов, позволяющая генерировать хлорангидрид 2*H*-азирин-2-карбоновой кислоты, реакции которого с нуклеофилами приводят к разнообразным моно и полигетероциклическим соединениям, часто в результате домино или одно-реакторных процессов [41] (схема 4).

Схема 2

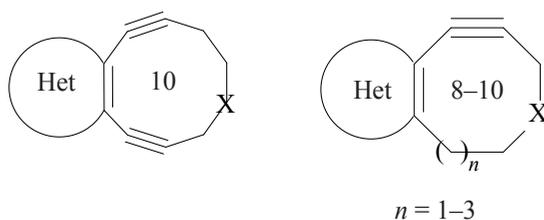


Схема 3

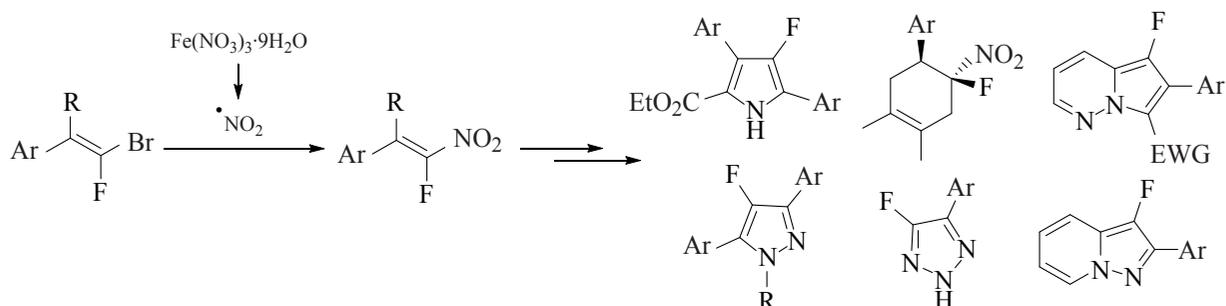
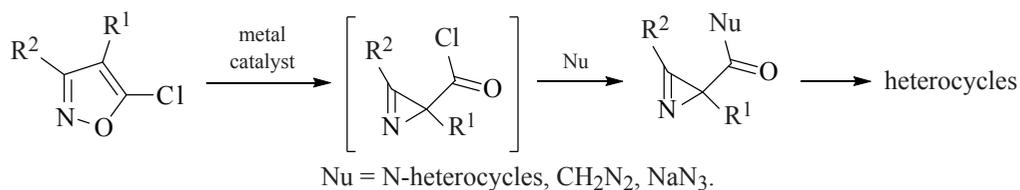


Схема 4



3. ПРИГЛАШЕННЫЕ ДОКЛАДЫ

Д.х.н. Ксения Васильевна Беляева (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия, соавторы: Опарина Л.А., Собенина Л.Н., Трофимов Б.А.) представила доклад о реакциях пирролилацетиленовых кетонов с гетероциклическими соединениями, содержащими связь C=N (1-пирролинами, имидазолами, бензимидазолами), продуктами которых являются необычные производные дипирроло[1,2-*a*:1',2'-*c*]-имидазола [42], дипирроло[1,2-*a*:1',2'-*d*]пиразина [43] и пирролил-1,6-бензодиазацинона [44], соответственно (схема 5).

Д.х.н. Анна Васильевна Гулевская (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия) сделала доклад об успехах, достигнутых в использовании алкинилпроизводных азинов в синтезе полиядерных гетероциклических молекул. В большинстве случаев изученные реакции носили

тандемный характер и приводили к образованию различных гетероциклов, в том числе близких структурных аналогов природных птерицинов и феназинов, а также [*n*]гелицинов, содержащих в своем составе гетероароматический фрагмент [45, 46] (схема 6).

Д.х.н. Григорий Васильевич Зырянов (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Институт органического синтеза им. И.Я. Постовского УрО РАН, Екатеринбург, Россия, соавторы: Сантра С., Копчук Д.С., Ковалев И.С., Никонов И.Л.) сделал доклад о синтезе (аза)гетероциклов на основе исследованных в его научном коллективе за последние годы превращений соединений, активированных напряжением цикла: 1,2-дегидробензолов (аринов), азири(ди)нов, оксиранов и др., а также ацетиленов, активированных наличием электроноакцепторных групп, в частности ацетилендикарбоксилатов [47–49].

Схема 5

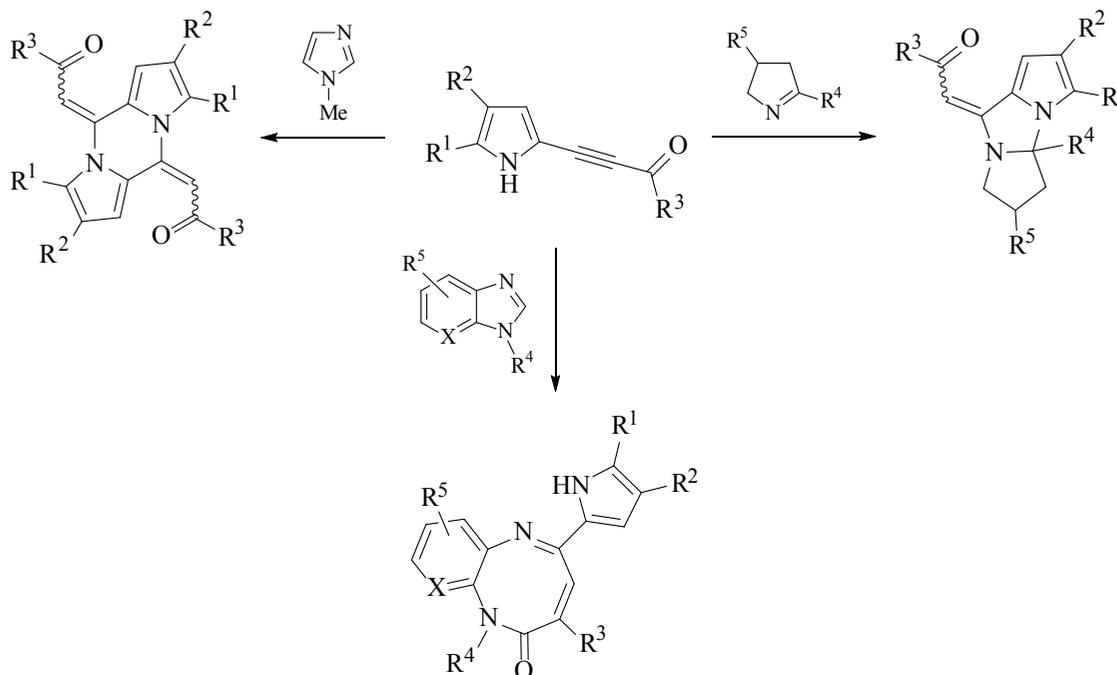
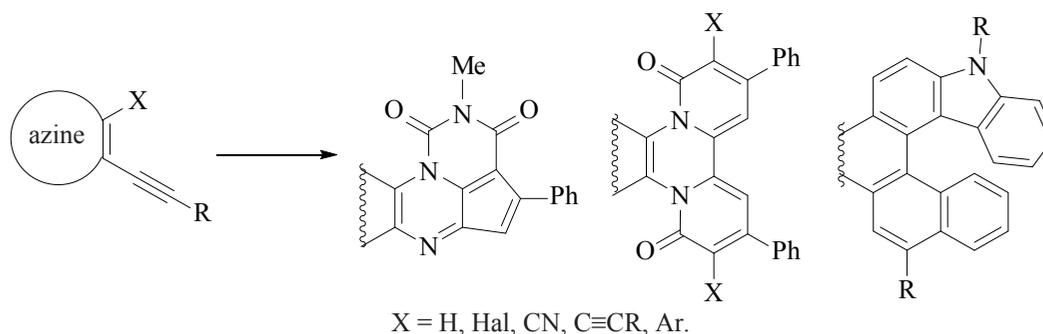


Схема 6



Д.х.н. Михаил Сергеевич Новиков (Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, Санкт-Петербург, Россия) рассказал о последних достижениях химии 3-арил-2*H*-азиринов применительно к синтезу сложных *ortho*-конденсированных систем в условиях металлокатализа. В частности обсуждались особенности медь-катализируемых реакций 3-арил-2*H*-азиринов с циклическими енолами и механизмы формирования (5,6)- и (5,5)-конденсированных систем на их основе [50–54] (схема 7).

Д.х.н. Дмитрий Сергеевич Перекалин (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия, соавторы: Анкудинов Н.М., Трифонова Е.А.) рассказал о новом принципе асимметрического катализа, заключающемся в использовании рацемических комплексов в сочетании с «хиральным ядом» — специальным лигандом, который захватывает и

ингибирует один из энантимеров катализатора [55]. Такой подход на основе комплексов родия(I) с рацемическими циклогекса-1,4-диенами был успешно использован для асимметрического циклопропанирования алкенов, содержащих электронодонорные группы [56] (схема 8).

Д.х.н. Игорь Викторович Трушков (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия, соавторы: Щербинин В.А., Ефремова А.В., Демидовская А.В., Иванова О.А.) представил доклад о новом направлении в химии донорно-акцепторных циклопропанов: реакциях димеризации и кросс-димеризации [57, 58].

4. УСТНЫЕ ДОКЛАДЫ

К.х.н. Анастасия Викторовна Агафонова (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Новиков М.С.) представила доклад об использовании 2-(пиридин-2-ил)-2*H*-азиринов [59] в направлен-

Схема 7

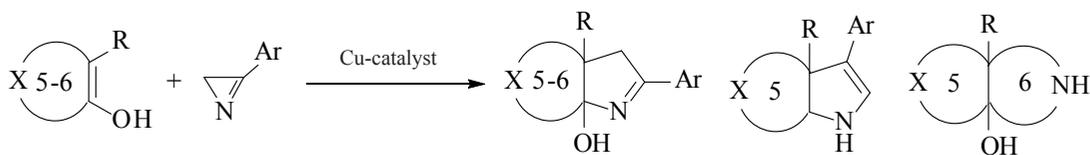


Схема 8

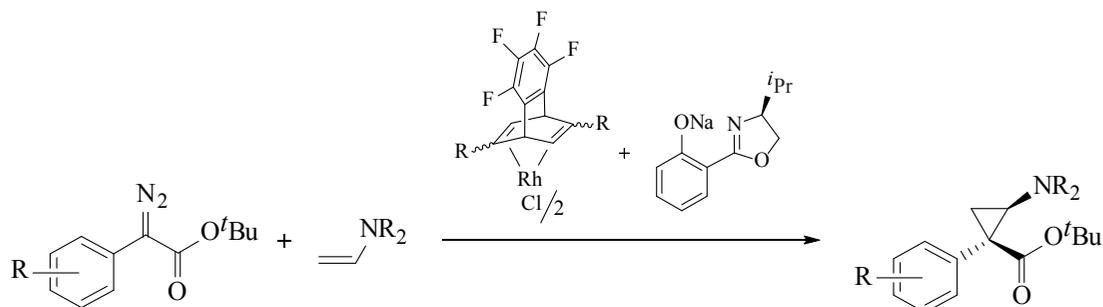
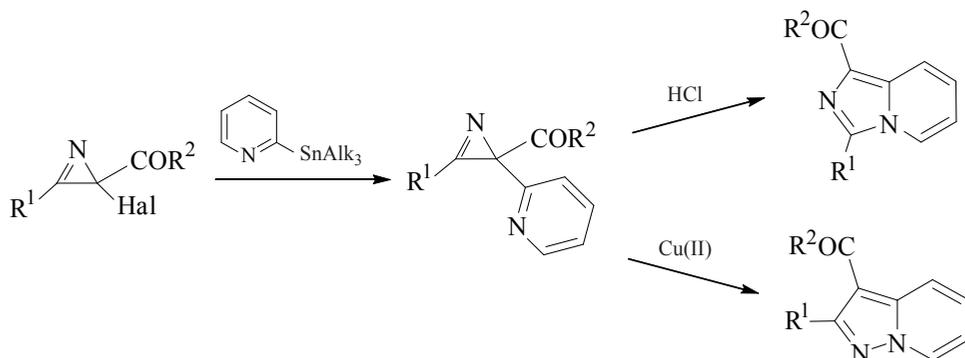


Схема 9



ном синтезе *орто*-конденсированных систем пирозоло[1,5-*a*]пиридинильного и имидазоло[1,5-*a*]пиридинильного типов (схема 9). Направление циклизации изменялось в зависимости от выбора катализатора [60].

Ксения Александровна Барашкова (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, соавторы: Татевосян С.С., Котовщиков Ю.Н., Латышев Г.В., Лукашев Н.В., Белецкая И.П.) рассказала о получении новых функциональных производных 5-иод-1,2,3-триазолов и использовании их в каче-

стве предшественников диазоиминов (схема 10). Предложенный метод позволил получить производные триазолохиназолинона или триазолобензоксазина в зависимости от условий проведения реакции [61].

