

Синтез и свойства гетероциклсодержащих подандов

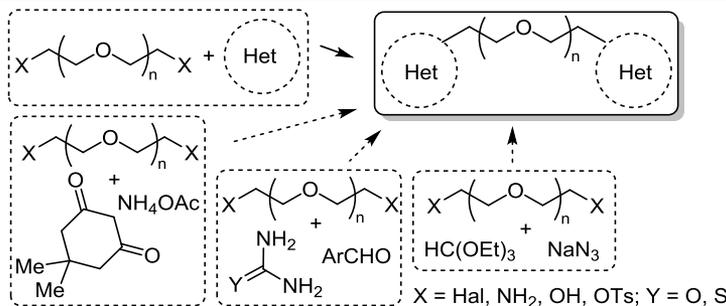
Елена С. Филатова^{1*}, Ольга В. Федорова¹,
Геннадий Л. Русинов^{1,2}, Валерий Н. Чарушин^{1,2}

¹ Институт органического синтеза им. И. Я. Постовского УрО РАН,
ул. Софьи Ковалевской, 22/20, Екатеринбург 620108, Россия; e-mail: sintonin@mail.ru

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,
ул. Мира, 19, Екатеринбург 620002, Россия

Поступило 13.07.2021

Принято 5.08.2021



Обзор посвящен нециклическим аналогам краун-эфиров (подандам), содержащим оксиэтиленовый спейсер и гетероциклические фрагменты на одном или обоих его концах. В работе рассмотрены публикации по способам получения и свойствам подандов за период с 2010 по 2021 г.

Ключевые слова: гетероциклсодержащие поданды, гликоль, олигооксиэтиленовый спейсер, открытоцепные аналоги краун-эфиров.

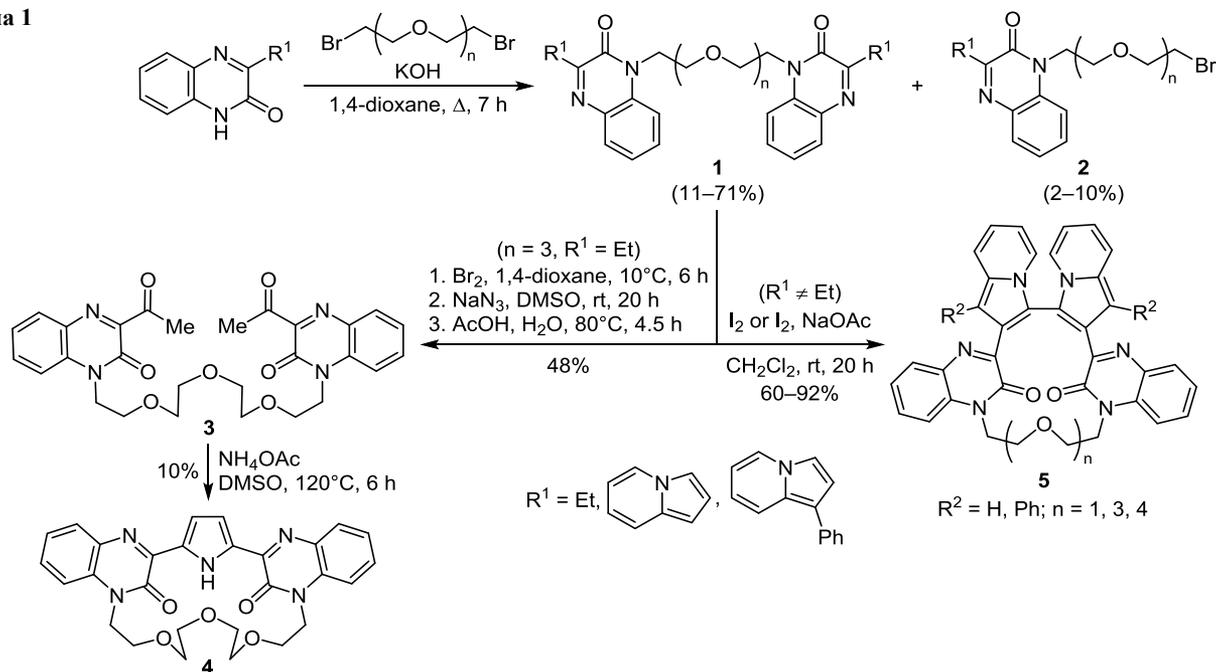
Нециклические аналоги краун-эфиров (поданды), на одном или обоих концах олигооксиэтиленового спейсера которых присутствуют арил- и гетарилсодержащие группы, давно зарекомендовали себя как соединения с широким спектром практически полезных свойств. Поданды применяются как эффективные флуоресцентные хемосенсоры,^{1,2} ионные жидкости,^{3,4} строительные блоки при создании гетероциклсодержащих полимеров.^{5–7} Продемонстрирована практическая значимость использования подандов в асимметрическом распознавании, в частности в качестве хиральных индукторов.⁸ Однако основной интерес к нециклическим полиэфирам объясняется их структурной близостью к природным антибиотикам типа нигерицина и моненсина.⁹ Способность подандов легко проникать через биологические мембраны и взаимодействовать с определенными ферментами делает их перспективными объектами медицинской химии, в особенности в качестве эффективных туберкулостатиков.^{10–12}

В современной литературе представлены различные способы синтеза подандов, причем само понятие "поданд" стало сильно размытым. В данном обзоре будут рассмотрены синтез и свойства классических подандов – открытоцепных аналогов краун-эфиров,¹³

содержащих олигооксиэтиленовый спейсер, а также арил- или гетарилсодержащие фрагменты на одном или обоих его концах.

Почти все известные методы синтеза таких соединений являются многостадийными процессами и включают либо последовательное построение ароматического или гетероароматического фрагмента и дальнейшее его связывание с олигооксиэтиленовым спейсером, либо модификацию уже функционализированных подандов. Наиболее часто для сочетания гетероциклического фрагмента с олигооксиэтиленовым спейсером используется реакция Вильямсона, заключающаяся в нуклеофильном замещении хорошо уходящих групп, находящихся как в исходном соединении с олигооксиэтиленовым фрагментом, так и в гетероцикле. Известны и другие методы получения нециклических полиэфиров: ароматическое нуклеофильное замещение, реакции конденсации. Одним из наиболее перспективных путей синтеза гетероциклсодержащих подандов, на наш взгляд, является использование методов, позволяющих формировать гетероциклическую систему непосредственно на матрице поданда, в частности многокомпонентных реакций Биджинелли или Ганча.

Схема 1



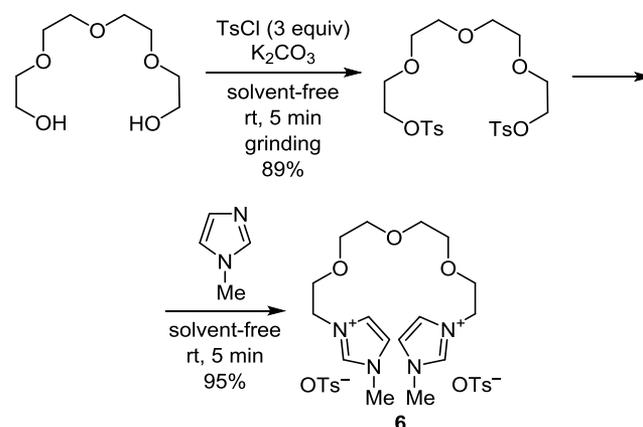
Нуклеофильное замещение хорошо уходящих групп в поданде

Одним из примеров подхода, основанного на нуклеофильном замещении, является синтез подандов, где в роли атакующей частицы выступает атом азота гетероцикла.

Так, Мамедовым и сотр. описан синтез хиноксалин-содержащих подандов, ключевой стадией которого является *N*-алкилирование хиноксалиновой системы галогензамещенными олигоэтиленгликолями. 3-Замещенные производные хиноксалин-2-она были вовлечены в реакцию алкилирования с дибромпроизводными ди-, три-, тетраэтиленгликоля с получением дизамещенных подандов **1**, а также побочных монопроизводных **2**. Последующая трехстадийная трансформация поданда **1** (R¹ = Et) – бромирование по обоим этильным фрагментам, замещение атомов брома на азидогруппу и дальнейшее превращение азидометинового фрагмента в карбонильный в водной AcOH – привела к ацетилхиноксалинсодержащему поданду **3** (схема 1).¹⁴ Взаимодействием поданда **3** с NH₄OAc при нагревании в ДМСО был синтезирован макроцикл **4**. Этими же авторами поданды **1** были подвергнуты окислительной дегидроциклизации молекулярным иодом в присутствии NaOAc. Полученные макроциклы **5** оказались перспективными системами с электропереключаемыми (редокс-переключаемыми) свойствами.¹⁵

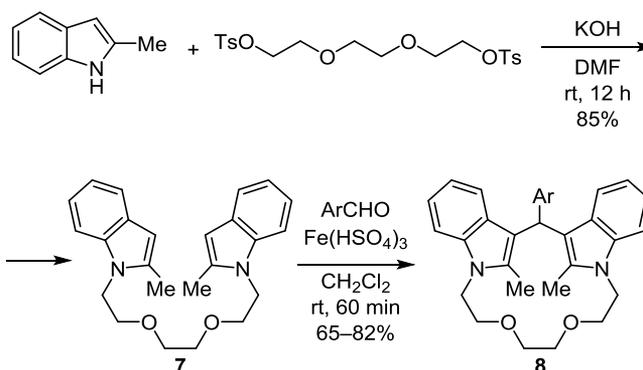
Поданд **6** с терминальными 1-метилимидазольными группами, синтез которого показан на схеме 2, нашел применение в качестве ионной жидкости в "клик"-реакции азид-алкинового циклоприсоединения.³ Предложенная стратегия использования поданда **6** в реакции получения 1,2,3-триазолов полностью соответствует популярным на сегодняшний день принципам зеленой химии.

