

М. М. Вартанян, О. Л. Елисеев, Х. Р. Сков,

Р. А. Караханов

ГИДРОФУРАНЫ В СИНТЕЗАХ ГЕТЕРОЦИКЛОВ

(ОБЗОР)

Обобщены данные по применению гидрофуранов в синтезах гетероциклических соединений.

Производные гидрофуранов используются как реагенты очень широко. Это обусловлено их высокой реакционной способностью в сочетании с возможностью получения из дешевого сырья — фурфурола, фурана, тетрагидрофурфурилового спирта [1]. К настоящему времени на основе гидрофуранов разработаны удобные методы получения многих 5- и 6-членных азотсодержащих гетероциклов, фуранов, тиофенов, тропиновых, моносахаридов, ряда конденсированных систем.

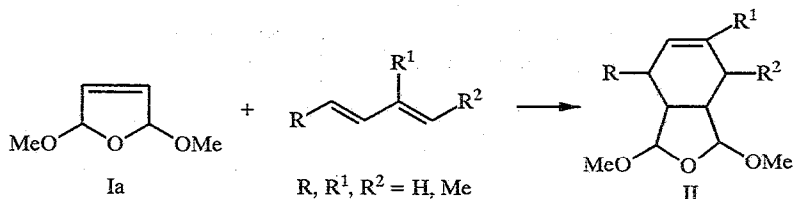
Обширный материал по применению гидрофуранов в синтезах гетероциклов до сих пор не был обобщен. Мы поставили задачей дать именно обзор методов, а не полную библиографию работ по их применению, что и невозможно в рамках одной статьи. Так, один только метод синтеза пирролов по Н. Клаусон-Каасу цитируется как рутинная процедура в десятках публикаций и патентов. Литература по 2,5-диалкоксигидрофуранам приведена в том объеме, в котором она дополняет обзор Н. Эльминга по этим соединениям [2].

1. ДИГИДРОФУРАНЫ

Большинство реакций дигидрофуранов, ведущих к образованию других гетероциклов, можно разделить на две большие группы:

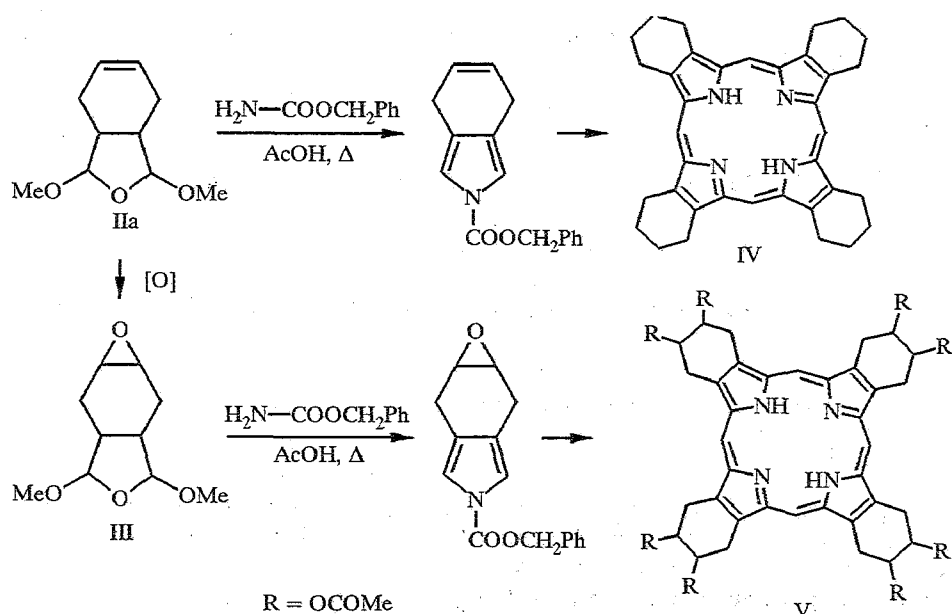
а) различные виды циклоприсоединения по двойной связи с образованием устойчивых аддуктов, которые затем могут претерпевать дальнейшие превращения,

б) нуклеофильное расщепление связи C—O с рециклизацией (возможна также внутримолекулярная рециклизация, если в цепи заместителя при фурановом ядре есть нуклеофильная группа).