Ангелина Юрьевна Боброва (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия, соавтор: Новиков М.А.) сделала доклад об энантиоселективном 2-фтораллилировании с помощью *гем*-фторгалогенциклопропанов. Проведение сначала Cu-катализируемого раскрытия трехчленного цикла, а затем энантио-

Схема 10

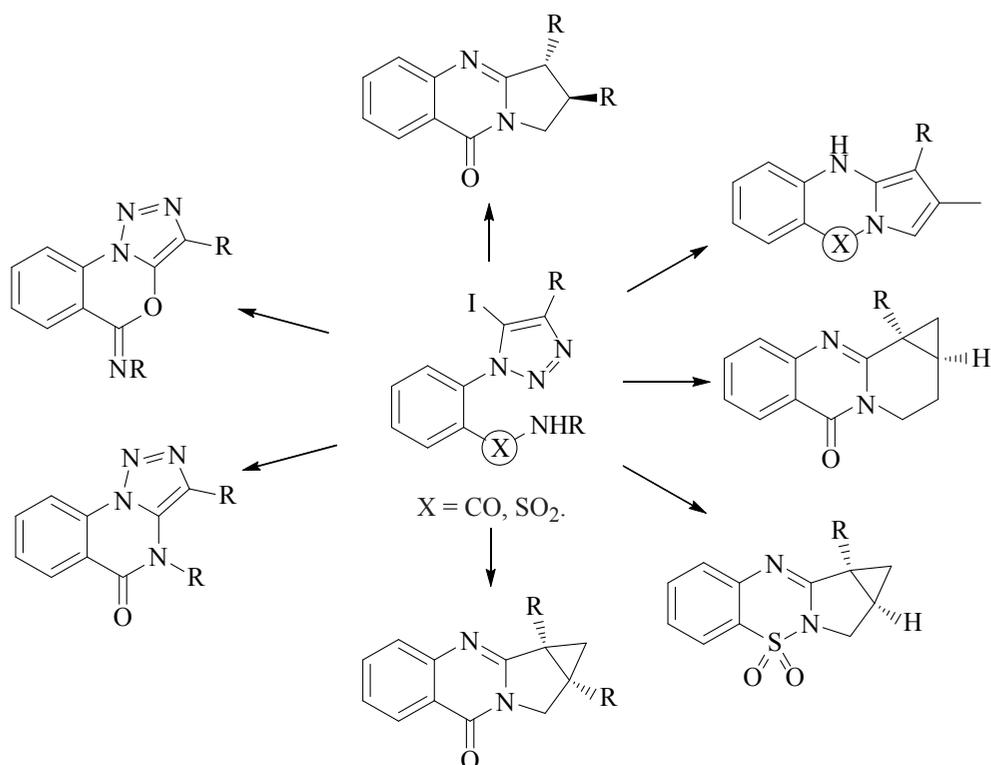
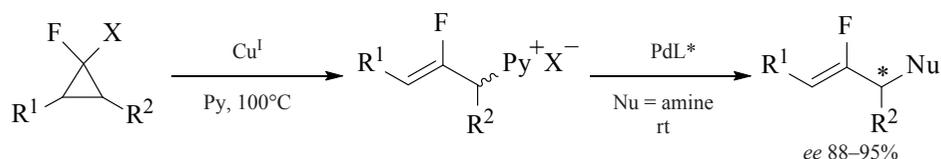


Схема 11



селективного Pd-катализируемого аллилирования позволило с высокой энантиоселективностью получить 2-фтораллиламины [62, 63] (схема 11).

Максим Анатольевич Бойченко (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, соавторы: Андреев И.А., Ратманова Н.К., Трушков И.В., Иванова О.А.) рассказал о новых подходах к синтезу азотсодержащих систем на основе реакции раскрытия донорно-акцепторных циклопропанов азотсодержащими нуклеофилами (азид-ионом, аминами, синтетическими эквивалентами цианид-иона) (схема 12). Для ряда полученных в работе соединений была обнаружена противораковая активность [64–68].

Д.х.н. Сергей Зурабович Вацадзе (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия) представил доклад о данных РСА и квантово-химических расчетов для биспидинов, содержащих ацетонитрильные и пропаргильные заместители при атомах азота (схема 13). Конформации этих соединений в кристалле указывают на проявление аномального эффекта *sp*-гибридного атома углерода [69].

Александра Александровна Видякина (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Балова И.А., Данилкина Н.А.) рассказала о синтезе и исследовании люминесцентных свойств циклоалкинов на основе изокумарина. В работе было показано, что введение электроноакцепторной группы в положение 6 изокумаринового цикла (схема 14) способствует появлению ценных фотофизических свойств у изученных систем и продуктов циклоприсоединения азидов к этим системам [35, 70].

К.х.н. Вера Андреевна Виль (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия, соавторы: Барсегян Я.А., Кун Л., Алабугин И.В., Терентьев А.О.) представила доклад об использовании карбоксилатных радикалов в никелевом катализе окислительной C–N-функционализации. Использование ацетата никеля(II) с диацилпероксидом позволяет добиться окислительного ацилоксилирования C(*sp*³)–N связей в эфирах, кетонах и алканах с получением сложных эфиров [71].

Схема 12

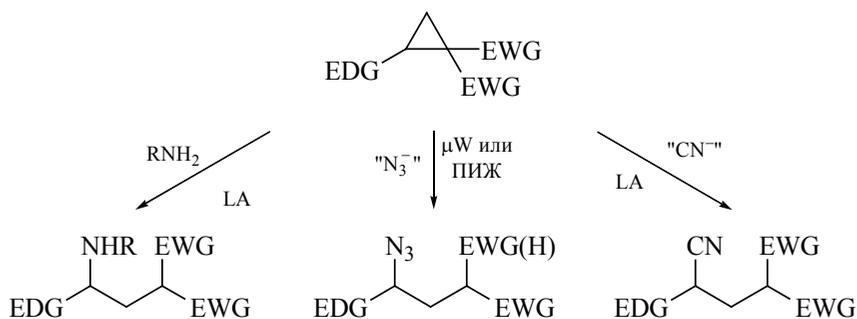


Схема 13

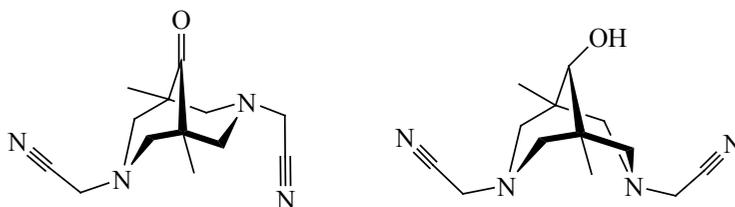
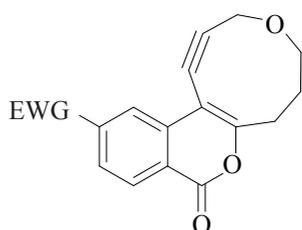


Схема 14



К.х.н. Дарья Владимировна Воробьева (Институт элементоорганических соединений РАН им. А.Н. Несмеянова, Москва, Россия, соавторы: Бубнова А.С., Осипов С.Н.) представила результаты исследования Rh(III)-катализируемой тандемной реакции C–H-активации/аннелирования производных (гетеро)аренов с CF₃-содержащими алленами и ацетиленами. Была показана эффективность использования этой методологии для получения конденсированных гетероциклических систем [72, 73] (схема 15).

К.х.н. Татьяна Владимировна Глухарева (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, соавторы: Токарева М.А., Перник И., Мессерле Б., Кивни Ш.) представила результаты изучения региоселективности Rh(I)-катализируемых реакций 1,2,3-триадиазолов с фенилацетиленом (схема 16). Было показано, что электронные и стерические свойства заместителя R оказывают значительное влияние на реакционную способность субстратов и региоселективность реакций [74, 75].

К.х.н. Анастасия Иосифовна Говди (Санкт-Петербургский государственный университет,

Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Каминский Н.А.) рассказала об использовании алкинов в синтезе этинил-замещенных 1,2,3-триазолов. Было предложено два новых подхода к синтезу триазолов, содержащих этинильный заместитель в положениях 5 или 4: медь-катализируемое азид-алкиновое циклоприсоединение органических азидов к 1-иодбута-1,3-диенам и трехкомпонентный подход, основанный на взаимодействии 3-замещенных пропаргиловых альдегидов, аминов и диазосульфонамидов [76–78] (схема 17).

К.х.н. Ринат Равильевич Губайдуллин (Институт нефтехимии и катализа УФИЦ РАН, Уфа, Россия, соавторы: Парфенова Л.В., Майстренко В.Н.) представил катализируемый золотом(I) синтез [3,2-*b*]пирролоконденсированных пентациклических тритерпеноидов из 2-пропаргильных производных 3-оксо-тритерпеновых кислот [79, 80] (схема 18).

К.х.н. Дмитрий Михайлович Гусев (Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия, соавтор: Голованов А.А.) представил доклад на тему «Синтез силилацетиленовых пиразолинов и пиразолинзамещенных изоксазолов на их основе». Предложенный авторами метод синтеза основан на использовании в качестве исходных соединений енинонов, содержащих триметилсилильную группу [81] (схема 19).

К.х.н. Алексей Юрьевич Дубовцев (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия) рассказал о золото-катализируемом (3+2)-циклоприсоединении

Схема 15

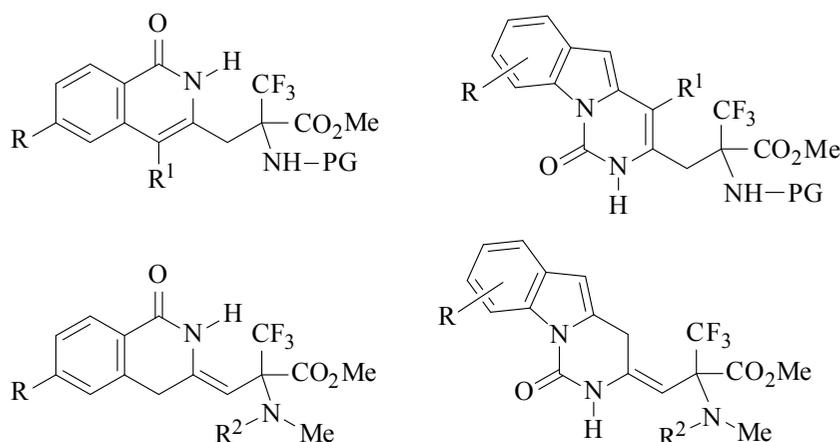


Схема 16

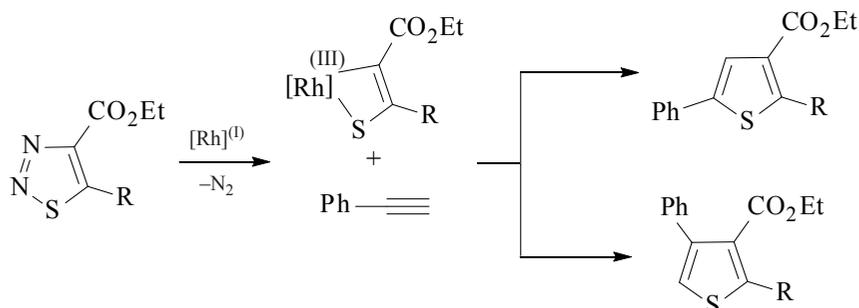
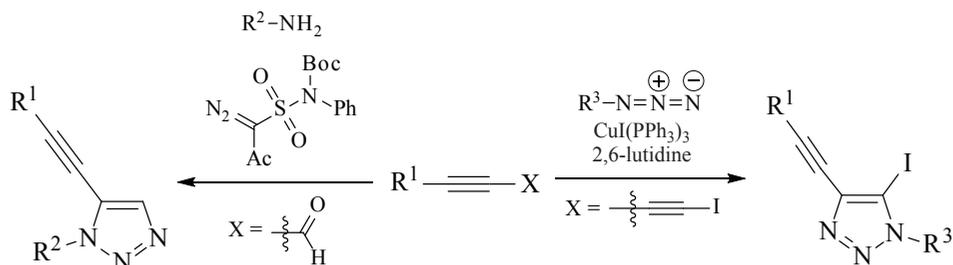


Схема 17



2*H*-азиринов к инамидам. Было установлено, что эта реакция ведет к 5-амино-3*H*-пирролам, которые под действием кислот могут легко перегруппировываться в 5-амино-2*H*-пирролы (схема 20). В то же время при использовании 2*H*-азиринов-2-карбоновых кислот можно получить ароматические 2-амино-1*H*-пирролы [82].

К.х.н. Мария Михайловна Ефремова (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия) рассказала о реакциях 1,3-диполярного циклоприсоединения кето- и альдонитронов, содержащих электроноакцепторные заместители при атоме углерода, к циклическим алленам. Было показано, что региоселективность реакции зависит от типа нитронов.

Преимущественно образуются полициклические производные изоксазолидинов с двойной связью в положении 4 изоксазолидинового кольца [83] (схема 21).