Схема 2



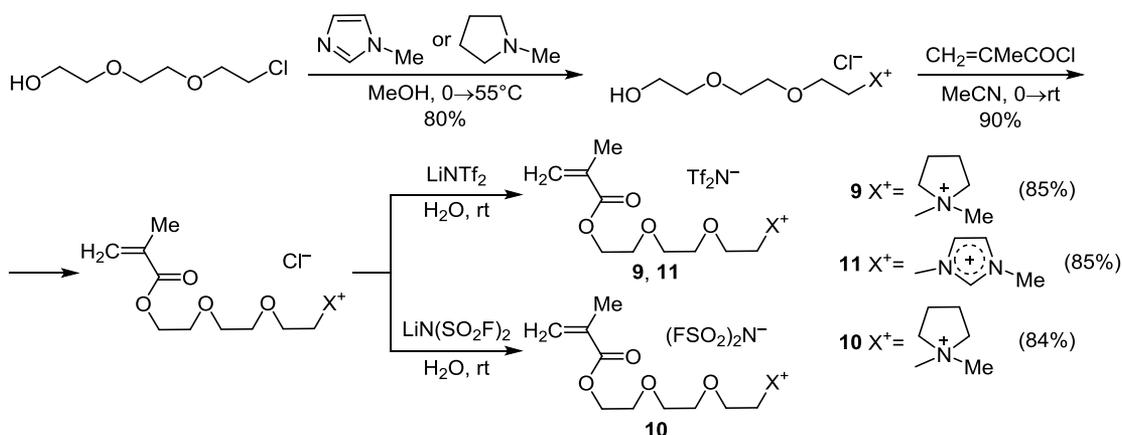
N-Алкилированием 2-метилиндола дитозилатом триэтиленгликоля синтезирован поданд **7**, конденсацией которого с бензальдегидами были получены макроциклы **8** (схема 3).¹⁶

Схема 3



Ar = Ph, 4-MeC₆H₄, 4-ClC₆H₄, 4-BrC₆H₄, 4-O₂NC₆H₄, 4-OHC₆H₄

Схема 4



Предложена стратегия формирования подандов **9–11**, имеющих свойства мономерных ионных жидкостей, основанная на ацилировании монохлорпроизводного триэтиленгликоля 1-метилимидазолом или 1-метилпирролидином в полярном растворителе и дальнейшем ионном обмене с бис(трифторметансульфонил)имидом лития (для соединений **9, 11**) или бис(фторсульфонил)имидом лития (для соединения **10**) (схема 4).⁴

В литературе описаны случаи, когда в качестве атакующей частицы при взаимодействии с соединениями, содержащими олигооксиэтиленовый фрагмент, может выступать нуклеофильный заместитель, введенный в гетероцикл или в бензольный цикл.

Нециклические аналоги краун-эфиров с виниловым тетраиэфирваленовым фрагментом **15a,b** получены последовательностью процессов: взаимодействием 4-формилфенилбензоата с диэтил-4,5-диметил-1,3-дитиолилфосфонатом лития или с 4,5-бис(метилсульфанил)-1,3-дитиол-2-тионом образуются аддукты **12a,b**, удаление защитной группы которых приводит к

образованию соединений **13a,b**. В результате взаимодействия соединений **13a,b**, предварительно обработанных гидридом натрия, с моноэтанолатом монометилового эфира триэтиленгликоля получены поданды **14a,b**, а окислением их иодом с последующей обработкой Na₂S₂O₄ получены димерные продукты **15a,b** (схема 5). Показано, что поданды **15a,b** способны образовывать комплексы с катионами Pb²⁺ и Ba²⁺, при этом их способность "узнавать" катионы металлов осуществляется посредством изменения их молекулярного движения (сжатие или растяжение), инициированного переносом электрона.¹⁷

Диметил-2,2'-(1,4,7-триоксагептан-1,7-диил)добензоат (**16**) был вовлечен в реакцию с фенилендиамином с получением бензимидазольного рецептора **17** (схема 6).¹ Для соединения **17** было зафиксировано селективное распознавание ионов F⁻ в присутствии ионов HSO₄⁻, ClO₄⁻, Cl⁻, Br⁻ и I⁻ в MeOH посредством межмолекулярных водородных связей между рецептором **17** ("хозяином") и ионом фтора ("гостем").

Схема 5

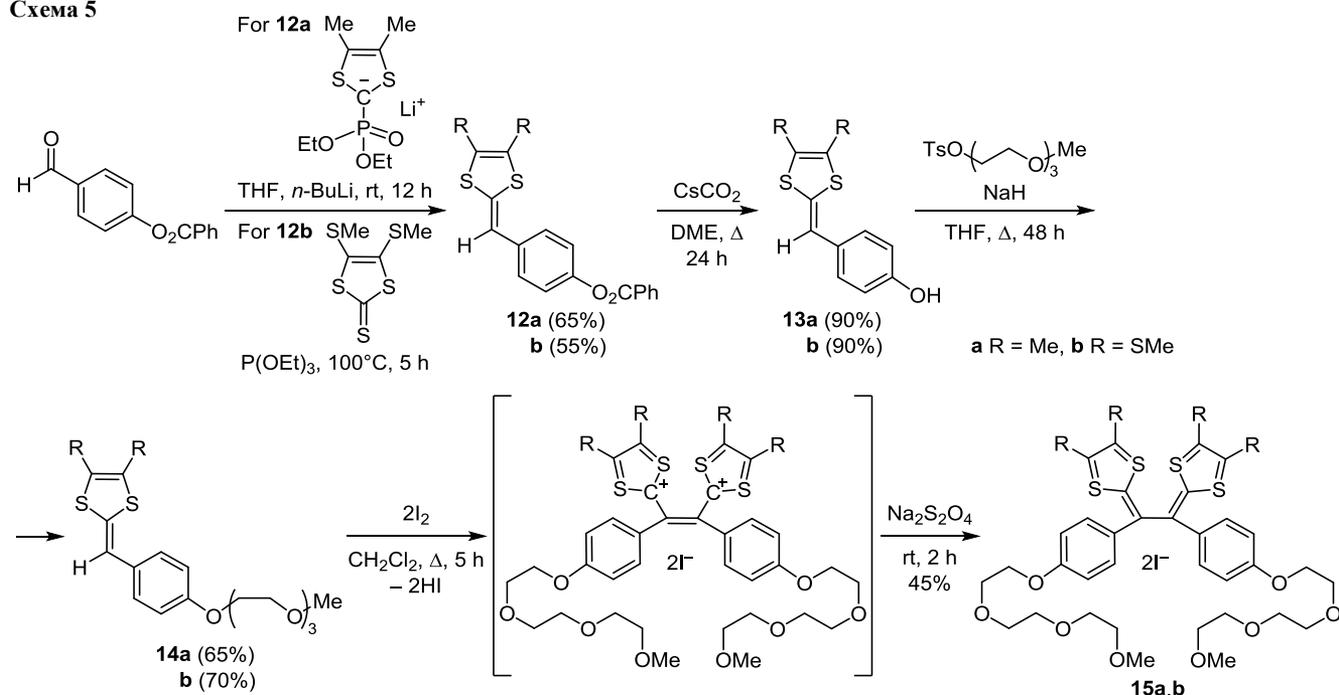
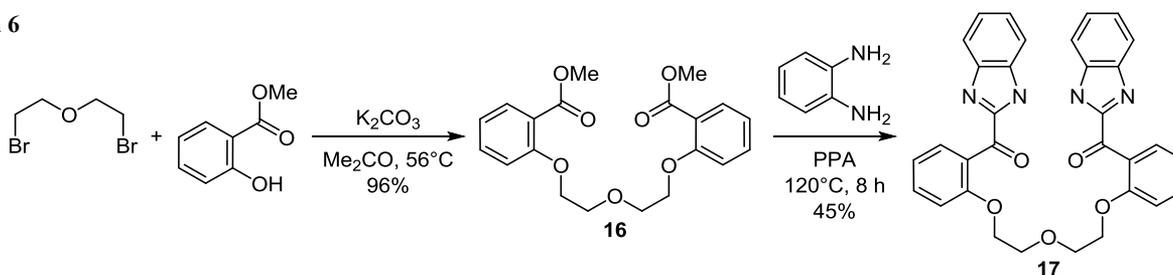
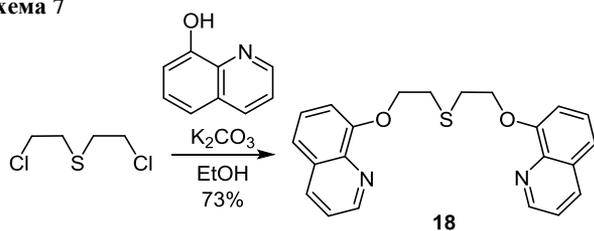


Схема 6



Взаимодействием дихлорида диэтилсульфида с 8-гидроксихинолином получен поданд **18**, использованный в качестве ионофора при создании электродов для определения ионов Pb^{2+} (схема 7).¹⁸

Схема 7

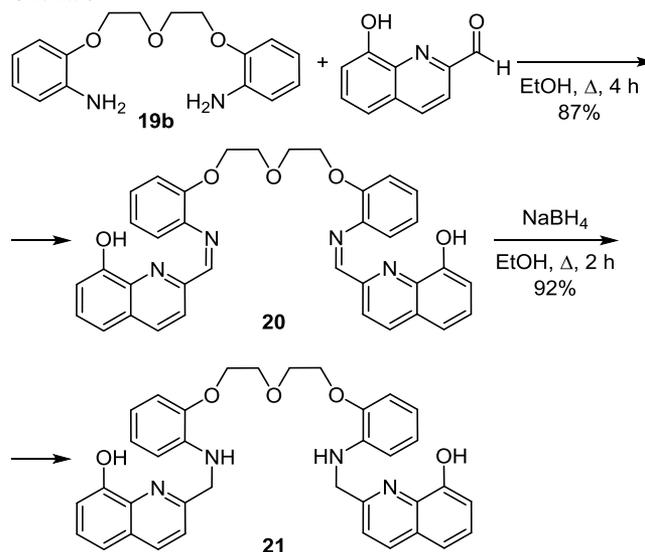


Реакции конденсации

Конденсацией 1,5-бис(2-аминофенокси)-3-оксопентана (**19b**) с 8-гидроксихинолин-2-карбальдегидом получен поданд **20**, последующее восстановление которого $NaBH_4$ приводит к поданду **21** (схема 8). Показано, что 8-гидроксихинолинсодержащие поданды **20** и **21** могут быть использованы в качестве флуоресцентных зондов.²

В 2010 г. был описан синтез подандов **23a–c**, **26** и **27**, функционализированных фрагментами 1,2,4-триазола

Схема 8



(схема 9).¹⁹ К получению подандов **23a–c** приводит взаимодействие калиевой соли салицилового альдегида с дибром- или дитозилпроизводными олигоэтиленгликолей и дальнейшая конденсация полученных