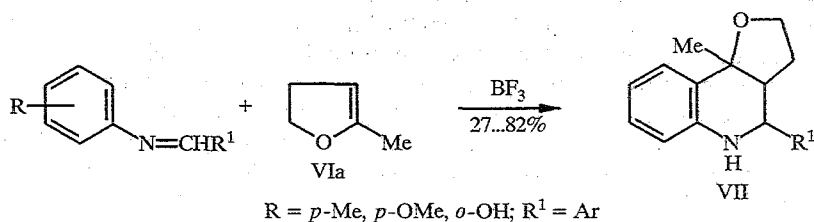


Присоединением 1,3-бутадиена и других диенов к 2,5-диметокси-2,5-дигидрофурану (Ia) могут быть получены тетрагидрофталаны (II) [3, 4]:

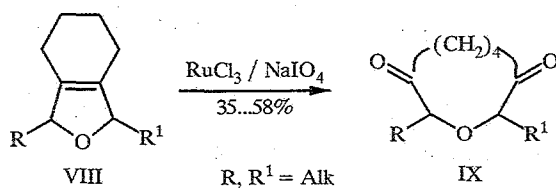
Незамещенный аддукт IIa ($\text{R} = \text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{H}$) использован в синтезе изоиндола [5] и порфиринов [6]. Авторы последней работы многочасовым кипячением соединения IIa и его окиси (III) с бензилкарбаматом в ледяной уксусной кислоте получили пирролы, превращенные далее в соответствующие порфирины (IV и V).



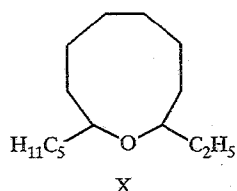
Реакцией циклоприсоединения 4,5-дигидросильвана (VIa) к ароматическим имидам синтезированы производные тетрагидрохинолина (VII) [7]:



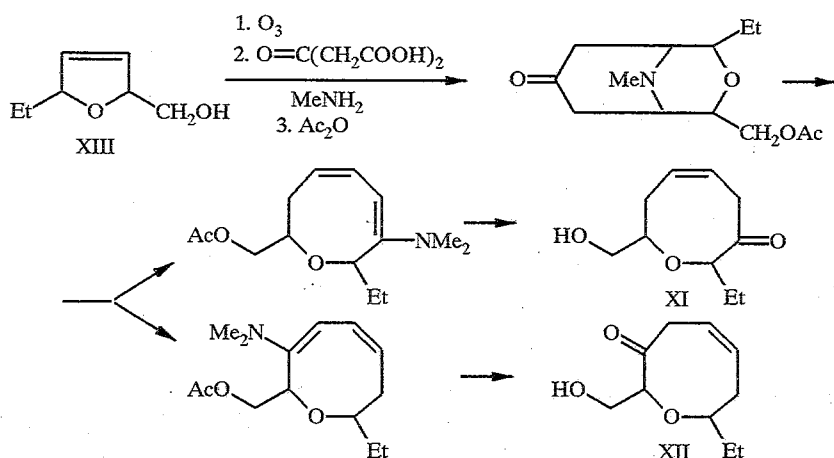
Окислительным расщеплением тетрагидрофталанов (VIII) в присутствии RuCl₃/NaIO₄ получены 9-членные оксациклы (IX) [8]:



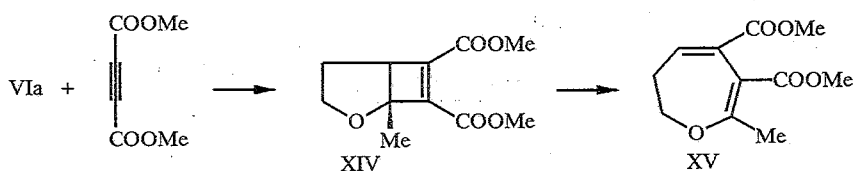
Метод был использован для синтеза обтусана X — скелетной основы обтусенина, метаболита красной водоросли *Laurensia*.



8-Членные оксациклы (XI, XII) — предшественники лауренсина — получены в несколько стадий из 5-этилдигидрофурфурилового спирта (XIII) [9]:

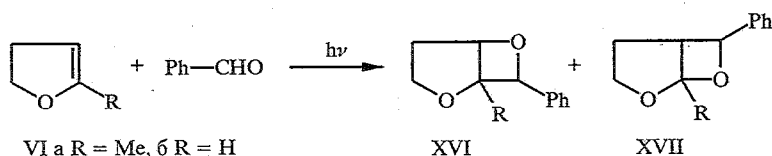


Авторы работы [10] изучали реакцию присоединения метилового эфира апетиленидикарбоновой кислоты к 2,3-дигидрофурану (VIb), 2,3-дигидропирану и 4,5-дигидросильвану (VIa). Полученный в последнем случае бицикл (XIV) затем был рециклизован в 7-членный оксацикл (XV) нагреванием при 200°C в течение 12 ч:

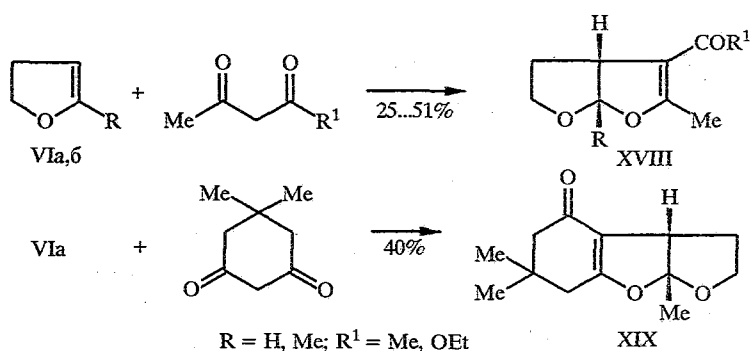


В той же работе отмечено, что соответствующий аддукт 2,3-дигидрофурана оказался чрезвычайно термически устойчивым. Его не удалось рециклизовать в оксацикл даже при 700°C вплоть до начала пиролиза.

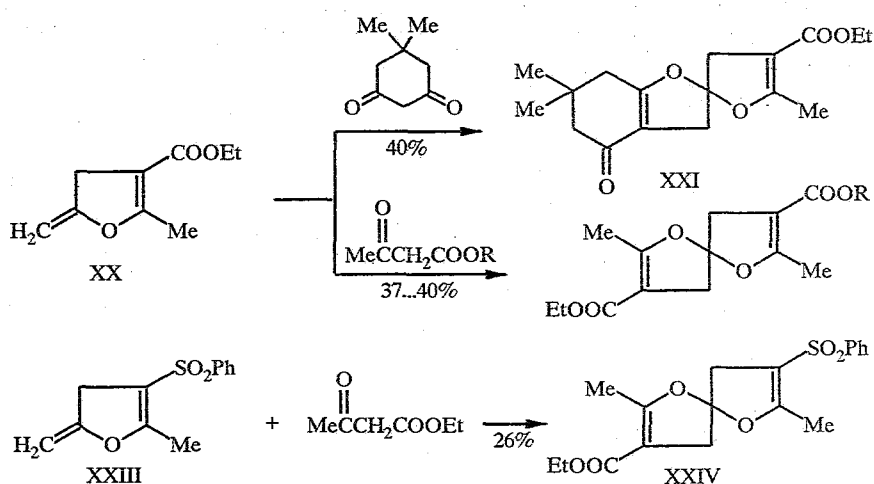
Фотохимическое циклоприсоединение бензальдегида к 4,5-дигидросильвану VIa и 2,3-дигидрофурану VIб исследовано в работе [11]. Получены 1,4-диоксабицикло[3.2.0]гептаны (XVI) с выходами 68...98%. Реакция протекает весьма селективно. Содержание изомерных бициклов (XVII) в реакционной массе не превышало 2%:



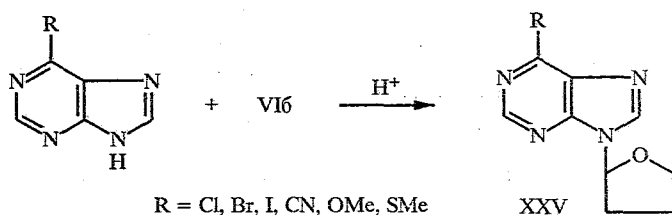
Производные 2,8-диоксабицикло[3.3.0]октена (XVIII, XIX) образуются со средними выходами в прототируемой ацетатом марганца реакции присоединения 1,3-дикарбонильных соединений к дигидрофуранам VIa,б [12]:



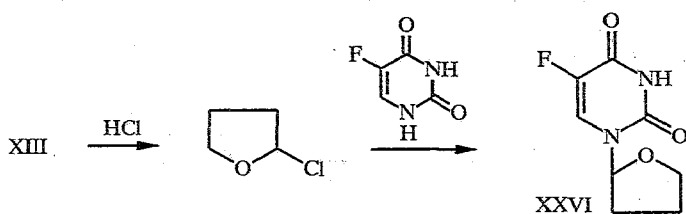
В тех же условиях из 3-карбэтоксигидрофурана (XX) получены спироциклические продукты (XXI, XXII). Сульфоаналог эфира XX (XXIII) присоединяет ацетоуксусный эфир с образованием спира (XXIV):