Хамза Ахмад Закария (Институт металлоорганической химии им. Г.А. Разуваева РАН, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия, соавторы: Любовь Д.М., Нелюбина Ю.В., Айсин Р.Р., Трифонов А.А.) выступил с докладом «Synthesis and structure of acetylene complexes of Ca and Ln(II) based on 1,8-bis(ethynyl)carbazoles». В работе был приведен синтез серии новых низкокоординированных комплексов $[3,6\text{-}^t\text{Bu}_2\text{-1,8-(RC}\equiv\text{C)}_2\text{Carb}]_2\text{M(THF)}_n$ ($\text{M} = \text{Ca}^{\text{II}}, \text{Yb}^{\text{II}}, \text{Sm}^{\text{II}}$).

Схема 18

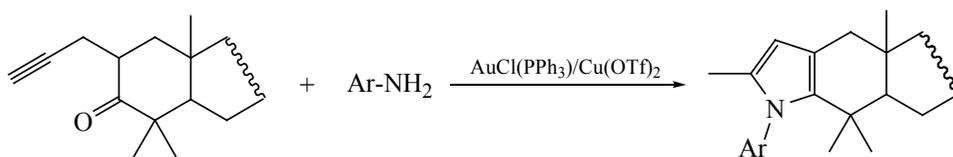


Схема 19

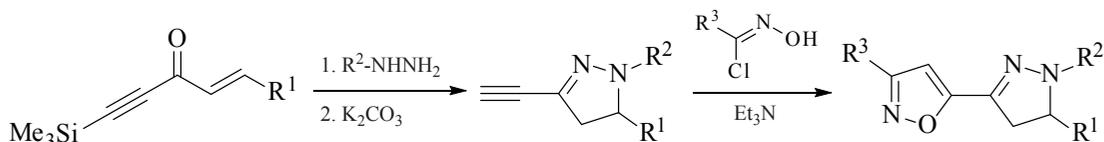


Схема 20

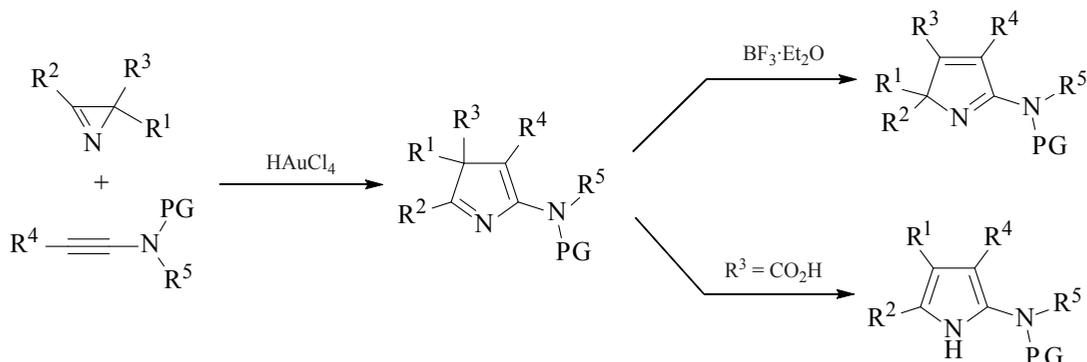
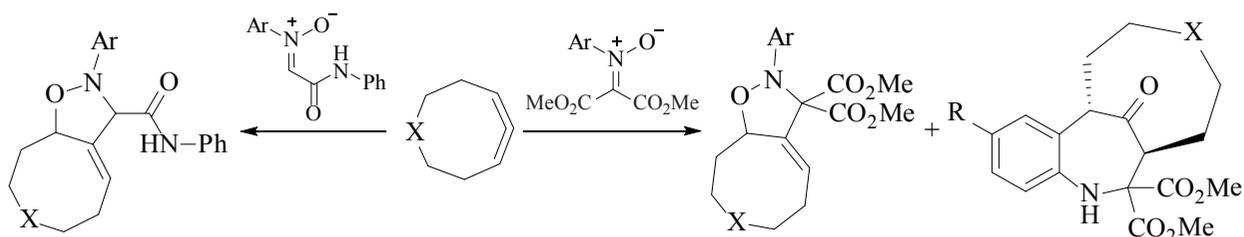


Схема 21



Для рассмотренных комплексов характерно взаимодействие $M \cdots C \equiv C$, подтвержденное данными РСА, ИК-спектроскопии и квантово-химическими расчетами.

Тимофей Николаевич Захаров (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Сахаров П.А., Новиков М.С., Хлебников А.Ф., Ростовский Н.В.) представил экспериментальное и теоретическое исследование триэтиламин-прототируемой окислительной циклодимеризации 2*H*-азирин-2-карбоксилатов в пиримидин-4,6-дикарбоксилаты (схема 22). В докладе подробно рассматривался механизм реакции и обсуждались данные DFT-расчетов [84].

К.х.н. Евгения Евгеньевна Иванова (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия, соавтор: Шабалин Д.А.) представила доклад о диастереоселективном синтезе фармацевтически перспективных тетрагидро-

пирроло[1,2-*d*]оксадиазолов на основе функционализированных Δ^1 -пирролинов и нитрилоксидов (схема 23). Было рассмотрено влияние природы субстратов и условий проведения реакции на выход и диастереоселективность реакции циклоприсоединения [85].

К.х.н. Ольга Александровна Иванова (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, соавторы: Шорохов В.В., Бойченко М.А., Плодехин А.Ю., Вартанова А.Е., Жохов С.С., Андреев И.А., Ратманова Н.К., Трушков И.В.) рассказала о реакциях расширения цикла донорно-акцепторных циклопропанов, приводящих к производным циклопентенов, 2,3-дигидробензо[*b*]фуранов, 2,3-дигидробензо[*b*]тиофенов, бенз[*b*]азепинов, циклопропа[*c*]кумаринов, γ -бутиролактонов, γ -пирролидонов, 4,5-дигидрофуранов, бензо[*b*]пирролизидинонов, бенз[*e*]индолизидинонов и др. [57, 67, 68, 86, 87] (схема 24).

Схема 22

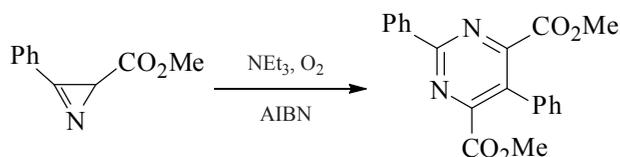


Схема 23

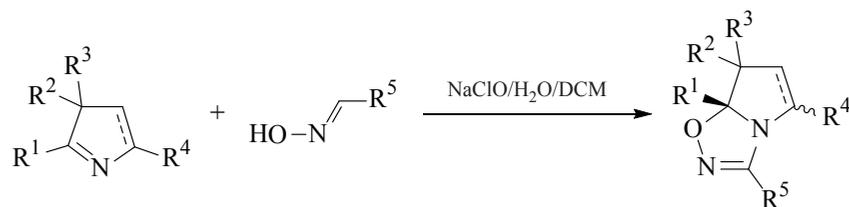
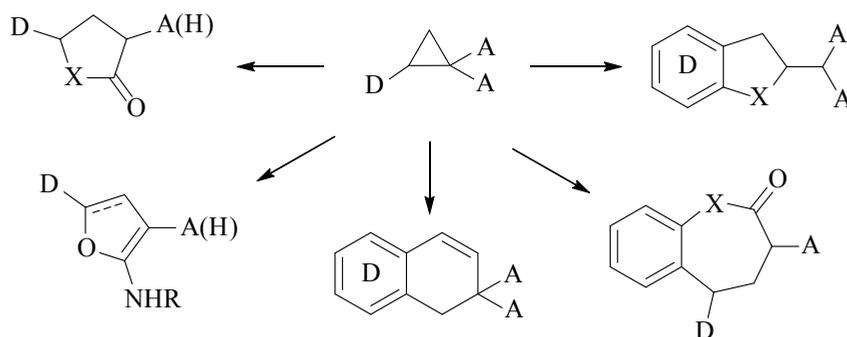


Схема 24



Никита Андреевич Каминский (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Балова И.А., Говди А.И.) сделал доклад о новом трехкомпонентном подходе к синтезу 5-этинил-1*H*-1,2,3-триазолов. В качестве исходных соединений для одностадийного синтеза триазолов использовали ацетиленовые альдегиды, первичные амины и α -дiazо- β -кетосульфонамиды (схема 25). Показано, что несмотря на наличие в исходном непредельном альдегиде двух реакционных центров, реакция протекает хемо- и региоселективно с образованием только 5-этинил-1,2,3-триазолов.

Миа Деновна Ким (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Данилкина Н.А.) представила доклад на тему «Синтез новых SPAAC-реагентов для биоортогональной химии на основе гетероциклононинов, конденсированных с триазолом». В качестве целевых структур в проекте были выбраны аза- и оксациклононины. Реакция SPAAC обоих циклононинов с бензилазидом успешно протекала

с образованием одного изомера 1,2,3-триазола (схема 26).

Андрей Владимирович Колос (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова, Москва, Россия, соавторы: Нелюбина Ю.В., Перекалин Д.С.) представил доклад на тему «Циклизация алкинов вместо многостадийного синтеза циклопентадиенильных лигандов». В докладе было показано, что *трет*-бутилацетилен тримеризуется в координационной сфере родия в присутствии кислот Льюиса. Показано, что продукты реакции зависят от выбора кислоты Льюиса. Кроме того, был описан пример циклизации четырех молекул алкина под действием основания [88, 89].

Алина Алексеевна Комарова (Институт элементоорганических соединений РАН им. А.Н. Несмеянова, Москва, Россия, соавтор: Перекалин Д.С.) сделала доклад о влиянии катализатора на стоимость органического синтеза. В качестве модельной реакции был использован син-

Схема 25

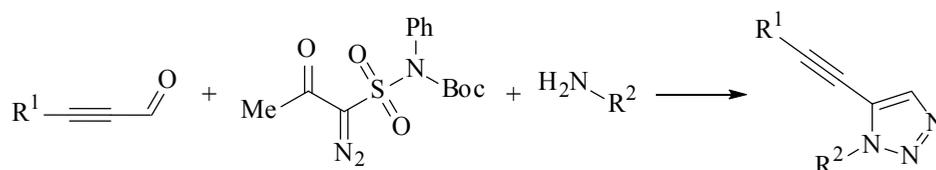


Схема 26

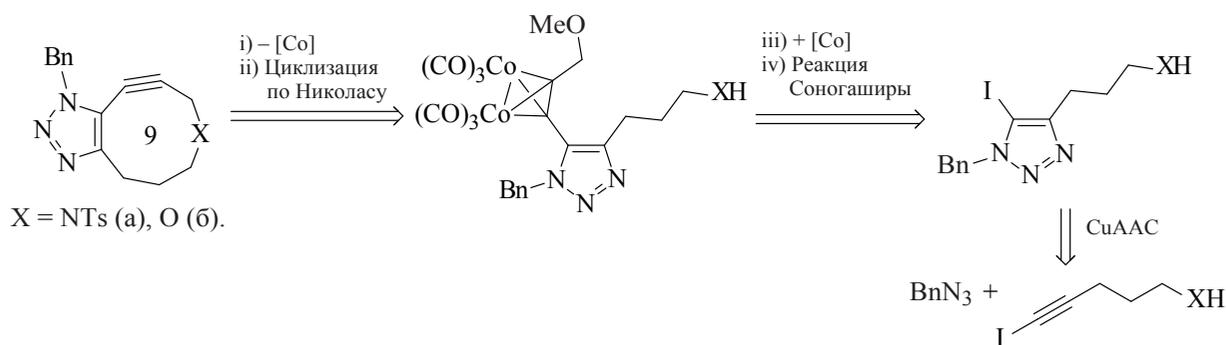
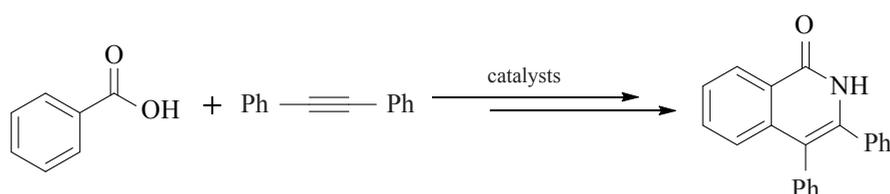


Схема 27



тез 3,4-дифенилизохинолона из бензойной кислоты и дифенилацетилена (схема 27). Сравнивали пять металл-катализируемых реакций (Pd, Rh, Ru, Co, Ni) и одну, включающую только органические реагенты. Наиболее дешевыми оказались синтезы с использованием рутениевых и кобальтовых катализаторов [90].

К.х.н. Сергей Михайлович Корнеев представил доклад на тему «Зачем биологам нужны ацетилены». Был представлен успешный синтез ацетиленовых жирных кислот и липидов на их основе, используемых для изучения метаболизма, а также примеры синтеза более сложных липидов с дополнительной функцией связывания или с функцией

воздействия на партнерскую биологическую молекулу.