Схема 9

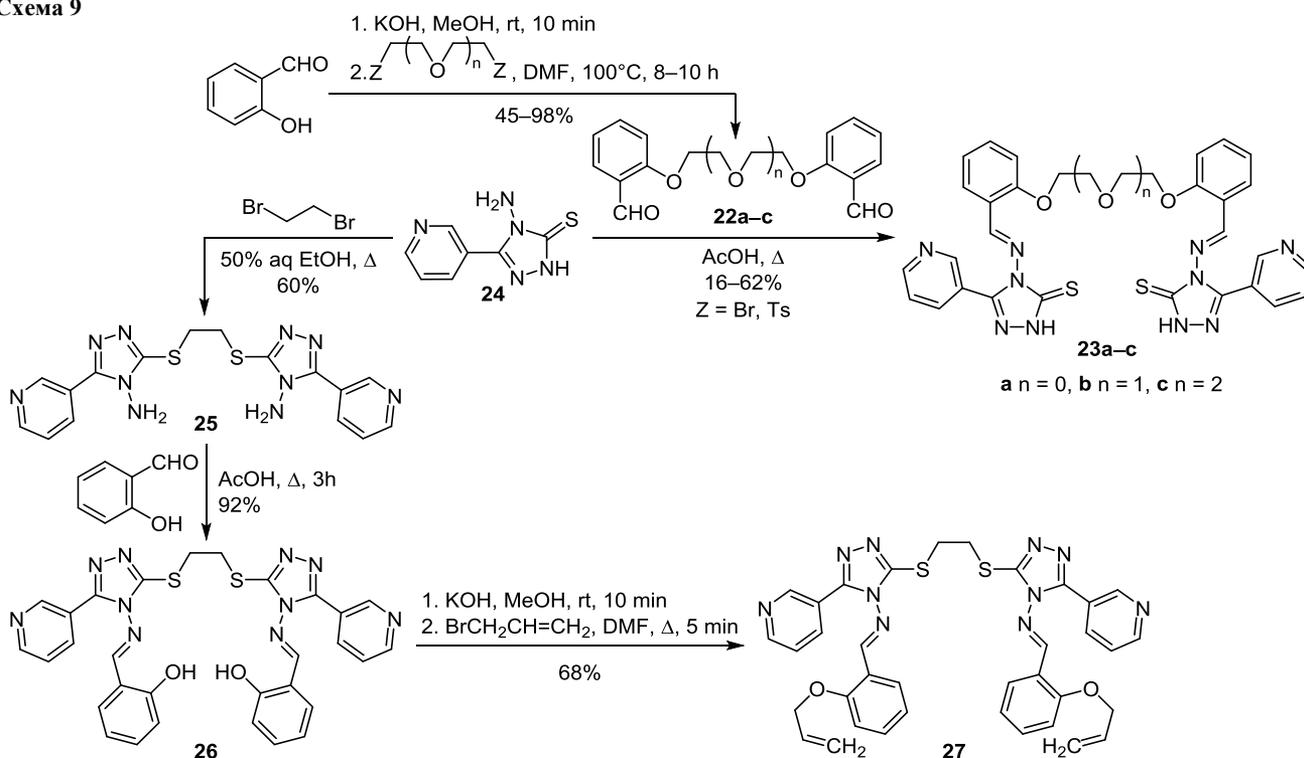
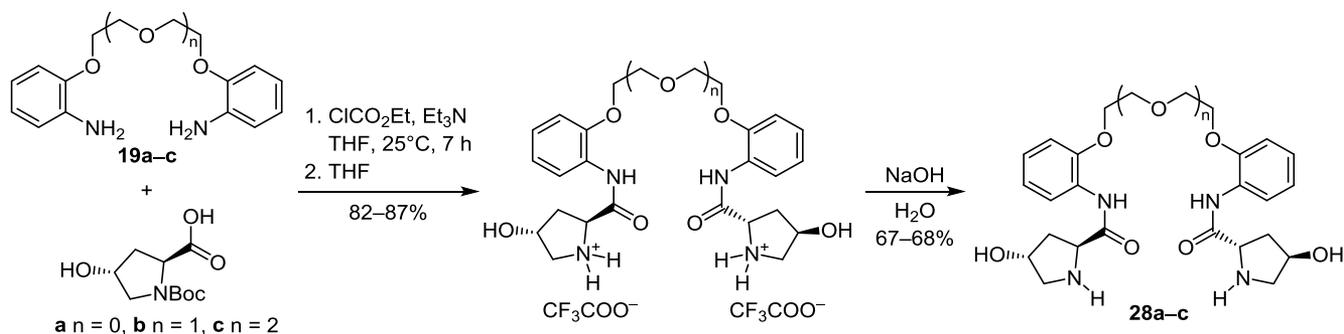


Схема 10



прекурсоров **22a–c** с 5-(пиридин-3-ил)-4*H*-1,2,4-(триазол)-3-тионом (**24**). С другой стороны, нагреванием триазола **24** с 1,2-дибромэтаном в EtOH был синтезирован тиоподанд **25**, конденсация которого с салициловым альдегидом приводит к фенольному производному **26**, а его последующее превращение в калиевую соль и взаимодействие с аллилбромидом – к аллиловому эфиру **27**.

Поданды **28a–c**, содержащие фрагмент 4-гидроксипролина и используемые в роли эффективных хиральных катализаторов асимметрической реакции Биджинелли, были получены конденсацией аминоподандов **19a–c** с Вос-производным 4-гидроксипролина (схема 10).⁸

Путем взаимодействия производного терефталамида **29** с 3-оксапентан-1,5-диамином получен поданд **30**, который был использован в качестве промежуточного соединения в синтезе лиганда **31** (схема 11).²⁰ Ураниловый комплекс метилтерефталамидсодержащего поданда **31** был охарактеризован методом РСА. Структура представляет собой тетрамер $[\text{Me}_4\text{N}]_8[\mathbf{31}\cdot\text{UO}_2]_4$, образованный путем координации двух звеньев поданда **31** с двумя ураниловыми фрагментами. Добавление KOH вместе с Me_4NOH к комплексу $[\text{Et}_3\text{N}]_2[\mathbf{31}\cdot\text{UO}_2]$ позволило получить мономерную солевую структуру $[\text{Me}_4\text{N}]\text{K}_2[\mathbf{31}\cdot\text{UO}_2(\text{OMe})]$.

Реакции, приводящие к формированию гетероцикла на олигооксиэтиленовой матрице

Использование многокомпонентных реакций позволяет формировать гетероциклы непосредственно на олигооксиэтиленовой матрице в одну стадию.

Одностадийный синтез пирролилсодержащих соединений **34** и **35 a,b** осуществлен взаимодействием халконоподандов **32** и **33 a,b** с нитроэтаном и 3-аминопропанолом в присутствии наноразмерного оксида алюминия (схема 12).¹⁰ Установлено, что на поверхности оксида алюминия происходит адсорбция и активация молекул реагентов, в результате этого замыкание пиррольного цикла происходит не через иминиевый интермедиат, а как 1,4-присоединение нитроэтана к халконоподанду с образованием аддукта Михаэля. В опытах *in vitro* исследуемые соединения проявляют туберкулостатическую активность в отношении лабораторного штамма микобактерий туберкулеза H₃₇Rv от незначительных (12.5–50 мкг/мл) для исходных халконоподандов **32** и **33 a,b** до заметных (0.8–3.1 мкг/мл) значений минимальной ингибирующей концентрации (МИК) для (гет)арилподандов **34** и **35 a,b**.

Описано¹⁰ получение подандов с фрагментом 1-ацил-2-пирролина **36–39 a,b** конденсацией халконоподандов

Схема 11

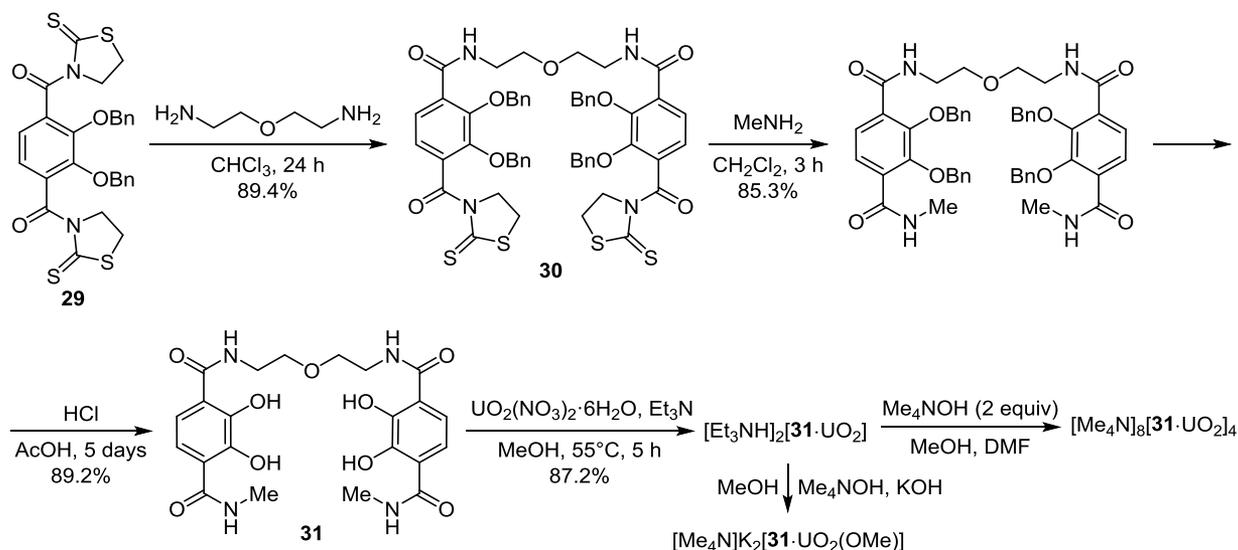
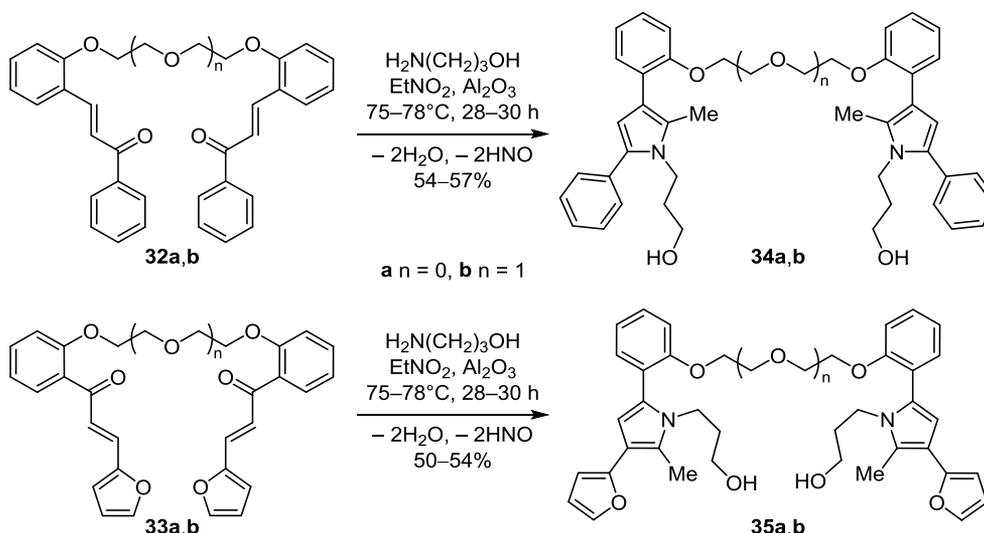