Важным аспектом использования 2,3-дигидрофурана VI6 является его применение в синтезе тетрагидрофурановых производных пуриновых и пиримидиновых оснований [13]. Так, присоединением этого соединения к 6-замещенным пуринам синтезированы тетрагидрофуриловые производные пуриновых оснований (XXV) [14—16]:

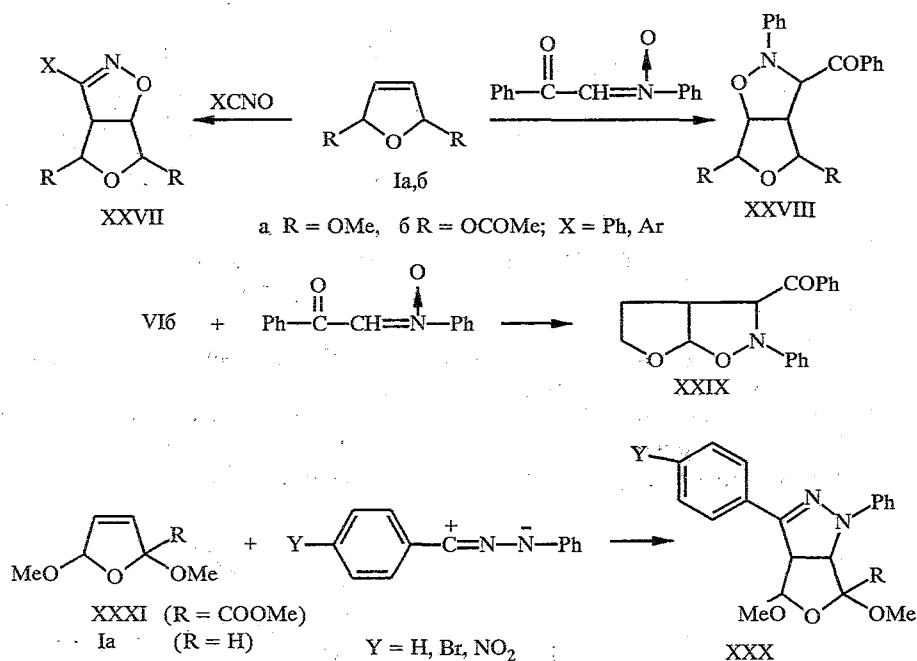


1-(2-Тетрагидрофурил)урацилы получают взаимодействием активированных производных урацила с 2,3-дигидрофураном VI6 [17, 18]. Присоединением к последнему HCl синтезируют 2-хлортетрагидрофуран, взаимодействие которого с фторурацилом приводит к противоопухолевому препарату фторафуру (XXVI):

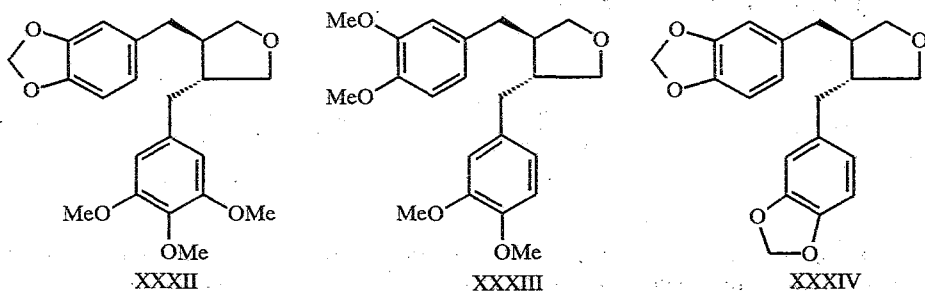


Дигидрофуран VIб взаимодействует с тимидином в присутствии *пара*-толуолсульфокислоты, образуя в зависимости от условий 3- и 3'-О-(2-тетрагидрофурил)тимидины или 3'-,5'-ди-О-(2-тетрагидрофурил)тимидин [19].