Ксения Павловна Малкова (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Кантин Г.П., Дарьин Д.В.) представила метод синтеза полизамещенных спироциклических бутенолидов с использованием циклических диазосоединений и алленовых кислот (схема 28). Ранее Rh(II)-катализируемое внедрение циклических диазосоединений в O–H связь уже было успешно использовано для синтеза спироциклических соединений [91, 92]. В ходе изучения процесса была выявлена закономерность: промежуточный продукт может

Схема 28

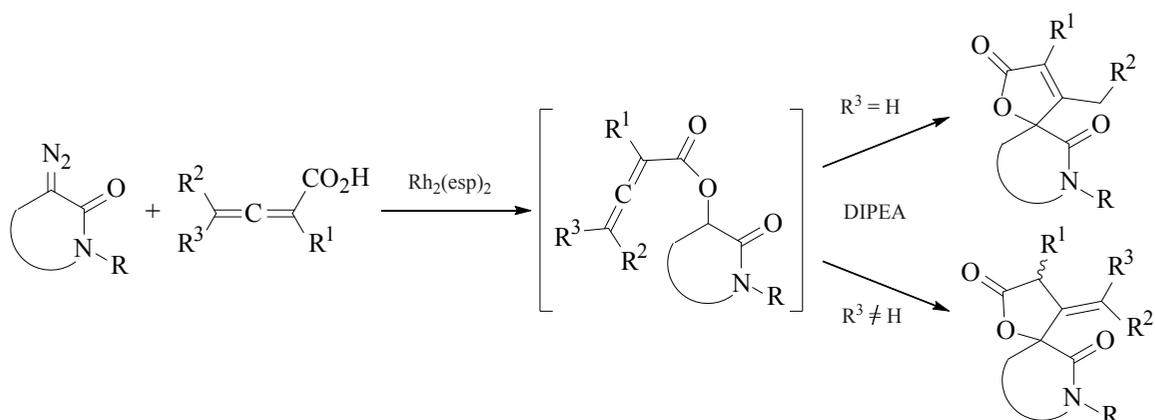
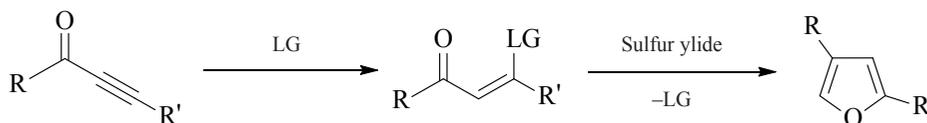


Схема 29



превращаться в два возможных региоизомерных продукта в зависимости от структуры алленовой кислоты. Для насыщенного цикла соотношение диастереомеров варьировалось в пределах от 2:1 до 9:1.

Данил Александрович Мясников (Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия, соавторы: Щербаков Р.О., Учускин М.Г.) рассказал о синтезе замещенных фуранов с использованием расширенной реакции Кори–Чайковского (схема 29). В докладе были представлены оптимизация условий проведения реакции и ограничения метода [93].

Евгений Алексеевич Очереднюк [Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, соавторы: Шиляева Т.А., Бурилов В.А., Антипин И.С.] выступил с докладом о симметричных янус-дендримерах на основе эпихлоргидрина. В работе предложены пути получения различного рода соединений с использованием дивергентного подхода, в частности, дендримерных структур на основе клик-реакций.

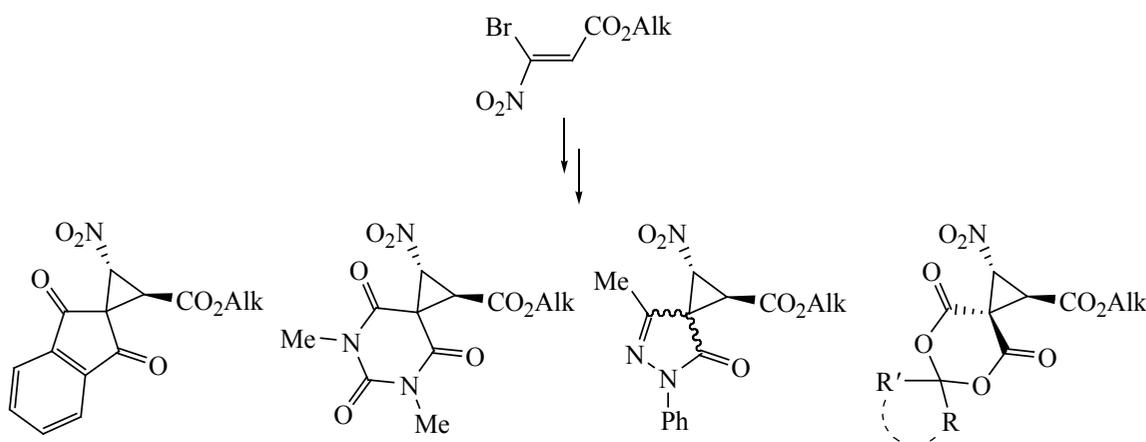
Илья Александрович Пилипенко (Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Пелипко В.В., Байчурин Р.И., Макаренко С.В.) представил доклад о синтезе и строении спиро-

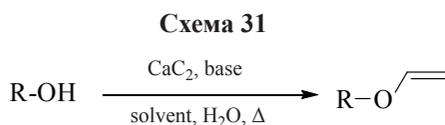
сочлененных нитроциклопропанкарбоксилатов. Новые спиросоединения были получены при взаимодействии циклических СН-кислот с бромнитроакрилатами [94] (схема 30).

Антон Николаевич Потороченко (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Гырдымова Ю.В.) выступил с докладом «Винилирование ненасыщенных спиртов карбидом кальция для синтеза мономеров» (схема 31). В докладе проводилась оптимизация условий для терпеновых и алифатических субстратов. Рассмотренная реакция открывает новый путь синтеза полимеров, а наличие дополнительных С=С связей в них может быть использовано для пост-модификации.

Д.х.н. Николай Витальевич Ростовский (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Сахаров П.А., Коронатов А.Н., Агафонова А.В., Новиков М.С., Хлебников А.Ф., Титов Г.Д., Антонычев Г.И.) рассказал о синтезе и превращениях 2*H*-азирин-2-карбоновых кислот (схема 32). Авторами был разработан универсальный метод синтеза азиринкарбоновых кислот, в том числе неизвестных ранее, содержащих арильный заместитель при атоме С³, на основе изомеризации изоксазол–азирин, катализируемой безводным хлоридом

Схема 30





железа(II) [95]. Кроме этого, в докладе обсуждалась модификация данных соединений в реакциях Пассерини и Уги [96], а также реакции с диазосоединениями [97].

Софья Олеговна Самульцева (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия, соавторы: Дворко М.Ю., Шабалин Д.А.) выступила с докладом «Ацетиленовые кетоны: новые реакции в присутствии суперосновных каталитических сред». Особое внимание было

уделено селективности каскадных реакций димеризации алкинонов в зависимости от природы алкильного заместителя при карбонильной группе [98, 99] (схема 33).

Павел Геннадьевич Сергеев (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия, соавторы: Новиков Р.А., Томилов Ю.В.) рассказал о формальном (4+2)-циклоприсоединении азидиенов и азатриенов к стирилмалонатам как аналогам донорно-акцепторных циклопропанов (схема 34). Был предложен метод синтеза *транс,транс*-тетрагидропиридинов с высокой диастереоселективностью [100]. Реакция с кросс-сопряженными азатриенами была реализо-

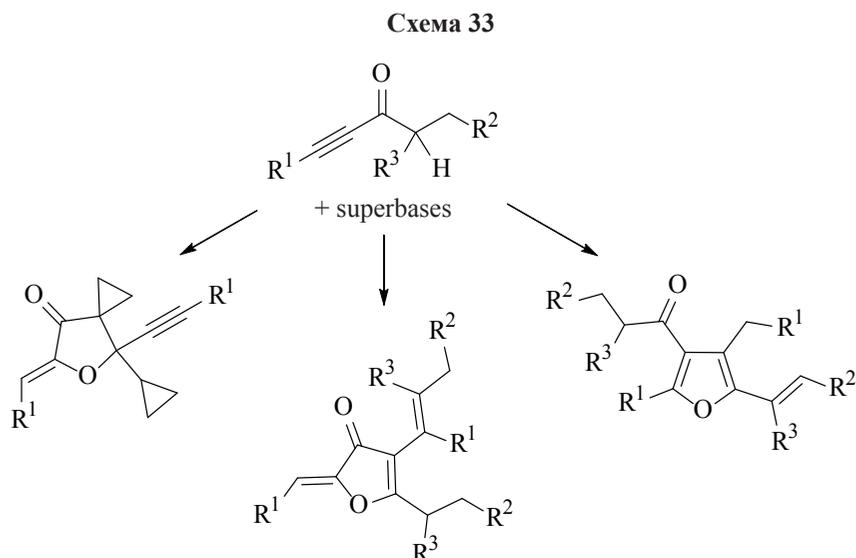
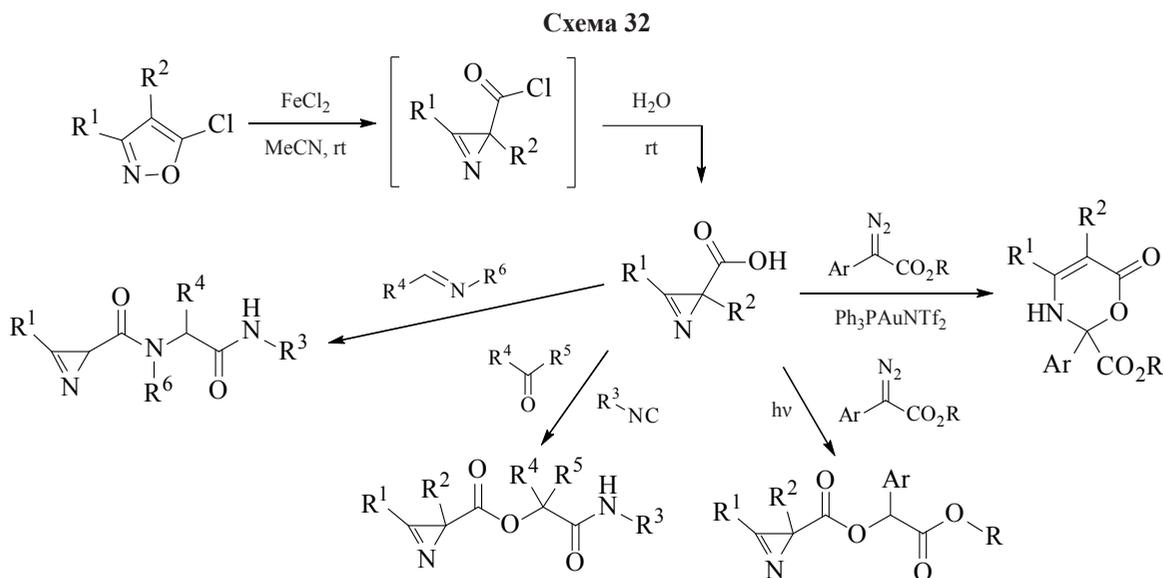
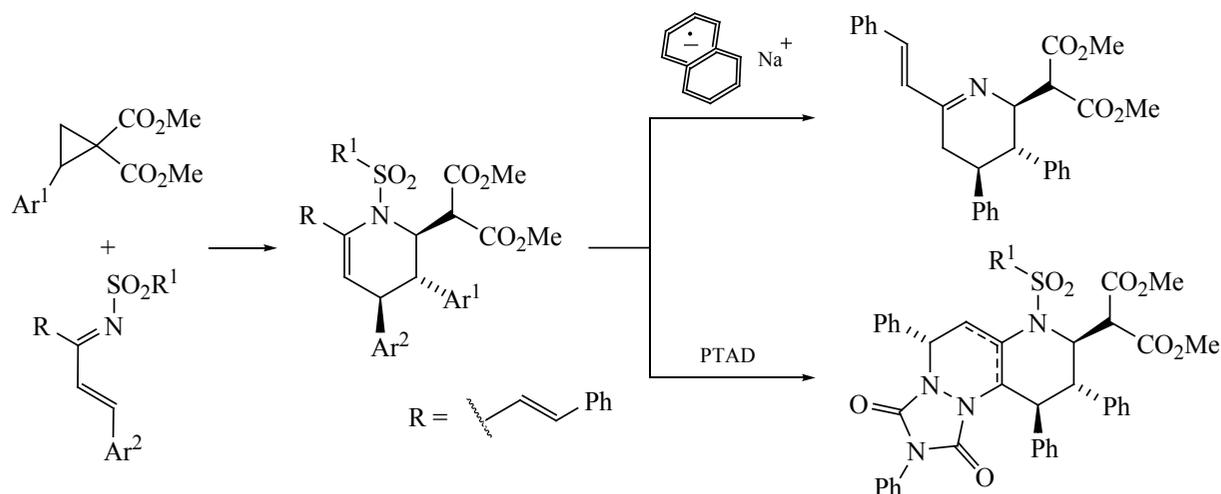


Схема 34



вана в условиях детоцилирования, протекающего с миграцией двойной связи. Кроме того, полученные винилтетрагидропиридины исследованы в качестве диенов в реакции Дильса–Альдера с PTAD [101].