Схема 12



32a,b с гидразингидратом и алифатическими карбоновыми кислотами или с гидразидом изоникотиновой кислоты в присутствии HCl. Поданды **36–39 a,b** были синтезированы с выходами 90–92% только при продолжительном нагревании (47–50 ч) с двукратным избытком исходных реагентов по отношению к халконоподандам **32a,b** (то есть 4 моль гидразина или гидразида на 1 моль поданда, содержащего две халконовые группы). В присутствии эквимольных количеств реагентов, как показано на примере изоникотинового гидразида, образуется смесь монозамещенного поданда **40** и необычного производного циклобутана **41** (схема 13). Структуры соединений **36a**, **37a,b** и **41** подтверждены РСА. Установлено, что данная серия подандов **36–39 a,b** проявляет слабую туберкулостатическую активность (МИК 12.5–50 мкг/мл).

При взаимодействии 3-амино-1,2,4-триазола с халконоподандом **32b** образуются четыре основных продукта циклоконденсации **43**, **44a,b**, **45**, а также следовые количества поданда **42** (схема 14). Таким образом, с одной стороны, установлена специфическая особенность дигидроазолопиримидиновых подандов, заключающаяся в их склонности к ароматизации под действием кислорода воздуха с образованием 6-гидрокси-замещенных продуктов **44a,b**, а с другой стороны – установлено влияние комплексообразующей способности олигооксиэтиленового спейсера халконоподанда **32b** и темплатного эффекта ионов калия на образование как монозамещенного продукта **42**, так и несимметричного поданда **44a** и рацемического краунофана (*RSR/SRS*)-**45**, стабилизированного в 6,7-дигидроформе.²¹

Схема 13

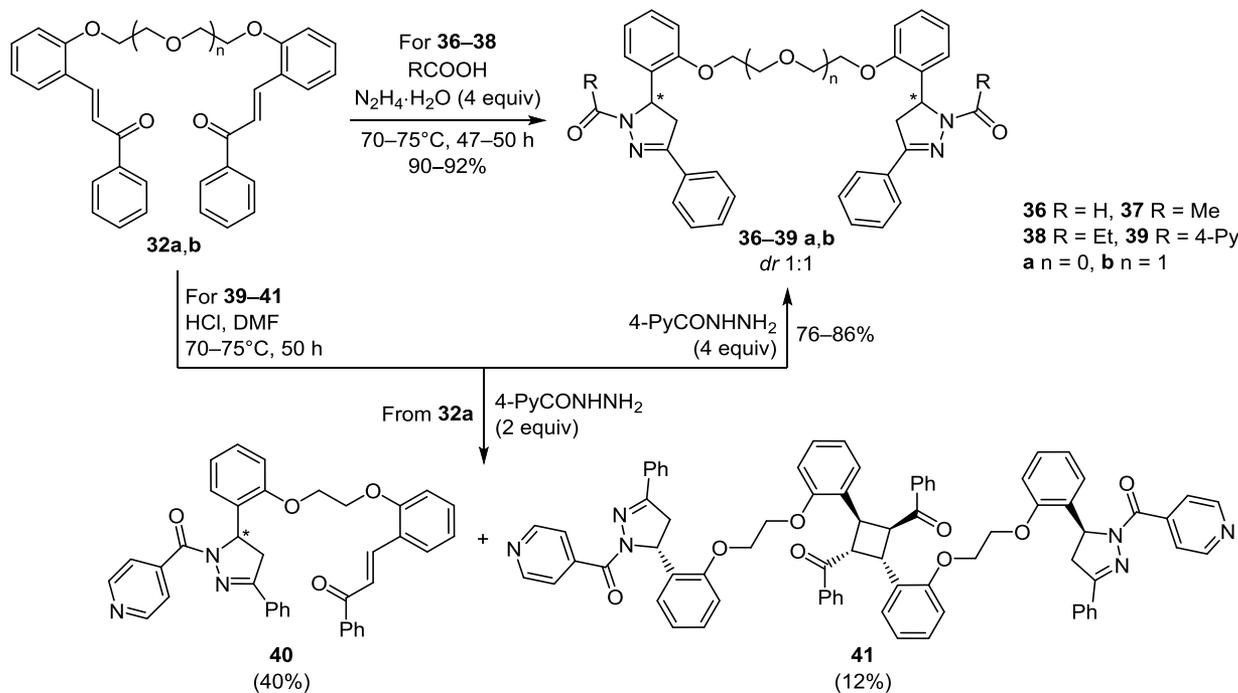
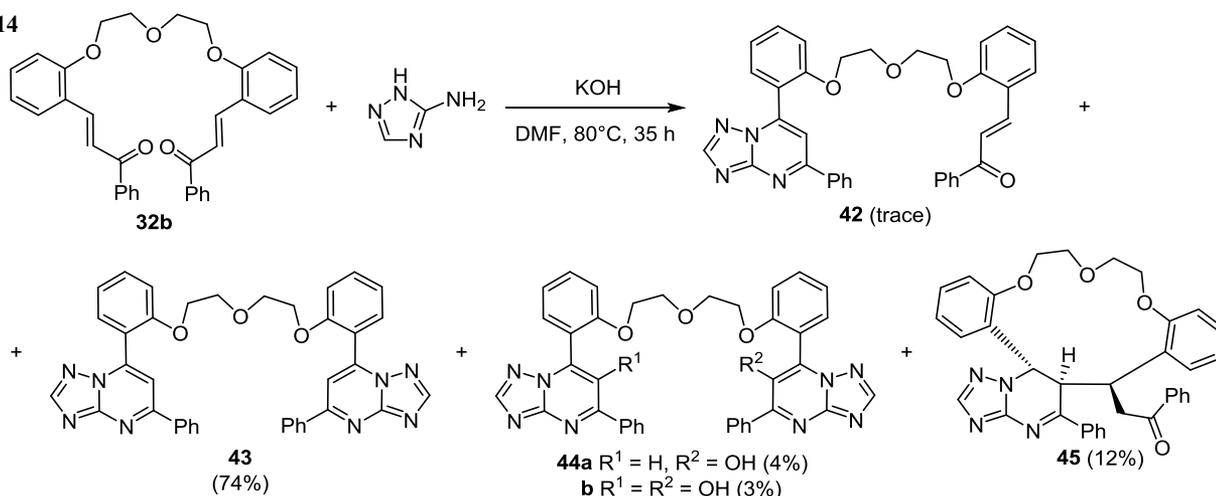


Схема 14



На основе 3,6-диоксаоктан-1,8-диамина синтезированы поданд **48**, модифицированный фрагментом фторалкилсодержащего гидроксипиразолина (схема 15). Синтез поданда **48** включал обработку диамина сероуглеродом, хлорацетатом натрия и гидразингидратом, а также взаимодействие образующегося тиосемикарбазидсодержащего поданда **46** с 1,1-дифтор-2,4-пентадионатом лития (**47**) в ледяной AcOH.²²

По трехстадийной методике (схема 16) были получены поданды **50**, содержащие фенилтетразольные фрагменты.²³ Сначала алкилированием 2-нитрофенола дихлорпроизводными ди- и триэтиленгликолей синтезировали соответствующие 2-нитрофенильные производные **49**, которые далее восстанавливали до соответ-

ствующих аминоподандов **19b,c**. Формирование тетразольных ядер на матрице аминоподандов осуществляли действием NaN_3 в ледяной AcOH.

На схеме 17 представлен синтез подандов **54** и **55**, функционализированных фрагментами 3,4-дигидроизохинолина.²⁴ Для построения N-гетероцикла поданд **51**, содержащий альдегидные группы, обрабатывали бромидом изопропилмагния с получением карбинола **52** и кетона **53** как побочного продукта (в соотношении 1:1). Восстановлением трудноразделимой смеси продуктов **52** и **53** $NaBH_4$ в EtOH получали чистый карбинол **52**, реакции которого с цианоуксусным эфиром или метилтиоцианатом приводили к соответствующим производным 3,4-дигидроизохинолина **54** и **55**.