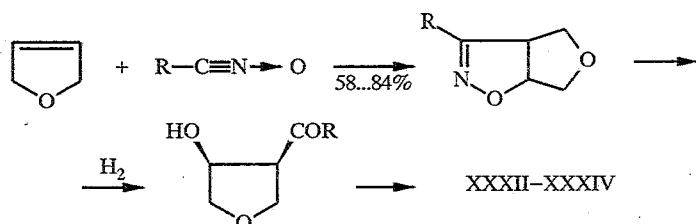
Конденсированные изоксазолы (XXVII—XXIX) и пиразолы (XXX) синтезируют по реакции 1,3-диполярного циклоприсоединения к дигидрофуранам Ia,б, VIб и XXXI нитрилоксидов, диарилнитрилиминов и *С*-бензоил-*N*-фенилнитрона соответственно [20—27]:



Реакция диполярного циклоприсоединения нитрилоксидов к 2,5-дигидрофурану служила ключевой стадией в синтезах тетрагидрофурилсодержащих лигнанов (–)-бурсерана (XXXII), (–)-брасилигнана (XXXIII), (–)-дегидроксикубебина (XXXIV) [28]:

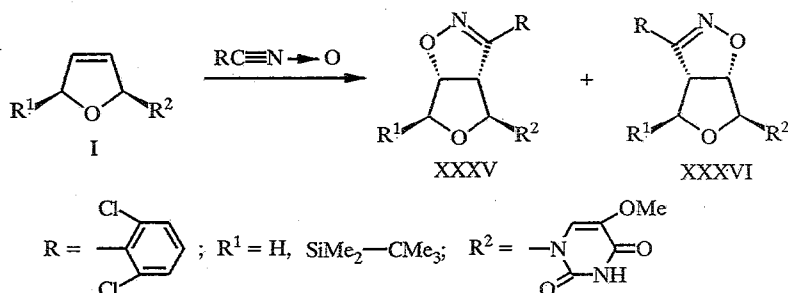


Синтезированные на первой стадии изоксазолы подвергались восстановительному расщеплению с образованием 3-гидрокси-4-ацилтетрагидрофуранов — предшественников целевых лигнанов XXXII—XXXIV:



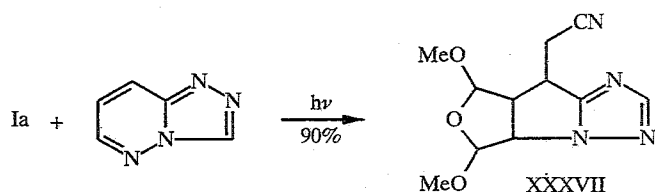
2,3-Дигидрофуран был использован также для синтеза *dl*-изоретронеканола [29].

Полученные из дигидрофуранов I производные тетрагидрофураноизоксазолов (XXXV, XXXVI) исследованы на антимикробную активность [30].

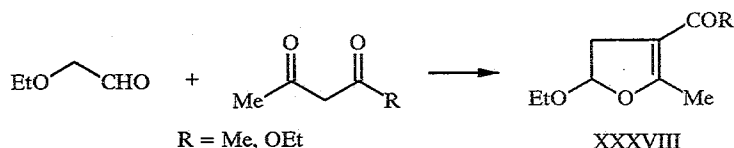


Выходы этих соединений составили от 67 до 96%, соотношение XXXV : XXXVI 3 : 2 и 3 : 1 для разных заместителей.

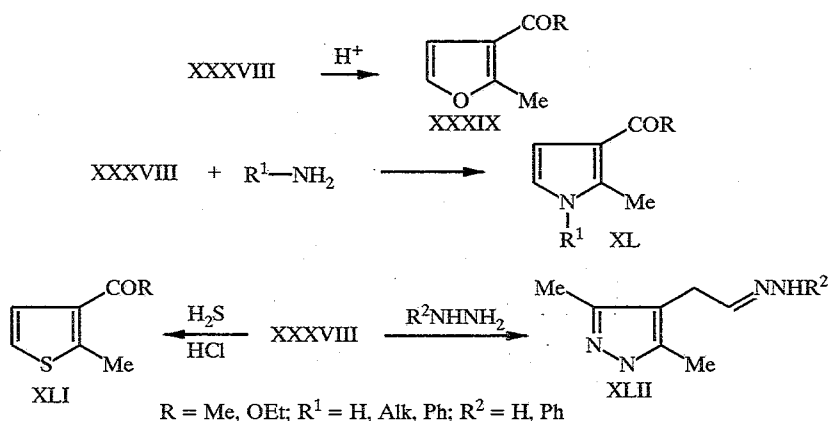
Новые гетероциклические системы, в частности XXXVII, получены фотохимическим присоединением *s*-триазоло[4,3-*b*]пиридазина к 2,5-диметокси-2,5-дигидрофурану Ia и другим циклоолефинам [31]:



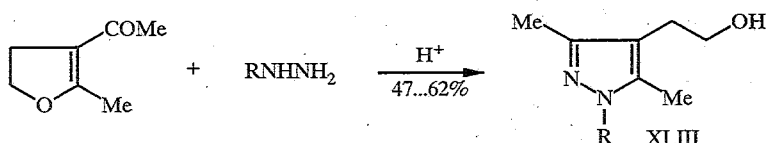
Перспективные реагенты — 3-ацетил- и 3-карбэтокси-4,5-дигидрофураны (XXXVIII) предложено получать из этоксиацетальдегида и 1,3-дикарбонильных соединений [32, 33]:



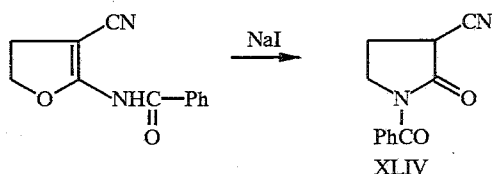
На основе соединений XXXVIII разработаны одностадийные синтезы 3-функционально замещенных фуранов, пирролов, тиафенов и пиразолов (XXXIX—XLII) [34—37]:



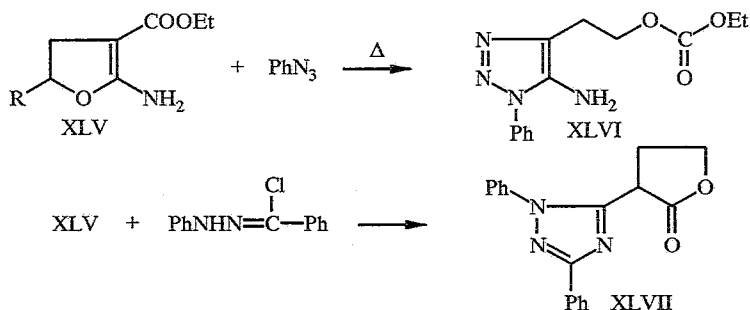
3-Ацетил-4,5-дигидросильван взаимодействует с гидразином и его производными, образуя оксиэтилпиразолы (XLIII) со средними выходами [38]:



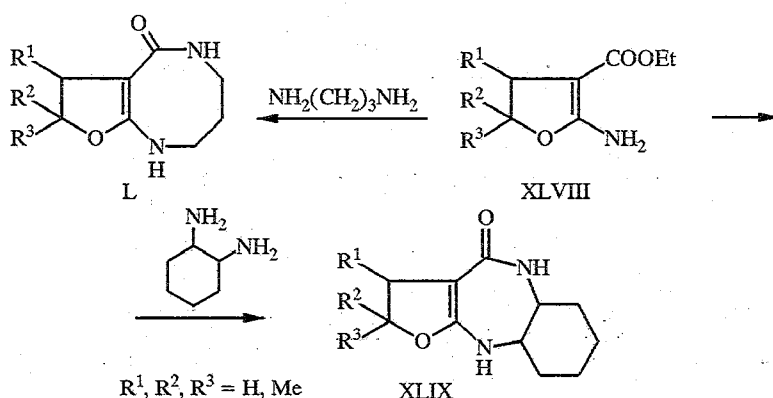
Рециклизация 2-бензоиламино-3-циано-4,5-дигидрофурана в присутствии йодида натрия приводит к пирролидону (XLIV) [39]:



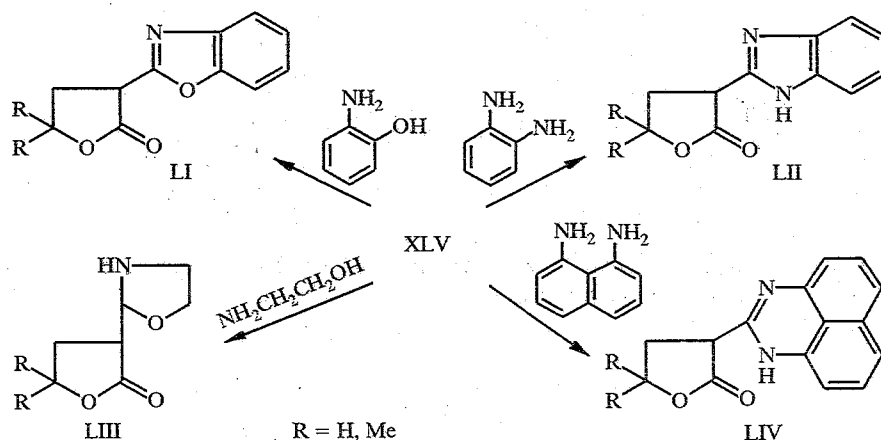
Разнообразные превращения 2-амино-4,5-дигидрофуранов подробно исследованы Вамхоффом [40—44]. Конденсацией 2-амино-3-карбэтокси-4,5-дигидрофуранов (XLV) с фенилазидом и бензфенилгидразоноилхлоридом получены функционально замещенные триазолы (XLVI, XLVII) [40]:



Взаимодействием аминоэфиров XLVIII с 1,2-диаминоциклогексаном и 1,3-диаминопропаном синтезированы бензо[*b*]фуρο[2',3'-*e*][1,4]дiazепины (XLIX) и фуро[2,3-*b*]diazоцины (L) соответственно [41]:

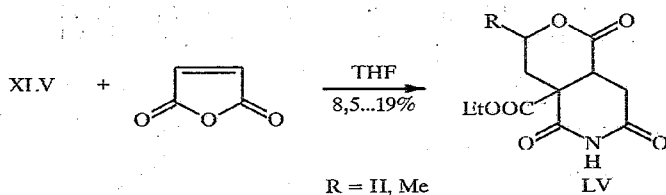


Иначе идут реакции соединений XLV с ароматическими аминами и аминоэтанолам, приводя к бутиролактонам (LI—LIV), имеющим в положении 3 гетерильные заместители:



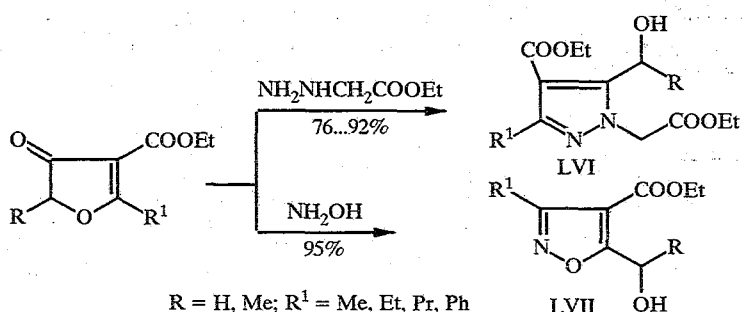
В работе обсуждаются предполагаемые механизмы реакций.

Дигидрофураны XLV реагируют с малеиновым ангидридом уже при комнатной температуре, образуя с небольшими выходами пиранопиперидины (LV) [42]:

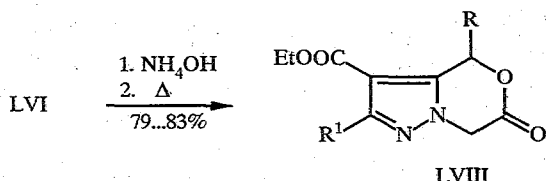


Широкий набор новых функционально замещенных азолопиримидинов получен конденсацией эфиров XLV и 2-амино-3-циано-4,5-дигидрофуранов с 3-аминопиразолами, 3-амино-1,2,4-триазолами и 2-аминобензимидазолами [43, 44].

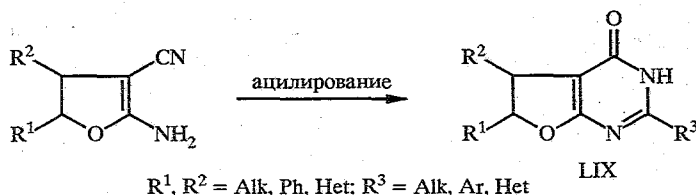
Авторы работ [45, 46] с высокими выходами синтезировали функциональные производные пиразола (LVI) и изоксазола (LVII) конденсацией 3-карбэтокси-4-оксо-4,5-дигидрофуранов с этилгидразиоацетатом и гидроксиламином соответственно:



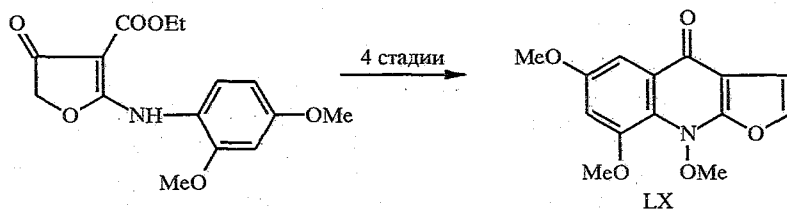
Пирозолы LVI могут быть далее превращены в 4Н-пиразоло[5,1-с]-[1,4]оксазины (LVIII):