К.х.н. Наталья Сергеевна Солдатова (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, соавторы: Подрезова Е.В., Семенов А.В., Байков С.В.,

Юсубов М.С., Постников П.С.) рассказала об использовании иодониевых солей для получения *N*-арилированных гетероциклов, в том числе оксадиазолонов и стерически затрудненных оксазолидинонов [102, 103] (схема 35).

Елена Владимировна Степарук (Уральский Федеральный Университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, соавторы: Викторова В.В., Обыденнов Д.Л., Сосновских В.Я.) рассказала об

Схема 35

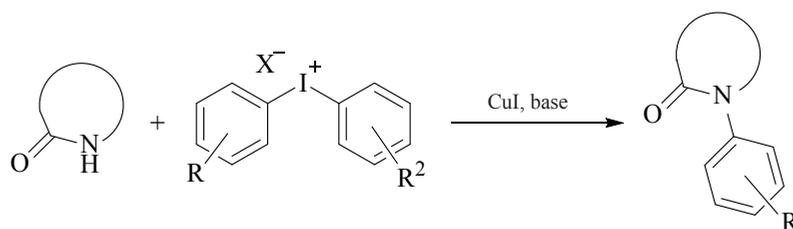


Схема 36

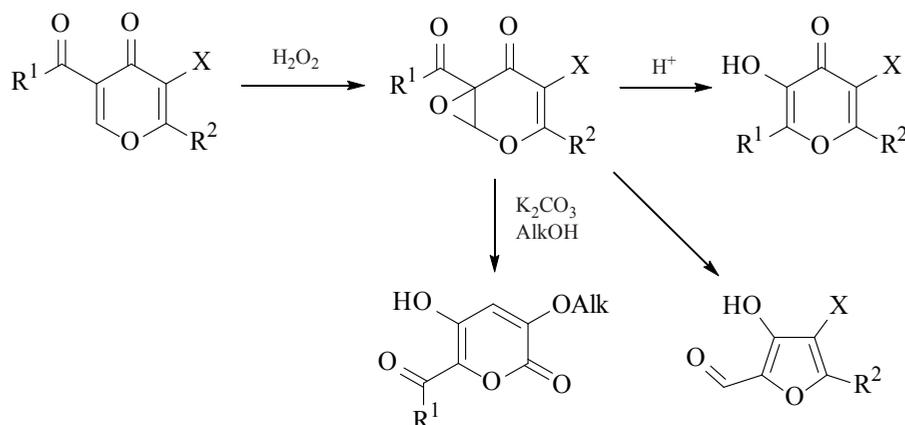
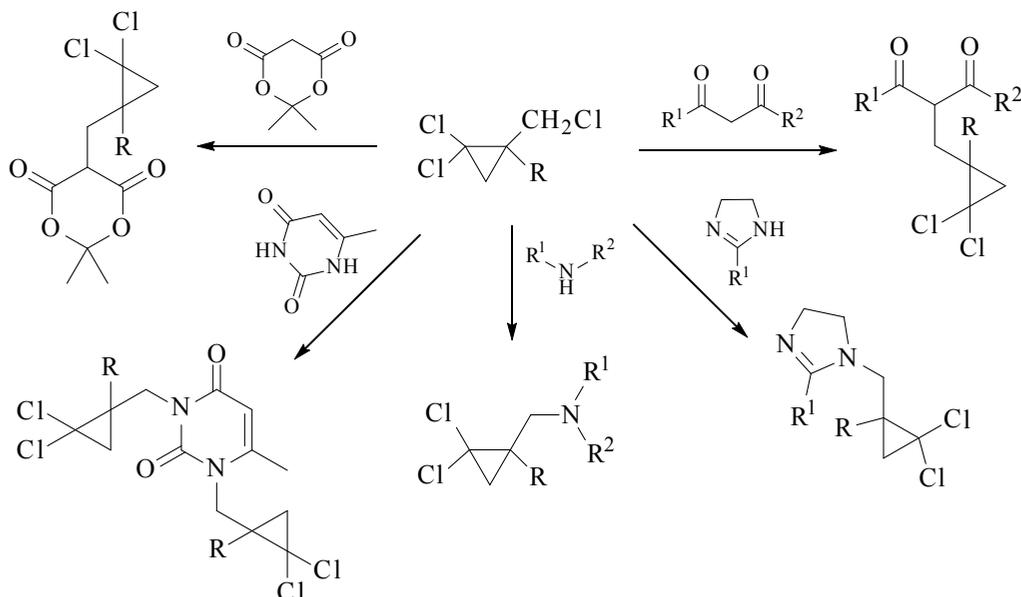


Схема 37



окислительной трансформации 5-ацил-4-пиранов (схема 36). Под действием пероксида водорода они селективно подвергаются эпоксицированию с образованием стабильных 2,3-эпокси-2,3-дигидропиранов [104, 105], которые способны вступать в дальнейшие трансформации с раскрытием пиранового и оксиранового циклов. В зависимости от условий проведения реакций продуктами были 5-гидроксипираны или 3-гидроксифураны [106, 107].

Д.х.н. Римма Марсельевна Султанова (Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия, соавторы: Борисова Ю.Г, Раскильдина Г.З., Злотский С.С.) сделала доклад о применении *гем*-дихлорциклопропанов в реакциях СН- и NH-алкилирования для синтеза полифункциональных соединений (схема 37). Из *гем*-дихлорциклопропанов получены новые производные диэтилмалоната, ацетоуксусного эфира, ацетилацетона и кислоты Мельдрума, ранее неизвестные вторичные и третичные амины, а также

производные 6-метилурацила. Была изучена биологическая активность полученных соединений.

К.х.н. Евгений Владимирович Сулов (Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия, соавторы: Можайцев Е.С., Пономарев К.Ю., Мункуев А.А., Павлова А.В., Котлярова А.А., Толстикова Т.Г., Драгоманова С., Рейниссон Й., Волчо К.П., Салахутдинов Н.Ф.) рассказал о биологически активных производных адамантана и диазаадамантана, содержащих монотерпеноидные фрагменты (схема 38). Были синтезированы библиотеки таких соединений и изучены различные виды биологической активности [108–111].

Владислав Викторович Федин (Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия, соавторы: Усачев С.А., Обыденнов Д.Л., Сосновских В.Я.) рассказал о переключаемом взаимодействии 3-алкинилпиранов с СН-активными соединениями. Было показано, что трансформация эфира 3-(фенилэтинил)-6-фе-

Схема 38

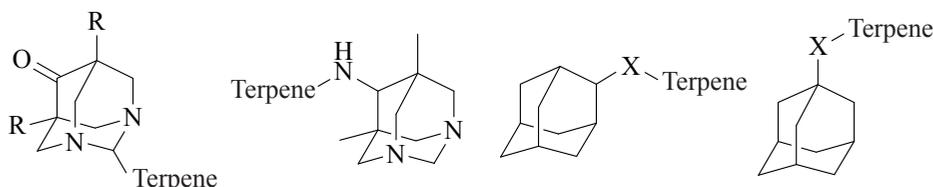
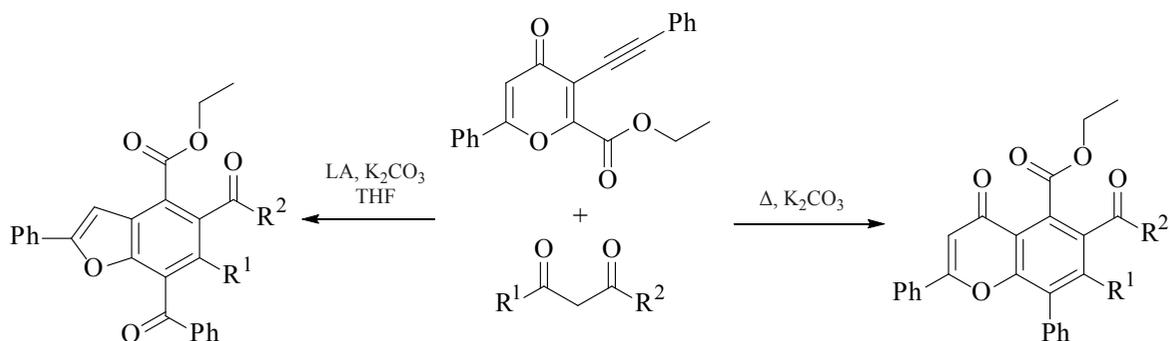


Схема 39



нилкомановой кислоты и 1,3-дикарбонильных соединений открывает доступ как к замещенным бензофуранам, так и к флавонам (схема 39).

К.х.н. Екатерина Александровна Филатова (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, соавторы: Цыбулин С.В., Гулевская А.В., Пожарский А.Ф., Смоляк Д.Ю.) выступила с докладом «Полиинковые производные протонной губки». В докладе был представлен синтез полиинковых производных 1,8-бис(диметиламино)-нафталина (протонной губки, PS) – олиго(арилэтиниленов) и 1,4-диарил-1,3-бутадиенов, содержащих от 2 до 4 фрагментов PS, а также платинового комплекса, в котором два остатка 2-этинил-PS выступают в качестве лигандов (схема 40). Для синтезированных соединений изучены процессы протонирования-депротонирования [112, 113].

К.х.н. Андрей Владимирович Храпчихин (Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия, соавторы: Скрыльникова М.А., Островский В.А.) представил доклад «Аннелирование 4-амино-4H-триазол-3-тиолов и 1-амино-1H-тетразол-5-тиола активированными ацетиленами». Были предложены новые методы синтеза ряда труднодоступных гетероциклических соединений с использованием 3-фенилпроп-2-иналя и хлорэтинилфосфонатов как ключевых аннелирующих реагентов [114, 115] (схема 41).

Елена Игоревна Чикунова (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, соавтор: Дубовцев А.Ю.) рассказала о новом методе синтеза 4-сульфонилкоксазолов на основе золото-катализируемой реакции переноса кислорода к алкинилсульфонам

Схема 40

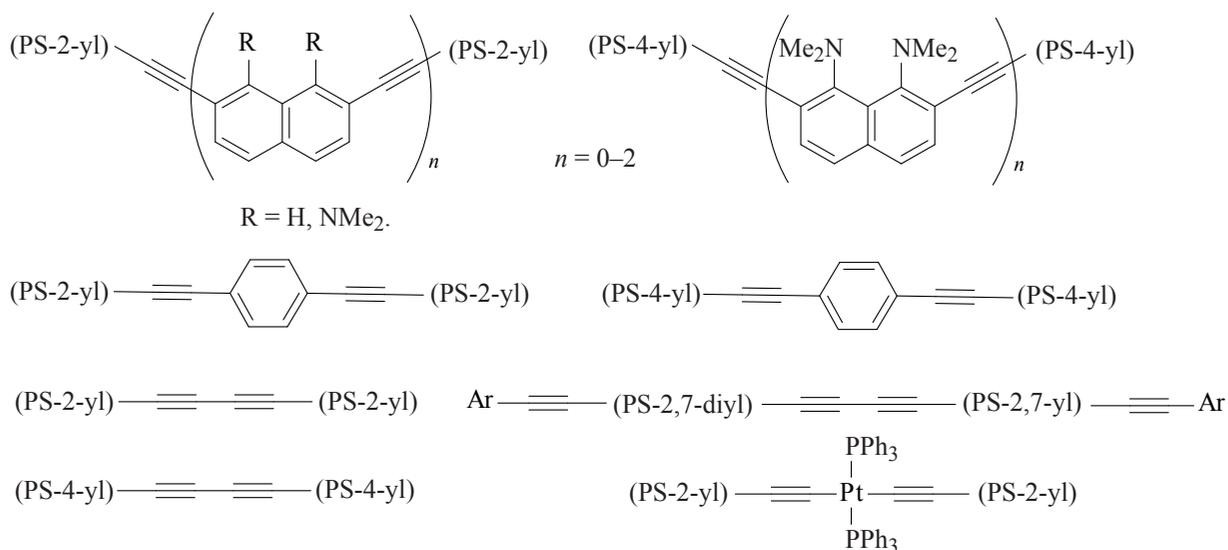


Схема 41

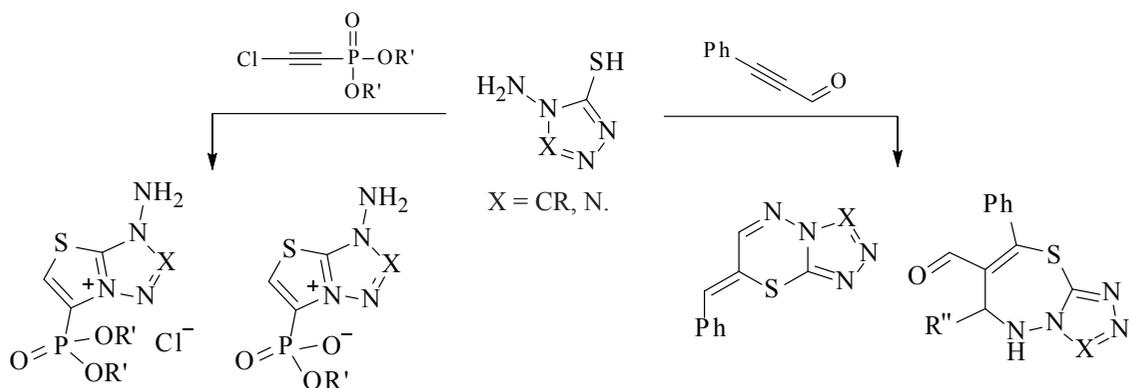
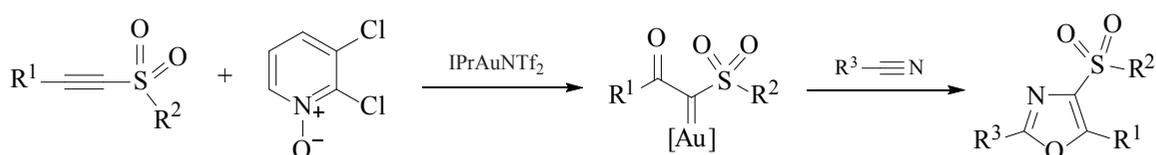


Схема 42



(схема 42). В качестве *O*-трансферных реагентов было предложено использовать пиридин *N*-оксиды, в роли *C=N* синтонов – нитрилы [116].