Схема 15

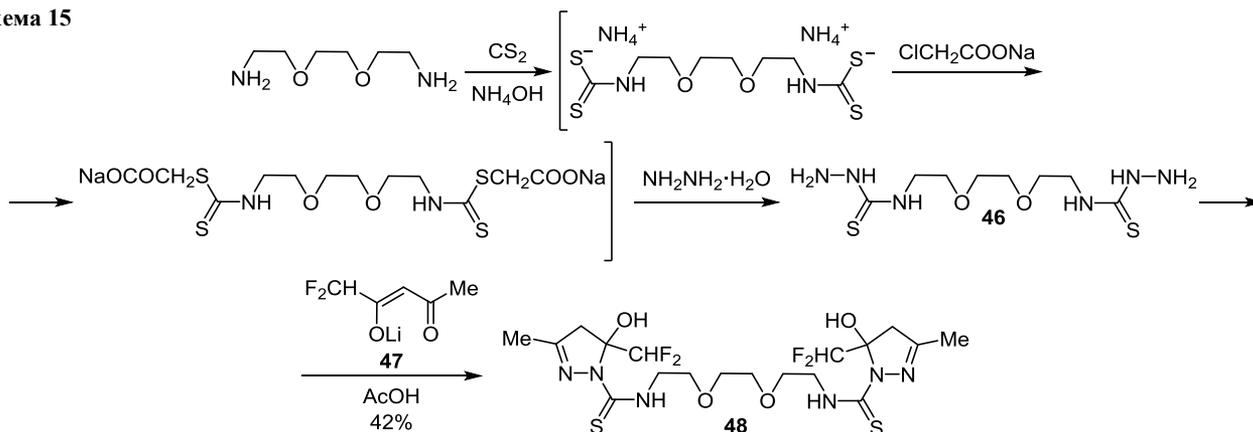


Схема 16

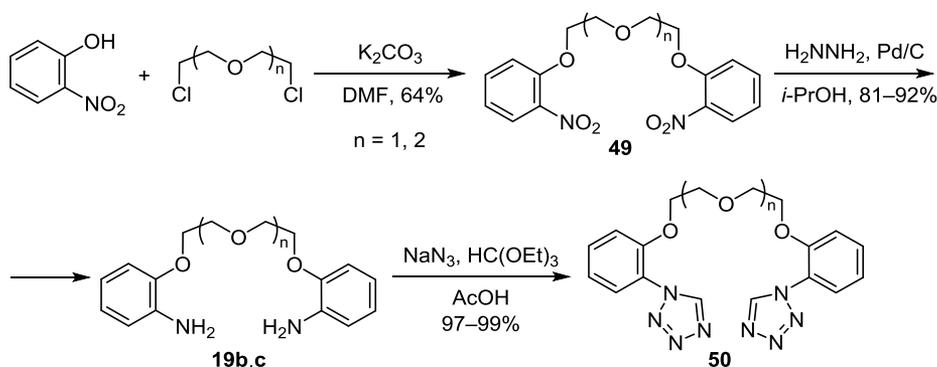


Схема 17

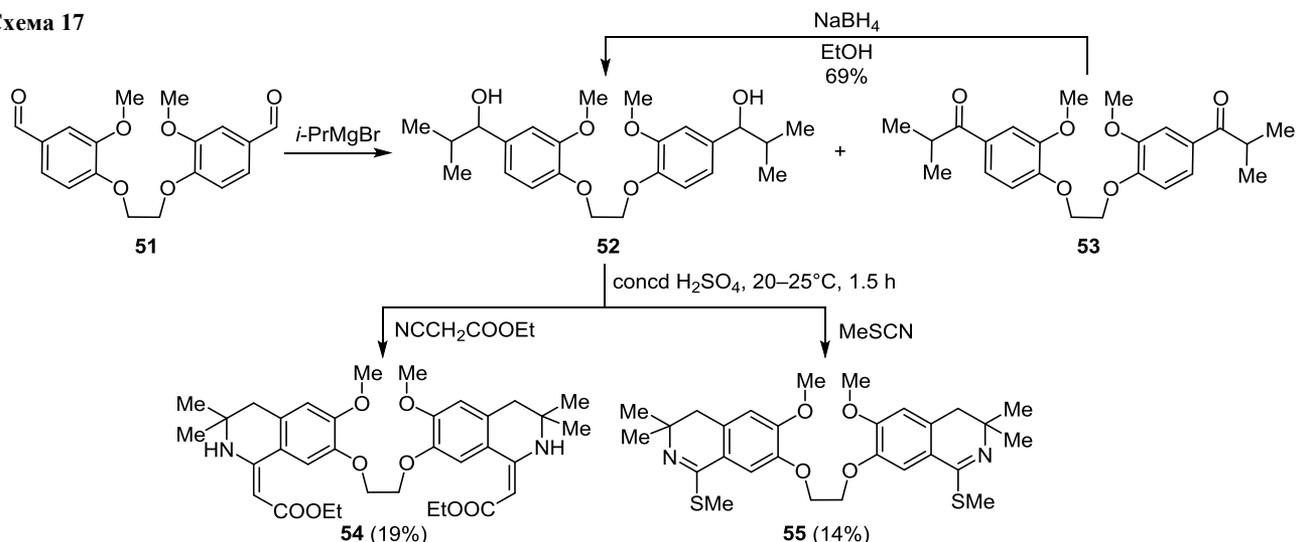
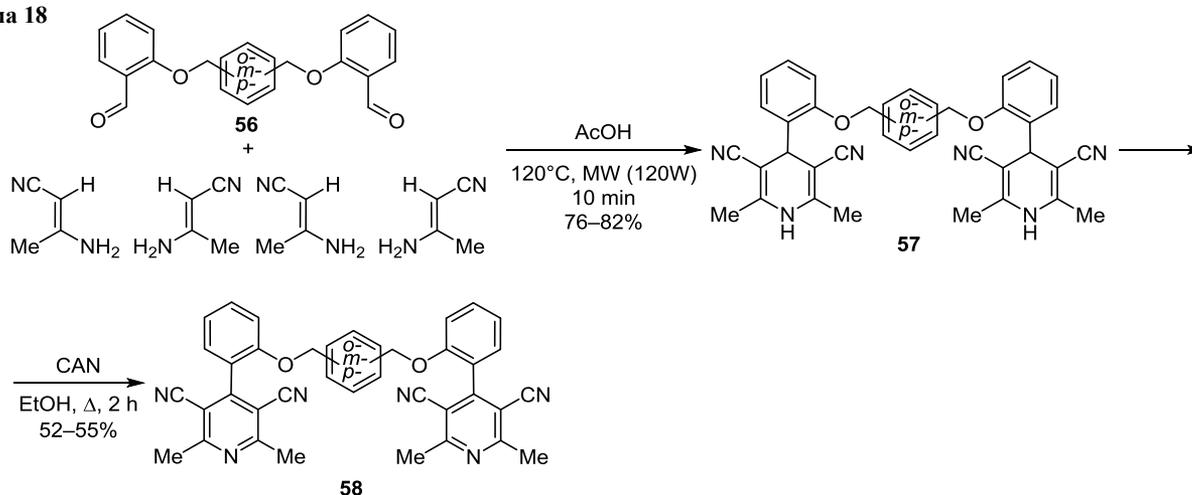


Схема 18



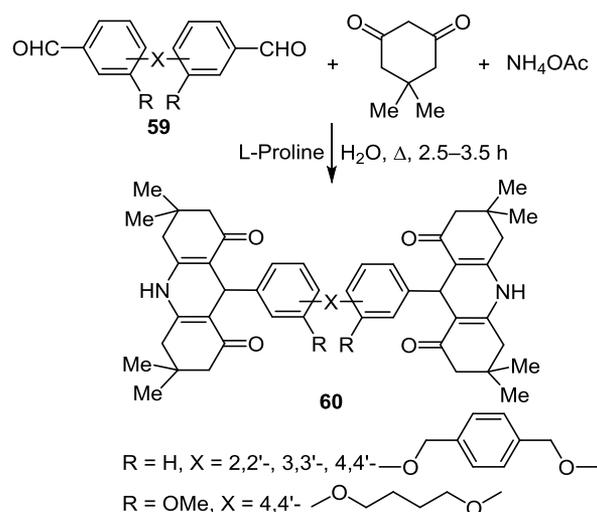
Пиридиновые поданды **58** были получены многокомпонентным синтезом. Соответствующие бисальдегиды **56** вводили в реакцию с 4 экв. 3-аминобут-2-еннитрила с использованием микроволнового излучения. Образующиеся таким образом 1,4-дигидроподанды **57** подвергали окислительной ароматизации с использованием нитрата церия-аммония (CAN) и получали соответствующие производные бис-2,6-диметилпиридин-3,5-дикарбонитрила **58** (схема 18).²⁵

1,4-Дигидропиридиновые поданды **60** с высокими выходами (80–95%, значения для индивидуальных продуктов **60** не указаны) были получены многокомпонентной реакцией Ганча с использованием NH_4OAc , димедона и формилподандов **59** в присутствии катализатора L-пролина (схема 19).²⁶

Для получения дигидропиримидинсодержащих подандов используется и многокомпонентная реакция Биджинелли. Так, трехкомпонентной циклоконденсацией Биджинелли с участием формилподанда **61** и 2-метилацетоацетанилида получены поданды **62–64** с выходами 36–64% (схема 20).²⁷

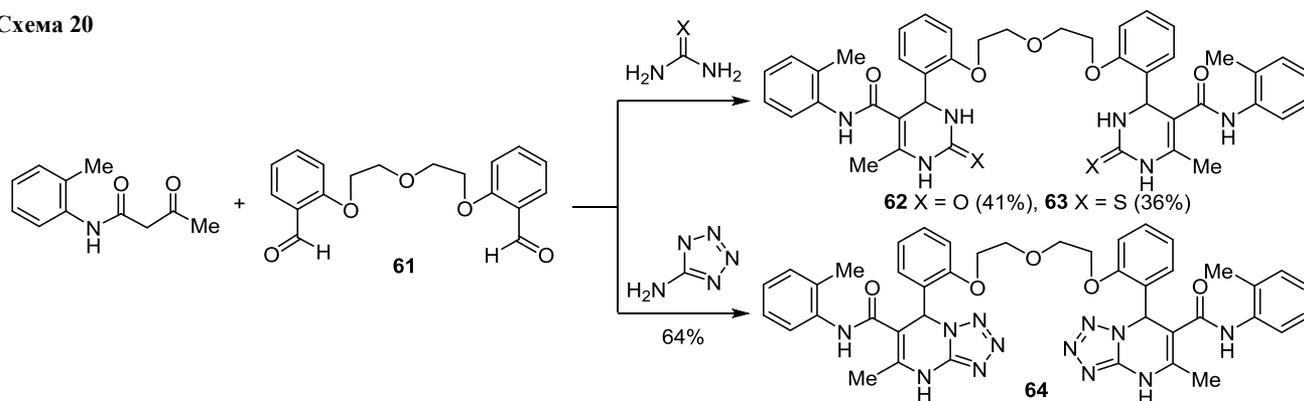
Взаимодействием подандов, содержащих фрагменты ацетоацетанилидов (соединений **65a–c**) или ацето-

Схема 19



ацетамидов (соединений **66a,b**), с бензальдегидом и мочевиной в присутствии полифосфорной кислоты (ППА) в ТГФ при 65°C были получены соответствующие дигидропиримидинсодержащие поданды **67a–c** и

Схема 20



68a,b (схема 21).^{28,29} Показано, что в случае синтеза подантов **68a,b** применение PPA в иммобилизованной форме (закрепление PPA на наноразмерном оксиде $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ ($220 \text{ м}^2/\text{г}$), отличающимся развитой удельной поверхностью) приводит к увеличению выхода целевых продуктов **68a,b**, а выделение продуктов реакции становится более удобным.