К.х.н. Дмитрий Андреевич Шабалин (Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия) представил доклад на тему «Родий-катализируемая *C–H*-функционализация/*N*-аннелирование азгетероциклов под действием алкинов: на пути к синтетическим аналогам криспина В». В докладе обсуждались возможности и ограничения использования тандемной родий-катализируемой реакции алкинов с различными 2-арилзамещенными азгете-

роциклами (1-пирролинами, 2*H*- и 3*H*-пирролами) [117] (схема 43).

Никита Сергеевич Шлапаков (Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва, Россия, соавторы: Кобелев А.Д., Бурькина Ю.В., Костюкович А.Ю., Анаников В.П.) рассказал о фотокаталитических реакциях межмолекулярного сочетания тиолов, алкинов и алкенов (схема 44). Продукты таких реакций могут быть удобными прекурсорами для синтеза полизамещенных диенов. В докладе отдельно обсуждалось исследование механизмов реакций квантово-химическими и физико-химическими методами, в том числе и ин-

Схема 43

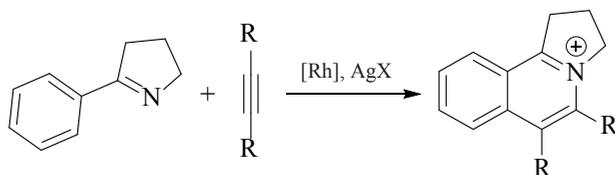


Схема 44

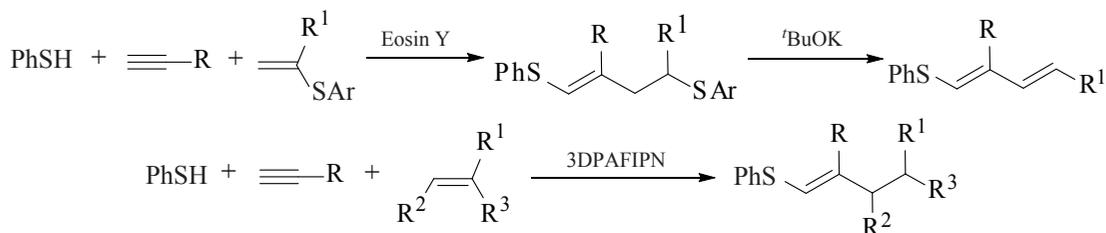
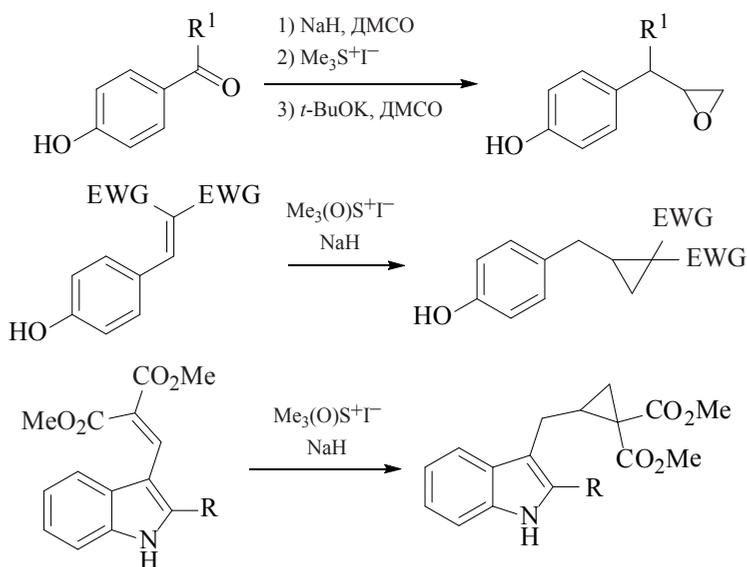


Схема 45



новационными методами on-line масс-спектрального мониторинга [118, 119].

Виталий Владимирович Шорохов

(Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, соавторы: Николаева А.А., Жохов С.С., Трушков И.В., Иванова О.А.) выступил с докладом «Реакция двойного метиленового переноса к активированным альдегидам и алкенам: синтез бензилзамещенных оксиранов и циклопропанов». Авторы расширили возможности использования илидов Кори для формирования трехчленных циклов (схема 45) и провели исследование механизма двойного метиленового переноса с использованием дейтериевой метки и квантово-химических расчетов.

Лучшими молодежными докладами симпозиума были признаны устные доклады Барашковой Ксении Александровны (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва), Бобровой Ангелины Юрьевны (ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН, Москва), Каминского Никиты Андреевича (СПбГУ, Санкт-Петербург), Мясникова Данила Александровича (ПГНИУ, Пермь) и стендовые доклады Антонкина Никиты Сергеевича (ТПУ, Томск), Бубновой Александры Сергеевны (ИНЭОС им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва), Гыргеновой Елены Андреевны (ИрИХ им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск) и Кутузова Ярослава Александровича (СПбГУ, Санкт-Петербург).

ЖУРНАЛ ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ том 59 № 12 2023

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Всероссийская конференция с международным участием «Идеи и наследие А. Е. Фаворского в органической химии» прошла при финансовой поддержке Санкт-Петербургского государственного университета.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ефремова Мария Михайловна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9277-6185>

Ростовский Николай Витальевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8925-794X>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фаворская Т.А. *Алексей Евграфович Фаворский (1860–1945) (Сер. Академия Наук СССР. Научно-биографическая серия)*. Ленинград: Наука. 1980.
2. Коновалов А.И., Антипин И.С., Бурилов В.А., Маджидов Т.И., Курбангалиева А.Р., Немтарев А.В., Соловьева С.Е., Стойков И.И., Мамедов В.А., Захарова Л.Я., Гаврилова Е.Л., Синяшин О.Г., Балова И.А., Васильев А.В., Зенкевич И.Г., Красавин М.Ю., Кузнецов М.А., Молчанов А.П., Новиков М.С., Николаев В.А., Родина Л.Л., Хлебников А.Ф., Белецкая И.П., Вацадзе С.З., Громов С.П., Зык Н.В., Лебедев А.Т., Леменовский Д.А., Петросян В.С., Ненайденко В.Г., Негребецкий В.В., Бауков Ю.И.,

- Шмиголь Т.А., Корлюков А.А., Тихомиров А.С., Щекотихин А.Е., Травень В.Ф., Воскресенский Л.Г., Zubkov Ф.И., Голубчиков О.А., Семейкин А.С., Березин Д.Б., Стужин П.А., Филимонов В.Д., Краснокутская Е.А., Федоров А.Ю., Нючев А.В., Орлов В.Ю., Бегунов Р.С., Русаков А.И., Колобов А.В., Кофанов Е.Р., Федотова О.В., Егорова А.Ю., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н., Климошкин Ю.Н., Осянин В.А., Резников А.Н., Фисюк А.С., Сагитуллина Г.П., Аксенов А.В., Аксенов Н.А., Грачев М.К., Масленникова В.И., Коротеев М.П., Брель А.К., Лисина С.В., Медведева С.М., Шихалиев Х.С., Субоч Г.А., Товбис М.С., Миронович Л.М., Иванов С.М., Курбатов С.В., Клецкий М.Е., Буров О.Н., Кобраков К.И., Кузнецов Д.Н. *ЖОрХ*. **2018**, *54*, 161–360. [Kononov A.I., Antipin I.S., Burirov V.A., Madzhidov T.I., Kurbangalieva A.R., Nemtarev A.V., Solovieva S.E., Stoikov I.I., Mamedov V.A., Zakharova L.Ya., Gavrilova E.L., Sinyashin O.G., Balova I.A., Vasilyev A.V., Zenkevich I.G., Krasavin M.Yu., Kuznetsov M.A., Molchanov A.P., Novikov M.S., Nikolaev V.A., Rodina L.L., Khlebnikov A.F., Beletskaya I.P., Vatsadze S.Z., Gromov S.P., Zyk N.V., Lebedev A.T., Lemenovskii D.A., Petrosyan V.S., Nenaïdenko V.G., Negrebetskii V.V., Baukov Yu.I., Shmigol' T.A., Korlyukov A.A., Tikhomirov A.S., Shchekotikhin A.E., Traven' V.F., Voskresenskii L.G., Zubkov F.I., Golubchikov O.A., Semeikin A.S., Berezin D.B., Stuzhin P.A., Filimonov V.D., Krasnokutskaya E.A., Fedorov A.Yu., Nyuchev A.V., Orlov V.Yu., Begunov R.S., Rusakov A.I., Kolobov A.V., Kofanov E.R., Fedotova O.V., Egorova A.Yu., Charushin V.N., Chupakhin O.N., Klimochkin Yu.N., Osyenin V.A., Reznikov A.N., Fisyuk A.S., Sagitullina G.P., Aksenov A.V., Aksenov N.A., Grachev M.K., Maslennikova V.I., Koroteev M.P., Brel' A.K., Lisina S.V., Medvedeva S.M., Shikhaliev Kh.S., Suboch G.A., Tovbis M.S., Mironovich L.M., Ivanov S.M., Kurbatov S.V., Kletskii M.E., Burov O.N., Kobrakov K.I., Kuznetsov D.N. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, *54*, 157–371.] doi 10.1134/S107042801802001X
3. Фаворский А.Е., Скосаревский М.Л. *Ж. Рус. физ.-хим. об-ва*. **1900**, *32*, 652.
 4. Фаворский А.Е. *Ж. Рус. физ.-хим. об-ва*. **1886**, *18*, 319.
 5. Меншуткин Б.Н., Фаворский А.Е., Мякотин А. *Ж. Рус. физ.-хим. об-ва*. **1901**, *33*, 631.
 6. Данилкина Н.А., Васильева А.А., Балова И.А. *Усп. хим.* **2020**, *89*, 125–171. [Danilkina N.A., Vasilyeva A.A., Balova I.A. *Russ. Chem. Rev.* **2020**, *89*, 125–171.] doi 10.1070/RCR4902
 7. *Всероссийская конференция с международным участием «Идеи и наследие А.Е. Фаворского в органической химии»*. Санкт-Петербург, 3–6 июля 2023 г., сборник тезисов. СПб: изд-во ВВМ. **2023**.
 8. Белецкая И.П., Кустов Л.М. *Усп. Хим.* **2010**, *79*, 493–515. [Beletskaya I.P., Kustov L.M. *Russ. Chem. Rev.* **2010**, *79*, 441–461.] doi 10.1070/RC2010v079n06ABEH004137
 9. Tarasenko E.A., Shestakov I.V., Rybakov V.B., Beletskaya I.P. *ChemCatChem*. **2019**, *11*, 3913–3918. doi 10.1002/cctc.201900575
 10. Mitrofanov A.Yu., Bychkova V.A., Nefedov S.E., Beletskaya I.P. *J. Org. Chem.* **2020**, *85*, 14507–14515. doi 10.1021/acs.joc.0c00913
 11. Mitrofanov A.Yu., Beletskaya I.P. *J. Org. Chem.* **2023**, *88*, 2367–2376. doi 10.1021/acs.joc.2c02780
 12. Morozkov G.V., Abel A.S., Filatov M.A., Nefedov S.E., Roznyatovsky V.A., Cheprakov A.V., Mitrofanov A. Yu., Ziankou I.S., Averin A.D., Beletskaya I.P., Michalak J., Bucher C., Bonneviot L., Bessmertnykh-Lemeune A. *Dalton Trans.* **2022**, *51*, 13612–13630. doi 10.1039/D2DT01364A
 13. Alabugin I.V., Gonzalez-Rodriguez E. *Acc. Chem. Res.* **2018**, *51*, 1206–1219. doi 10.1021/acs.accounts.8b00026
 14. Alabugin I.V., Kuhn L., Medvedev M.G., Krivoshechapor N.V., Vil' V.A., Yaremenko I.A., Mehaffy P., Yarie M., Terent'ev A.O., Zolfigol M.A. *Chem. Soc. Rev.* **2021**, *50*, 10253–10345. doi 10.1039/D1CS00386K
 15. Yaremenko I.A., Belyakova Y.Y., Radulov P.S., Novikov R.A., Medvedev M.G., Krivoshechapor N.V., Korlyukov A.A., Alabugin I.V., Terent'ev A.O. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 6634–6648. doi 10.1021/jacs.1c02249
 16. Elliott Q., Gomes G., Evoniuk C.J., Alabugin I.V. *Chem. Sci.* **2020**, *11*, 6539–6555. doi 10.1039/C9SC06511C
 17. Syroeshkin M.A., Kuriakose F., Saverina E.A., Timofeeva V.A., Egorov M.P., Alabugin I.V. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2019**, *58*, 5532–5550. doi 10.1002/anie.201807247
 18. Galushko A.S., Boiko D.A., Pentsak E.O., Eremin D.B., Ananikov V.P. *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 9092–9103. doi 10.1021/jacs.3c00645
 19. Eremin D.B., Galushko A.S., Boiko D.A., Pentsak E.O., Chistyakov I.V., Ananikov V.P. *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 6071–6079. doi 10.1021/jacs.2c01283
 20. Boiko D.A., Kozlov K.S., Burykina Yu.V., Ilyushenkova V.V., Ananikov V.P. *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 14590–14606. doi 10.1021/jacs.2c03631

21. Boiko D.A., Pentsak E.O., Cherepanova V.A., Gordееv E.G., Ananikov V.P. *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 7428–7441. doi 10.1039/D0SC05696K
22. Kashin A.S., Boiko D.A., Ananikov V.P. *Small.* **2021**, 2007726. doi 10.1002/smll.202007726
23. Schmidt E.Yu., Bidusenko I.A., Protsuk N.I., Demyanov Y.V., Ushakov I.A., Trofimov B.A. *Eur. J. Org. Chem.* **2019**, 5875–5881. doi 10.1002/ejoc.201900932
24. Bidusenko I.A., Schmidt E.Yu., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Trofimov B.A. *Org. Lett.* **2021**, *23*, 4121–4126. doi 10.1021/acs.orglett.1c01009
25. Bidusenko I.A., Schmidt E.Yu., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Protsuk N.I., Orel V.B., Vitkovskaya N.M., Trofimov B.A. *J. Org. Chem.* **2022**, *87*, 12225–12239. doi 10.1021/acs.joc.2c01372
26. Semenova N.V., Schmidt E.Yu., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Trofimov B.A. *Mendeleev Commun.* **2023**, *33*, 164–166. doi 10.1016/j.mencom.2023.02.005
27. Volkov P.A., Khrapova K.O., Telezhkin A.A., Bidusenko I.A., Schmidt E.Yu., Albanov A.I., Trofimov B.A. *Adv. Synth. Catal.* **2023**, *365*, 53–67. doi 10.1002/adsc.202201179
28. Zerov A.V., Boyarskaya I.A., Khoroshilova O.V., Lavrentieva I.N., Slita A.V., Sinogubova E.O., Zarubaev V.V., Vasilyev A.V. *J. Org. Chem.* **2021**, *86*, 1489–1504. doi 10.1021/acs.joc.0c02361
29. Devleshova N.A., Lozovskiy S.V., Vasilyev A.V. *Tetrahedron.* **2019**, *75*, 130517–130529. doi 10.1016/j.tet.2019.130517
30. Nursahedova S.K., Ryabukhin D.S., Muzalevskiy V.M., Iakovenko R.O., Boyarskaya I.A., Starova G.L., Nenajdenko V.G., Vasilyev A.V. *Eur. J. Org. Chem.* **2019**, 1293–1300. doi 10.1002/ejoc.201801645
31. Nursahedova S.K., Zerov A.V., Boyarskaya I.A., Grinenko E.V., Nenajdenko V.G., Vasilyev A.V. *Org. Biomol. Chem.* **2019**, *17*, 1215–1224. doi 10.1039/C8OB02887G
32. Zerov A.V., Kazakova A.N., Boyarskaya I.A., Panikorovskii T.L., Suslonov V.V., Khoroshilova O.V., Vasilyev A.V. *Molecules.* **2018**, *3079*. doi 10.3390/molecules23123079
33. Lyapunova A.G., Danilkina N.A., Rummyantsev A.M., Khlebnikov A.F., Chislov M.V., Starova G.L., Sambuk E.V., Govdi A.I., Bräse S., Balova I.A. *J. Org. Chem.* **2018**, *83*, 2788–2801. doi 10.1021/acs.joc.7b03258
34. Danilkina N.A., D'yachenko A.S., Govdi A.I., Khlebnikov A.F., Korniyakov I.V., Bräse S., Balova I.A. *J. Org. Chem.* **2020**, *85*, 9001–9014. doi 10.1021/acs.joc.0c00930
35. Danilkina N.A., Govdi A.I., Khlebnikov A.F., Tikhomirov A.O., Sharoyko V.V., Shtyrov A.A., Ryazantsev M.N., Bräse S., Balova I.A. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 16519–16537. doi 10.1021/jacs.1c06041
36. Motornov V.A., Muzalevskiy V.M., Tabolin A.A., Novikov R.A., Nelyubina Y.V., Nenajdenko V.G., Ioffe S.L. *J. Org. Chem.* **2017**, *82*, 5274–5284. doi 10.1021/acs.joc.7b00578
37. Larkovich R.V., Shambalova V.E., Ponomarev S.A., Aldoshin A.S., Lyssenko K.A., Nechaev M.S., Nenajdenko V.G. *J. Org. Chem.* **2023**, *88*, 10122–10136. doi 10.1021/acs.joc.3c00935
38. Ponomarev S.A., Larkovich R.V., Aldoshin A.S., Tabolin A.A., Ioffe S.L., Groß J., Opatz T., Nenajdenko V.G. *Beilstein J. Org. Chem.* **2021**, *17*, 283–292. doi 10.3762/bjoc.17.27
39. Galenko E.E., Kryukova M.A., Novikov M.S., Khlebnikov A.F. *J. Org. Chem.* **2020**, *85*, 6109–6122. doi 10.1021/acs.joc.0c00611
40. Agafonova A.V., Funt L.D., Novikov M.S., Khlebnikov A.F. *Org. Biomol. Chem.* **2021**, *19*, 1976–1984. doi 10.1039/d1ob00053e
41. Agafonova A.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F. *Molecules.* **2023**, *28*, 275. doi 10.3390/molecules28010275
42. Oparina L.A., Belyaeva K.V., Koluvanov N.A., Ushakov I.A., Gotsko M.D., Sobenina L.N., Vashchenko A.V., Trofimov B.A. *J. Org. Chem.* **2022**, *87*, 9518–9531. doi 10.1021/acs.joc.2c00476
43. Belyaeva K.V., Nikitina L.P., Gen' V.S., Tomilin I.V., Sobenina L.N., Afonin A.V., Oparina L.A., Trofimov B.A. *Catalysts.* **2022**, *12*, 1604. doi 10.3390/catal12121604
44. Belyaeva K.V., Nikitina L.P., Gen' V.S., Saliy I.V., Sobenina L.N., Afonin A.V., Vashchenko A.V., Trofimov B.A. *ChemistrySelect.* **2022**, *7*, e20220448. doi 10.1002/slct.202204482
45. Gulevskaya A.V., Nelina-Nemtseva J.I. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2018**, *54*, 1084–1107. doi 10.1007/s10593-019-02398-5
46. Gulevskaya A.V., Tonkoglazova D.I. *Adv. Synth. Catal.* **2022**, *364*, 2502–2539. doi 10.1002/adsc.202200513
47. De A., Santra S., Hajra A., Zyryanov G.V., Majee A. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 11735–11740. doi 10.1021/acs.joc.9b01625
48. Rahman M., Bagdi A.K., Kopchuk D.S., Kovalev I.S., Zyryanov G.V., Chupakhin O.N., Majee A., Hajra A. *Org. Biomol. Chem.* **2020**, *18*, 9562–9582. doi 10.1039/D0OB01638A
49. Mahato S., Santra S., Zyryanov G.V., Majee A. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 3176–3183. doi 10.1021/acs.joc.8b03065

50. Khlebnikov A.F., Novikov M.S., Rostovskii N.V. *Tetrahedron*. **2019**, *75*, 2555–2624. doi 10.1016/j.tet.2019.03.040
51. Sakharov P.A., Novikov M.S., Rostovskii N.V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2021**, *57*, 512–521. doi 10.1007/s10593-021-02934-2
52. Sakharov P.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Khoroshilova O.V., Novikov M.S. *Adv. Synth. Catal.* **2019**, *361*, 3359–3372. doi 10.1002/adsc.201900366
53. Sakharov P.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Panikorovskii T.L., Novikov M.S. *Org. Lett.* **2019**, *21*, 3615–3619. doi 10.1021/acs.orglett.9b01043
54. Sakharov P.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Molecules*. **2022**, *27*, 5681. doi 10.3390/molecules27175681
55. Ankudinov N.M., Chusov D.A., Nelyubina Y.V., Perekalin D.S. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2021**, *60*, 18712–18720. doi 10.1002/anie.202105179
56. Trifonova E.A., Ankudinov N.M., Chusov D.A., Nelyubina Y.V., Perekalin D.S. *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 6709–6712. doi 10.1039/D2CC01648F
57. Ivanova O.A., Trushkov I.V. *Chem. Rec.* **2019**, *19*, 2189–2208. doi 10.1002/tcr.201800166
58. Chagarovskiy A.O., Vasin V.S., Kuznetsov V.V., Ivanova O.A., Rybakov V.B., Shumsky A.N., Makhova N.N., Trushkov I.V. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, *57*, 10338–10342. doi 10.1002/anie.201805258
59. Agafonova A.V., Smetanin I.A., Rostovskii N.V., Khlebnikov A.F., Novikov M.S. *Org. Lett.* **2021**, *23*, 8045–8049. doi 10.1021/acs.orglett.1c03060
60. Agafonova A.V., Golubev A.A., Smetanin I.A., Khlebnikov A.F., Spiridonova D.V., Novikov M.S. *Org. Lett.* **2023**, *25*, 7165–7169. doi 10.1021/acs.orglett.3c02696
61. Kotovshchikov Y.N., Tatevosyan S.S., Latyshev G.V., Kugusheva Z.R., Lukashev N.V., Beletskaya I.P. *New J. Chem.* **2023**, *47*, 12239–12247. doi 10.1039/D3NJ01264F
62. Bobrova A.Yu., Novikov M.A., Tomilov Yu.V. *Org. Biomol. Chem.* **2021**, *21*, 4678–4684. doi 10.1039/D1OB00567G
63. Bobrova A.Yu., Novikov M.A., Tomilov Yu.V. *Mendeleev Commun.* **2022**, *5*, 619–621. doi 10.1016/j.mencom.2022.09.016
64. Boichenko M.A., Ivanova O.A., Andreev I.A., Chagarovskiy A.O., Levina I.I., Rybakov V.B., Skvortsov D.A., Trushkov I.V. *Org. Chem. Front.* **2018**, *5*, 2829–2834. doi 10.1039/C8QO00742J
65. Boichenko M.A., Andreev I.A., Chagarovskiy A.O., Levina I.I., Zhokhov S.S., Trushkov I.V., Ivanova O.A. *J. Org. Chem.* **2020**, *85*, 1146–1157. doi 10.1021/acs.joc.9b03098
66. Andreev I.A., Boichenko M.A., Ratmanova N.K., Ivanova O.A., Levina I.I., Khrustalev V.N., Sedov I.A., Trushkov I.V. *Adv. Synth. Catal.* **2022**, *364*, 2403–2415. doi 10.1002/adsc.202200486
67. Boichenko M.A., Plodukhin A.Y., Shorokhov V.V., Lebedev D.S., Filippova A.V., Zhokhov S.S., Tarasenko E.A., Rybakov V.B., Trushkov I.V., Ivanova O.A. *Molecules*. **2022**, *27*, 8468–8489. doi 10.3390/molecules27238468
68. Shorokhov V.V., Lebedev D.S., Boichenko M.A., Zhokhov S.S., Trushkov I.V., Ivanova O.A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2023**, *59*, 54–62. doi 10.1007/s10593-023-03162-6
69. Vatsadze S.Z., Medved'ko A.V., Bodunov A.A., Lyssenko K.A., *Mendeleev Commun.*, **2020**, *30*, 344–346. doi 10.1016/j.mencom.2020.05.028
70. Vidyakina A.A., Shtyrov A.A., Ryazantsev M.N., Khlebnikov A.F., Kolesnikov I.E., Sharoyko V.V., Spiridonova D.V., Balova I.A., Bräse S., Danilkina N.A. *Chem. Eur. J.* **2023**, *29*, e202300540. doi 10.1002/chem.202300540
71. Vil' V.A., Barsegyan Y.A., Kuhn L., Terent'ev A.O., Alabugin I.V. *Organometallics*. **2023**, *42*, 2598–2612. doi 10.1021/acs.organomet.2c00663
72. Vorobyeva D.V., Bubnova A.S., Godovikov I.A., Danshina A.A., Osipov S.N. *Asian J. Org. Chem.* **2022**, *12*, e202200485. doi 10.1002/ajoc.202200485
73. Vorobyeva D.V., Petropavlovskikh D.A., Godovikov I.A., Dolgushin F.M., Osipov S.N. *Molecules*. **2022**, *27*, 8488. doi 10.3390/molecules27238488
74. Tokareva M.A., Pernik I., Lewis W., Messerle B.A., Glukhareva T.V., Keaveney S.T. *ACS Catal.* **2022**, *12*, 5574–5584. doi 10.1021/acscatal.2c01175
75. Tokareva M.A., Pernik I., Messerle B.A., Glukhareva T.V., Keaveney S.T. *Catal. Sci. Technol.* **2023**, *13*, 2772–2782. doi 10.1039/D3CY00290J
76. Govdi A.I., Danilkina N.A., Ponomarev A.V., Balova I.A. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 1925–1940. doi 10.1021/acs.joc.8b02916
77. Efremova M.M., Govdi A.I., Frolova V.V., Rummyantsev A.M., Balova I.A. *Molecules*. **2021**, *26*, 2801. doi 10.3390/molecules26092801
78. Govdi A.I., Tokareva P.V., Rummyantsev A.M., Panov M.S., Stellmacher J., Alexiev U., Danilkina N.A., Balova I.A. *Molecules*. **2022**, *27*, 3191. doi 10.3390/molecules27103191
79. Spivak A.Y., Gubaidullin R.R., Galimshina Z.R., Nedopekina D.A., Odinokov V.N. *Tetrahedron*. **2016**, *72*, 1249–1256. doi 10.1016/j.tet.2016.01.024