Далее в многокомпонентную реакцию Биджинелли в качестве строительных блоков были введены 3-оксобутаноилсодержащие поданды **69a–c** (схема 22).^{11,12a,30,31} При синтезе соединений **71a–c** бензальдегид был заменен на гетероциклический 2-тиофенальдегид, а для циклоконденсации подантов **72–74 a–c** в роли изостеров мочевины использовали тиомочевину, 5-аминотетразол

Схема 21

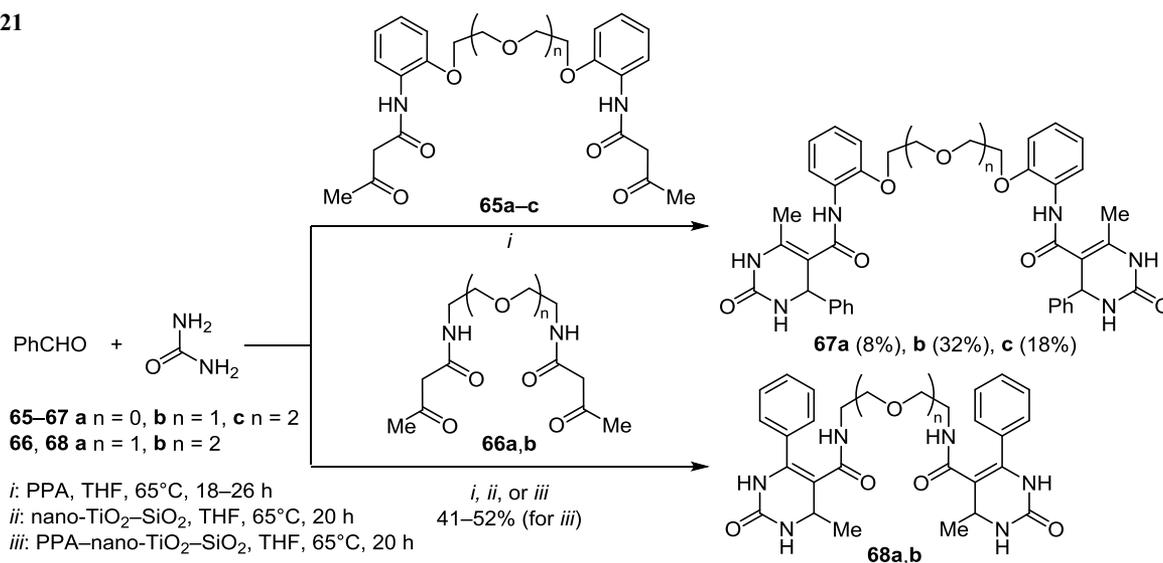
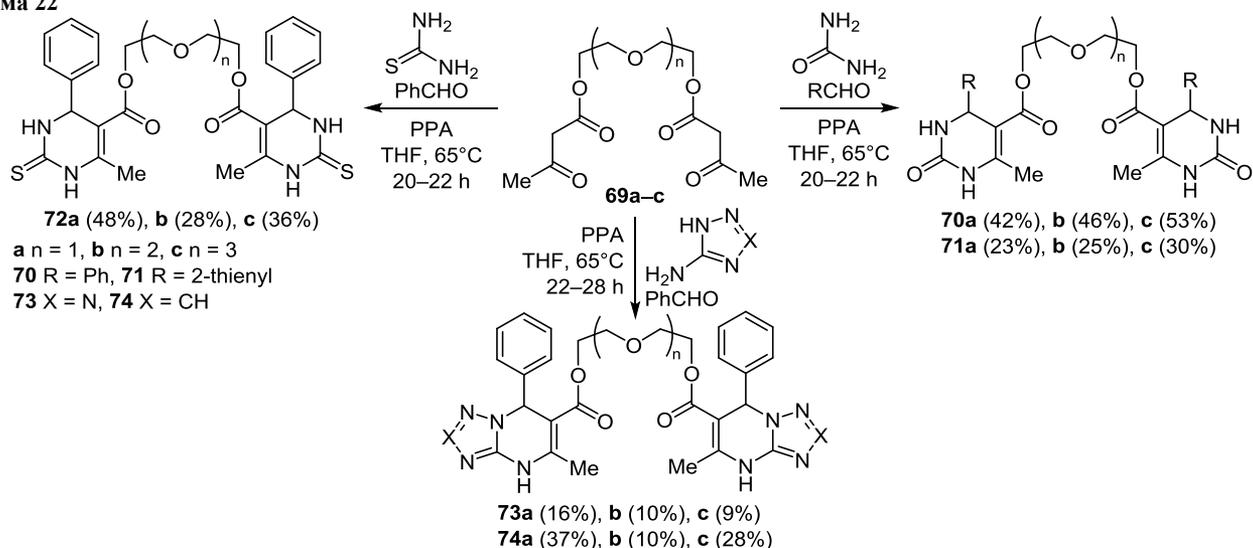


Схема 22



и 3-амино-1,2,4-триазол соответственно. Среди подандов **70–74** найдены соединения, обладающие высокой туберкулостатической активностью в опытах *in vitro*, в том числе в отношении лабораторных штаммов *Mycobacterium tuberculosis* H₃₇Rv, *M. avium*, *M. terrae* и клинического штамма *M. tuberculosis* с множественной лекарственной устойчивостью.

С целью выявления более активного стереоизомера поданда **72a**, обладающего заметной туберкулостатической активностью,^{12a} проведены исследования стереоселективной реакции Биджинелли с участием СН-активного поданда **69a**, бензальдегида и тиомочевины.^{12b} При использовании в качестве хирального индуктора 4-гидроксипролина достигнуты значения *ee* 20%, выход поданда **72a** составил 40%.

Получение подандов, используемых в роли мономеров в синтезе библиотек полимеров

Актуальны способы получения подандов, используемых в качестве строительных блоков в новом прогрессивном подходе к синтезу гетероциклосодержащих полимеров. К примеру, поданды **75** и **76**, содержащие соответственно β-кетозфирные и альдегидные фрагменты выполняли роль мономеров в синтезе библиотек полимеров **77** с помощью многокомпонентного метода комбинаторной поликонденсации (схема 23).⁵

Другим примером получения подандов, применяющихся в качестве мономеров для дальнейшей полимеризации на основе реакции Биджинелли, является метод синтеза бифункционального поданда **78** (схема 24).⁶

Схема 23

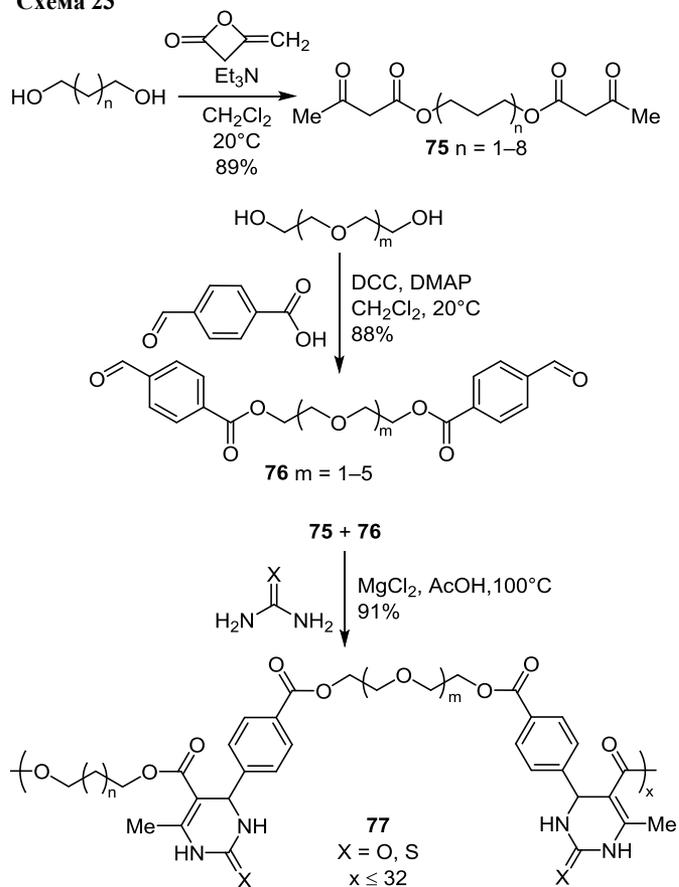
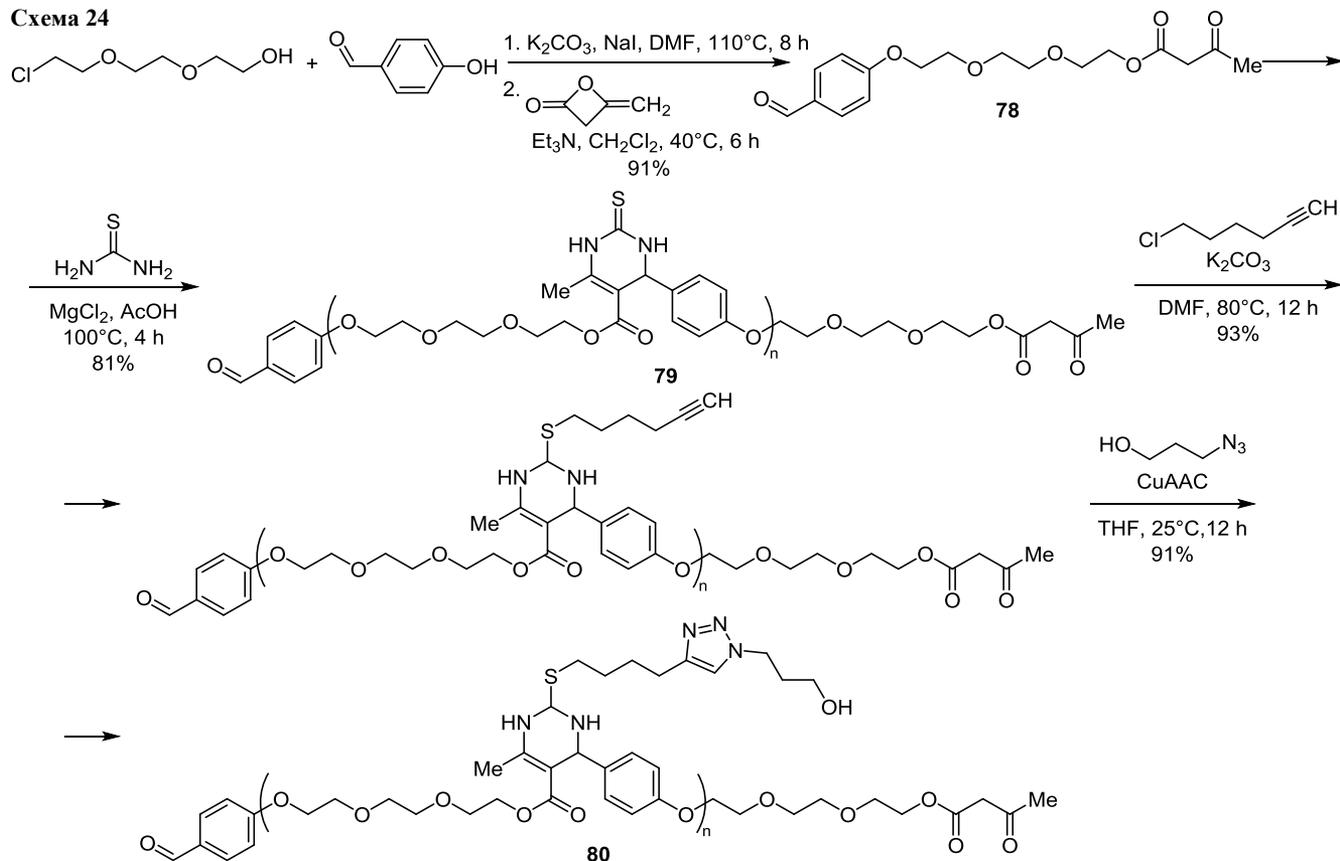


Схема 24



Показано,⁷ что при использовании в качестве мономеров поданда **78** и тиомочевины генерируемый полимер **79** ($M \sim 10^4$) может быть вовлечен в последующие реакции (в том числе катализируемую Cu(I) азид-алкильную циклоконденсацию (CuAAC)) с получением нового гетероциклсодержащего полимера **80** (схема 24).

Получение разнозамещенных подандов

Все большее внимание исследователей привлекают разнозамещенные поданды, имеющие различные фармакофорные фрагменты на концах олигооксиэтиленового спейсера. Такие соединения рассматриваются в

качестве антибиотиков двойного действия (twin drugs). Описаны синтез и исследование взаимосвязи молекулярной структуры и фармакокинетических свойств макролонов **81** – нового класса антимикробных соединений, состоящих из макролидного скелета, олигооксиэтиленового спейсера и фрагмента 4-оксохинолин-3-карбоновой кислоты (схема 25).^{32,33}

Описан способ получения серии разнозамещенных подандов, метод синтеза одного из которых представлен на схеме 26. Показано, что соединения, подобные структуре **82**, могут выступать в качестве противоопухолевых средств. В частности, исполь-

Схема 25

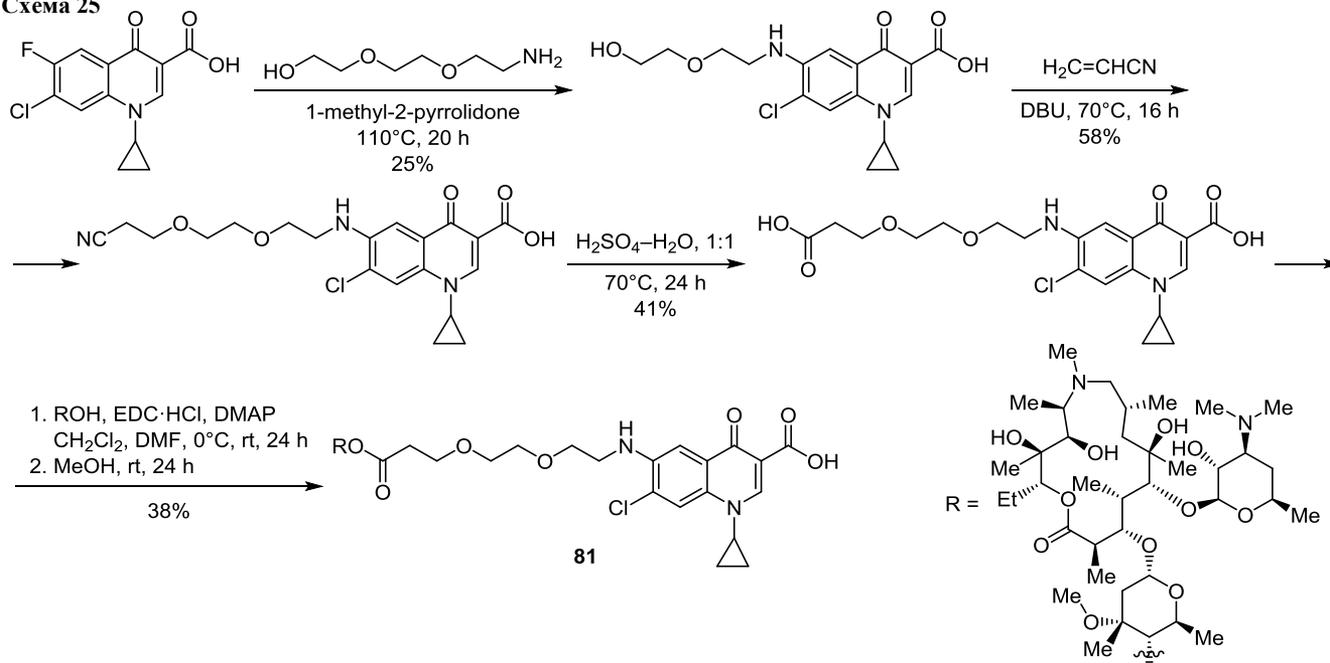


Схема 26

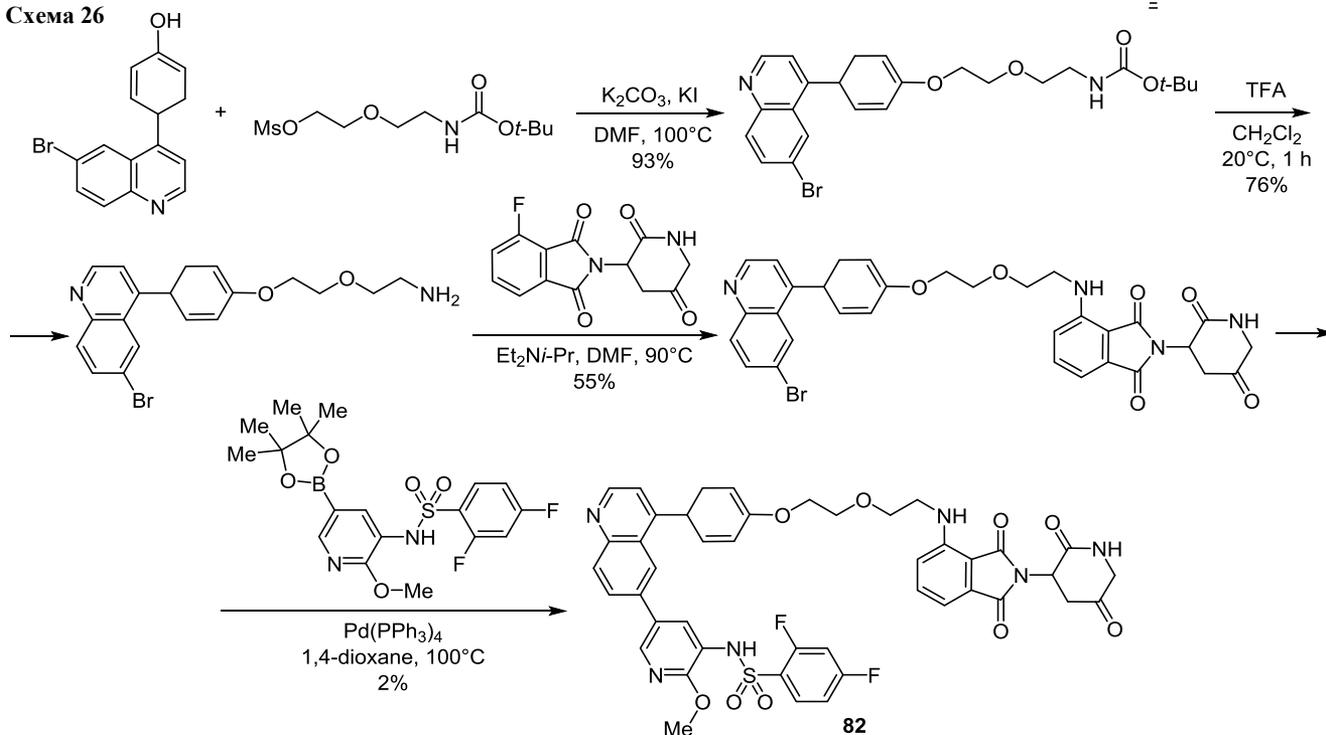
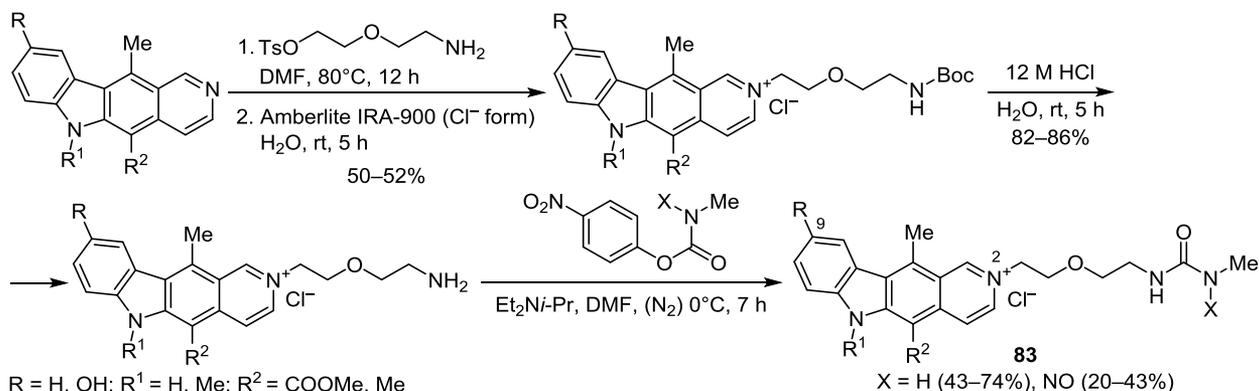


Схема 27



зоваться в качестве бифункциональных ингибиторов для разложения протеинкиназ PI3K/mTOR и применяться для профилактики и лечения рака.³⁴

Синтезированы новые аналоги противоопухолевого агента эллиптицина – производные пиридо[4,3-*b*]-карбазола **83**, в молекулах которых оксидиэтиленовым спейсером связывается гетероцикл в положении 2 с фрагментом мочевины или нитрозомочевины (схема 27).³⁵ Показано, что эти соединения обладают более высокой растворимостью в воде, а также проявляют более сильную противоопухолевую активность (IC₅₀ 1.30–19.3 μM), чем сам эллиптицин. Установлено, что введение группы OH в положение 9 усиливает противоопухолевую активность соединений **83**, тогда как удлинение оксидиэтиленового спейсера в положении 2 приводит к подавлению противоопухолевой активности аналогичных соединений.