80. Gubaidullin R.R., Spivak A.Yu., Maistrenko V.N., Parfenova L.V. *ChemistrySelect*. **2022**, *7*, e202202241. doi 10.1002/slct.202202241
81. Itakhunov R.N., Odin I.S., Gusev D.M., Grabovskiy S.A., Gordon K.V., Vologzhanina A.V., Sokov S.A., Sosnin I.M., Golovanov A.A. *Org. Biomol. Chem.* **2022**, *20*, 8693–8713. doi 10.1039/D2OB01427K
82. Shcherbakov N.V., Titov G.D., Chikunova E.I., Filippov I.P., Rostovskii N.V., Kukushkin V.Yu., Dubovtsev A.Yu. *Org. Chem. Front.* **2022**, *9*, 5133–5140. doi 10.1039/D2QO01105K
83. Efremova M.M., Makarova A.A., Novikov A.S., Kryukova M.A., Kuznetsov M.A., Molchanov A.P. *Org. Biomol. Chem.* **2021**, *19*, 9773–9784. doi 10.1039/D1OB01584B
84. Zakharov T.N., Sakharov P.A., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Rostovskii N.V. *Molecules*. **2023**, *28*, 4315. doi 10.3390/molecules28114315
85. Ivanova E.E., Shabalin D.A., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Schmidt E.Yu., Trofimov B.A. *Org. Biomol. Chem.* **2023**, *21*, 1725–1736. doi 10.1039/D2OB02230C
86. Vartanova A.E., Plodukhin A.Yu., Ratmanova N.K., Andreev I.A., Anisimov M.N., Gudimchuk N.B., Rybakov V.B., Levina I.I., Ivanova O.A., Trushkov I.V., Alabugin I.V. *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 13952–13961. doi 10.1021/jacs.1c07088
87. Fadeev A.A., Makarov A.S., Ivanova O.A., Uchuskin M.G., Trushkov I.V. *Org. Chem. Front.* **2022**, *9*, 737–744. doi 10.1039/D1QO01646F
88. Kolos A.V., Nelyubina Y.V., B. Sundararaju B., Perekalin D.S. *Organometallics*. **2021**, *40*, 3712–3719. doi 10.1021/acs.organomet.1c00403
89. Trifonova E.A., Ankudinov N.M., Mikhaylov A.A., Chusov D.A., Nelyubina Y.V., Perekalin D.S. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2018**, *57*, 7714–7718. doi 10.1002/anie.201801703
90. Komarova A.A., Perekalin D.S. *Organometallics*. **2023**, *42*, 1433–1438. doi 10.1021/acs.organomet.3c00153
91. Dar'in D., Kantin G., Chupakhin E., Sharoyko V., Krasavin M. *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 8221–8227. doi 10.1002/chem.202100880
92. Dar'in D., Kantin G., Glushakova D., Sharoyko V., Krasavin M. *J. Org. Chem.* **2023**, in press. doi 10.1021/acs.joc.2c02600
93. Shcherbakov R.O., Myasnikov D.A., Trushkov I.V., Uchuskin M.G. *J. Org. Chem.* **2023**, *88*, 8227–8235. doi 10.1021/acs.joc.3c00203
94. Pelipko V.V., Baichurin R.I., Lyssenko K.A., Kondrashov E.V., Makarenko S.V. *Mendeleev Commun.* **2023**, *33*, 451–454. doi 10.1016/j.mencom.2023.06.003
95. Sakharov P.A., Koronotov A.N., Khlebnikov A.F., Novikov M.S., Glukharev A.G., Rogacheva E.V., Kraeva L.A., Sharoyko V.V., Tennikova T.B., Rostovskii N.V. *RSC Adv.* **2019**, *9*, 37901–37905. doi 10.1039/C9RA09345A
96. Rostovskii N.V., Koronotov A.N., Sakharov P.A., Agafonova A.V., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Rogacheva E.V., Kraeva L.A. *Org. Biomol. Chem.* **2020**, *18*, 9448–9460. doi 10.1039/D0OB02023K
97. Titov G.D., Antonychev G.I., Novikov M.S., Khlebnikov A.F., Rogacheva E.V., Kraeva L.A., Rostovskii N.V. *Org. Lett.* **2023**, *25*, 2707–2712. doi 10.1021/acs.orglett.3c00823
98. Dvorko M.Yu., Shabalin D.A., Ushakov I.A., Schmidt E.Yu., Trofimov B.A. *Eur. J. Org. Chem.* **2023**, *26*, e202201464. doi 10.1002/ejoc.202201464
99. Samultceva S.O., Dvorko M.Yu., Shabalin D.A., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Schmidt E.Yu., Trofimov B.A. *Org. Biomol. Chem.* **2022**, *20*, 5325. doi 10.1039/D2OB00854H
100. Sergeev P.G., Novikov R.A., Tomilov Y.V. *Adv. Synth. Catal.* **2021**, *363*, 5292–5167. doi 10.1002/adsc.202101198
101. Sergeev P.G., Novikov R.A., Tomilov Y.V. *Molecules*. **2023**, *28*, 88. doi 10.3390/molecules28010088
102. Soldatova N.S., Semenov A.V., Geyl K.K., Baykov S.V., Shetnev A.A., Konstantinova A.S., Korsakov M.M., Yusubov M.S., Postnikov P.S. *Adv. Synth. Catal.* **2021**, *363*, 3566–3576. doi 10.1002/adsc.202100426
103. Podrezova E.V., Okhina A.A., Rogachev A.D., Baykov S.V., Kirschning A., Yusubov M.S., Soldatova N.S., Postnikov P.S. *Org. Biomol. Chem.* **2023**, *21*, 1952–1957. doi 10.1039/D2OB02122F
104. Obydenov D.L., Goncharov A.O., Sosnovskikh V.Y. *Russ. Chem. Bull.* **2016**, *65*, 2233–2242. doi 10.1007/s11172-016-1574-x
105. Obydenov D.L., Viktorova V.V., Chernyshova E.V., Shirinkin A.S., Usachev S.A., Sosnovskikh V.Y. *Synthesis*. **2020**, *52*, 2267–2276. doi 10.1055/s-0040-1707471
106. Steparuk E.V., Meshcheryakova E.A., Viktorova V.V., Ulitko M.V., Obydenov D.L., Sosnovskikh V.Y. *J. Org. Chem.* **2023**, *88*, 11590–11602. doi 10.1021/acs.joc.3c00907
107. Steparuk E.V., Obydenov D.L., Sosnovskikh V.Y. *Molbank*. **2023**, M1668. doi 10.3390/M1668
108. Munkuev A.A., Dyrkheeva N.S., Kornienko T.E., Ilina E.S., Ivankin D.I., Suslov E.V., Korchagina D.V., Gatilov Y.V., Zakharenko A.L., Malakho-

- va A.A., Reynisson J., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F., Lavrik O.I. *Molecules*. **2022**, *27*, 3374. doi 10.3390/molecules27113374
109. Dragomanova S., Lazarova M., Munkuev A., Suslov E., Volcho K., Salakhutdinov N., Bibi A., Reynisson J., Tzvetanova E., Alexandrova A., Georgieva A., Uzunova D., Stefanova M., Kalfin R., Tancheva L. *Molecules*. **2022**, *27*, 5456, doi 10.3390/molecules27175456
110. Munkuev A.A., Mozhaitsev E.S., Chepanova A.A., Suslov E.V., Korchagina D.V., Zakharova O.D., Plina E.S., Dyrkheeva N.S., Zakharenko A.L., Reynisson J., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F., Lavrik O.I. *Molecules*. **2021**, *26*, 3128, doi 10.3390/molecules26113128
111. Суслов Е.В., Пономарев К.Ю., Волчо К.П., Салахутдинов Н.Ф. *Биоорг. Хим.* **2021**, *47*, 659–682. [Suslov E.V., Ponomarev K.Yu., Volcho K.P., Salakhutdinov N.F. *Russ. J. Bioorg. Chem.* **2021**, *47*, 1133–1154.] doi 10.1134/S1068162021060236
112. Filatova E.A., Pozharskii A.F., Gulevskaya A.V., Ozeryanskii V.A., Tsybulin S.V., Filarowski A. *Eur. J. Org. Chem.* **2019**, *42*, 7128–7141. doi 10.1002/ejoc.201901292
113. Filatova E.A., Tsybulin S.V., Rybin D.A., Ozeryanskii V.A., Gulevskaya A.V., Pozharskii A.F., Borodkin G.S. *New. J. Chem.* **2022**, *46*, 1829–1838. doi 10.1039/D1NJ05350G
114. Khranchikhin A.V., Skryl'nikova M.A., Esaulkova I.L., Sinegubova E.O., Zarubaev V.V., Gureev M.A., Puzyk A.M., Ostrovskii V.A. *Molecules*. **2022**, *27*, 7940. doi 10.3390/molecules27227940
115. Gurenkova Yu.S., Korniyakov I.V., Ostrovsky V.A., Skrylnikova M.A., Khranchikhin A.V. *Russ. J. Gen. Chem.* **2020**, 1202–1206. doi 10.1134/S1070363220070051
116. Chikunova E.I., Dar'in D.V., Kukushkin V.Yu., Dubovtsev A.Yu. *Adv. Synth. Catal.* **2022**, *364*, 3697–3707. doi 10.1002/adsc.202200751
117. Shabalin D.A., Kazak M.K., Ushakov I.A., Vashchenko A.V., Schmidt E.Yu. *J. Org. Chem.* **2022**, *87*, 6860–6869. doi 10.1021/acs.joc.2c00555
118. Burykina J.V., Shlapakov N.S., Gordeev E.G., König B., Ananikov V.P. *Chem. Sci.* **2020**, *37*, 10061–10070. doi 10.1039/D0SC01939A
119. Burykina J.V., Kobelev A.D., Shlapakov N.S., Kostyukovich A.Yu., Fakhrutdinov A.N., König B., Ananikov V.P. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2022**, *61*, e202116888. doi 10.1002/anie.202116888

Symposium on Chemistry of Alkynes, Allenes and Small Cycles

M. M. Efremova and N. V. Rostovskii*

St. Petersburg State University, Institute of Chemistry, Universitetskaya nab., 7/9, St. Petersburg, 199034 Russia

*e-mail: n.rostovskiy@spbu.ru

Received October 7, 2023; revised October 18, 2023; accepted October 20, 2023

The symposium on the chemistry of alkynes, allenes and small cycles was held from July 3 to July 6, 2023 at St. Petersburg State University as part of the All-Russian conference with international participation “Ideas and legacy of A.E. Favorsky in organic chemistry”. Leading experts in the chemistry of alkynes, allenes and small cycles took part in the symposium; the latest achievements in the chemistry of these classes of compounds were presented and further development prospects were discussed. This review contains brief annotations of the reports and references to the corresponding publications of the authors.

Keywords: alkynes, allenes, cyclopropanes, heterocyclic compounds