Таким образом, гетероциклсодержащие поданды представляют собой весьма важный класс органических соединений, характеризующихся широким спектром практических полезных свойств. За счет наличия липофильного олигооксидиэтиленового спейсера поданды способны к селективному связыванию различных органических и неорганических ионов и молекул (в особенности катионов металлов), что позволяет использовать их, с одной стороны, в качестве ионофоров при создании химических сенсоров, а с другой – применять поданды в качестве синтетических рецепторов, осуществляющих направленный транспорт лекарственных средств через биологическую мембрану. Кроме того, среди подандов обнаружен ряд соединений, обладающих значительной противотуберкулезной, противоопухолевой и антимикробной активностью. Данные соединения интересны тем, что могут быть использованы в качестве удобных исходных соединений для дальнейшего синтеза новых макроциклических систем, а также гетероциклсодержащих полимеров. Новыми перспективными направлениями использования гетероциклсодержащих подандов является построение хиральных индукторов введением гетероциклических фрагментов с готовым оптическим центром, например производных L-пролина, а также создание оптических центров в гетероциклсодержащих подандах в процессе их синтеза, например в реакции Биджинелли.

Работа выполнена в рамках реализации государственных заданий АААА-А19-119011790130-3 и АААА-А19-119012490007-8.

Список литературы

- Eshghi, H.; Rahimizadeh, M.; Noroozi-Shad, N.; Sabet-Sarvestani, H. *Org. Chem. Res.* **2015**, *1*, 6.
- Fernández-Lodeiro, J.; Núñez, C.; Nieto Faza, O.; Capelo, J. L.; Lodeiro, C.; Seixas de Melo J. S.; Silva López, C. *Inorg. Chim. Acta* **2012**, *381*, 218.
- Javaherian, M.; Kazemi, F.; Ghaemi, M. *Chin. Chem. Lett.* **2014**, *25*, 1643.
- (a) Shaplov, A. S.; Ponkratov, D. O.; Aubert, P.-H.; Lozinskaya, E. I.; Plesse, C.; Vidal, F.; Vygodskii, Y. S. *Chem. Commun.* **2014**, 3191. (b) Shaplov, A. S.; Ponkratov, D. O.; Lozinskaya, E. I.; Malyshkina, I. A.; Vidal, F.; Aubert, P.-H.; Armand, M.; Vygodskii, Y. S. *Polym. Sci., Ser. B* **2014**, *56*, 164. [*Высокомолекуляр. соединения, Сер. Б* **2014**, *56*, 173.] (c) Shaplov, A. S.; Ponkratov, D. O.; Aubert, P.-H.; Lozinskaya, E. I.; Plesse, C.; Maziz, A.; Vlasov, P. S.; Vidal, F.; Vygodskii, Y. S. *Polymer* **2014**, *55*, 3385.
- Xue, H.; Zhao, Y.; Wu, H.; Wang, Z.; Yang, B.; Wei, Y.; Wang, Z.; Tao, L. *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 8690.
- Zhao, Y.; Yu, Y.; Zhang, Y.; Wang, X.; Yang, B.; Zhang, Y.; Zhang, Q.; Fu, C.; Wei, Y.; Tao, L. *Polym. Chem.* **2015**, *6*, 4940.
- Zhao, Y.; Wu, H.; Zhang, Y.; Wang, X.; Yang, B.; Zhang, Q.; Ren, X.; Fu, C.; Wei, Y.; Wang, Z.; Wang, Y.; Tao, L. *ACS Macro Lett.* **2015**, *4*, 843.
- Fedorova, O. V.; Titova, Yu. A.; Ovchinnikova, I. G.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Mendeleev Commun.* **2018**, *28*, 357.
- Dobler, M. In *Comprehensive Supramolecular Chemistry*; Gokel, G. W., Ed.; Pergamon Press: New York, Oxford, 1996, vol. 1, p. 267.
- Fedorova, O. V.; Ovchinnikova, I. G.; Kravchenko, M. A.; Skorniyakov, S. N.; Rusinov, G. L.; Chupakhin O. N.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *50*, 946. [*Химия гетероцикл. соединений* **2014**, 1027.]
- Filatova, E. S.; Fedorova, O. V.; Titova, Yu. A.; Slepukhin, P. A.; Kravchenko, M. A.; Skorniyakov, S. N.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2016**, *65*, 1360. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2016**, 1360.]
- (a) Fedorova, O. V.; Filatova, E. S.; Titova, Yu. A.; Kravchenko, M. A.; Medvinskiy, I. D.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2018**, *67*, 743. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2018**, 743.] (b) Филатова, Е. С. Автореф. дис. канд. хим. наук; Екатеринбург, 2019.

13. Weber, E.; Vögtle, F. In *Host Guest Complex Chemistry: Macrocycles. Synthesis, Structure, Applications*; Vögtle, F.; Weber, E., Eds.; Springer Verlag: Heidelberg, 1985, p. 1.
14. Kalinin, A. A.; Mamedov, V. A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, 50, 195. [Химия гетероцикл. соединений **2014**, 219.]
15. Mamedov, V. A.; Kalinin, A. A.; Samigullina, A. I.; Mironova, E. V.; Krivolapov, D. B.; Gubaidullin, A. T.; Rizvanov, I. K. *Tetrahedron Lett.* **2013**, 54, 3348.
16. Eshghi, H.; Rahimizadeh, M.; Bakhtiarpoor, Z.; Pordel, M. *Chin. Chem. Lett.* **2012**, 23, 673.
17. Lorcy, D.; Guerro, M.; Bergamini, J.-F.; Hapiot, P. *J. Phys. Chem. B.* **2013**, 117, 5188.
18. Singh, S.; Rani, G.; Singh, G.; Agarwal, H. *Electroanalysis* **2013**, 25, 475.
19. Khalil, N. S. A. M. *Eur. J. Med. Chem.* **2010**, 45, 5265.
20. Ni, Ch.; Shuh, D. K.; Raymond, K. N. *Chem. Commun.* **2011**, 6392.
21. Ovchinnikova, I. G.; Valova, M. S.; Matochkina, E. G.; Kodess, M. I.; Tumashov, A. A.; Slepukhin, P. A.; Fedorova, O. V.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2011**, 60, 965. [Изв. АН, Сер. хим. **2011**, 941.]
22. Filyakova, V. I.; Slepukhin, P. A.; Boltacheva, N. S.; Letova, E. B.; Charushin, V. N. *Russ. J. Gen. Chem.* **2017**, 87, 957. [Журн. общ. химии **2017**, 87, 766.]
23. Pazik, A.; Skwierawska, A. *J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem.* **2013**, 77, 83.
24. Shklyayev, Yu. V.; Vshivkova, T. S. *Russ. J. Org. Chem.* **2014**, 50, 376. [Журн. орган. химии **2014**, 50, 387.]
25. Sanad, S. M. H.; Kassab, R. M.; Abdelhamid, I. A.; Elwahy, A. H. M. *Heterocycles* **2016**, 92, 910.
26. Zare, L.; Nikpassand, M. *Chin. Chem. Lett.* **2011**, 22, 531.
27. Gein, V. L.; Zamaraeva, T. M.; Dmitriev, M. V.; Ovchinnikova, I. G.; Fedorova, O. V. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, 53, 1090. [Журн. орган. химии **2017**, 53, 1077.]
28. Radionova, E. S.; Titova, Yu. A.; Isenov, M. L.; Fedorova, O. V.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, 50, 998. [Химия гетероцикл. соединений **2014**, 1083.]
29. Radionova, E. S.; Fedorova, O. V.; Titova, Yu. A.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2015**, 51, 478. [Химия гетероцикл. соединений **2015**, 51, 478.]
30. Filatova, E. S.; Fedorova, O. V.; Slepukhin, P. A.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2018**, 54, 971. [Химия гетероцикл. соединений **2018**, 54, 971.]
31. Filatova, E. S.; Fedorova, O. V.; Chistyakov, K. A.; Rusinov, G. L.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2020**, 56, 88. [Химия гетероцикл. соединений **2020**, 56, 88.]
32. Fajdetic, A.; Vinter, A.; Čipčić Paljetak, H.; Padovan, J.; Jakopović, I. P.; Kapić, S.; Alihodžić, S.; Filić, D.; Modrić, M.; Košutić-Hulita, N.; Antolović, R.; Ivezić Schoenfeld, Z.; Mutak, S.; Eraković Haber, V.; Spaventi, R. *Eur. J. Med. Chem.* **2011**, 46, 3388.
33. Munić-Kos, V.; Koštrun, S.; Fajdetic, A.; Bosnar, M.; Kelnerić, Ž.; Stepanić, V.; Eraković Haber, V. *Eur. J. Pharm. Sci.* **2013**, 49, 206.
34. Si, J. CN Patent 112341434.
35. Mori, R.; Kato, A.; Komeno, K.; Kurasaki, H.; Iijima, T.; Kawagoshi, M.; Kiran, Y. B.; Takeda, S.; Sakai, N.; Konakahara, T. *Eur. J. Med. Chem.* **2014**, 82, 16.