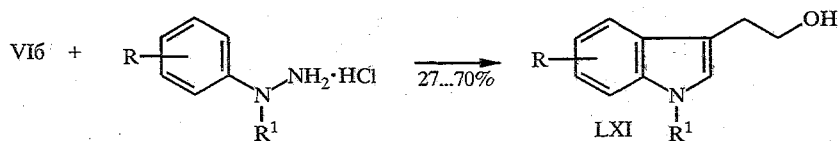
В японском патенте [47] описан способ получения фуropyrimидинов (LIX) ацилированием 2-амино-3-циано-4,5-дигидрофуранов:



Синтез алкалоида изомаскулозида (LX) осуществлен на основе 4-карбэтокси-5-(2,4-диметоксифениламино)-3(2Н)-фуранона [48]:

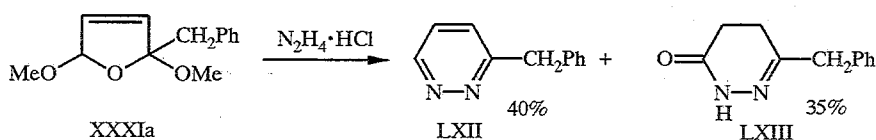


Взаимодействием 2,3-дигидрофурана VIб с солями арилгидразинов по реакции Фишера получены триптофолы (LXI) [49]:

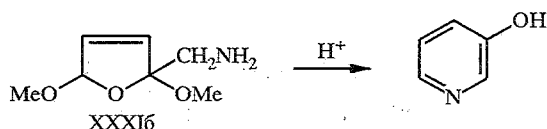


Известный метод синтеза пиридазинов заключается во взаимодействии 2,5-диалкокси-2,5-дигидрофуранов (ДДФ) с гидразином.

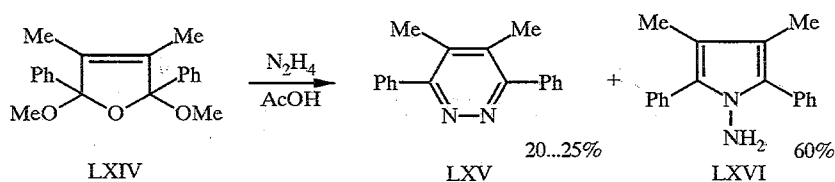
Авторами работы [50] в результате реакции 2-бензил-ДДФ XXXIa с солянокислым гидразином в буферном растворе пирогосфата натрия кроме целевого продукта (LXII) удалось получить со значительным выходом также пиридазин-3-он (LXIII):



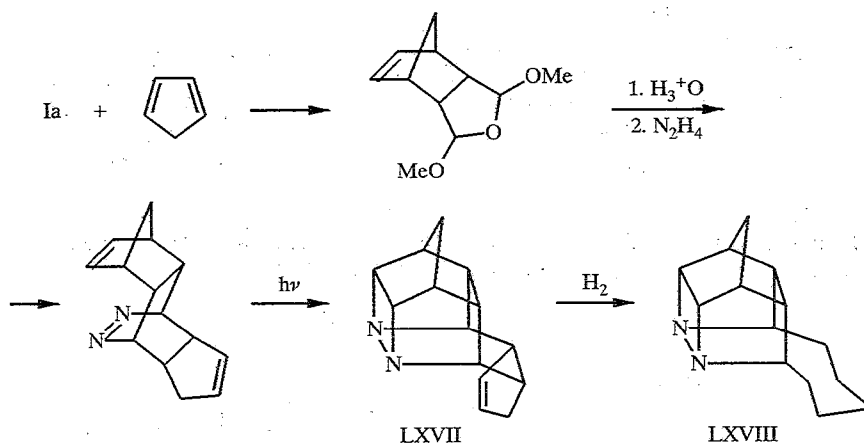
3-Оксопиридин получается внутримолекулярной рециклизацией 2-аминотетрагидрофуран XXXIb [51]:



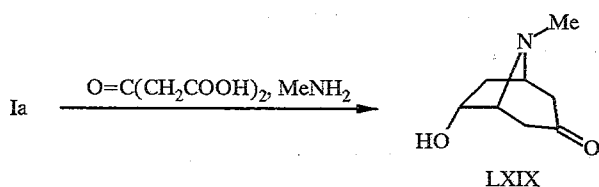
Рециклизацией ДДФ (LXIV) с гидразином можно получить производные пиридазина LXV и N-аминопиррола (LXVI) [52]:



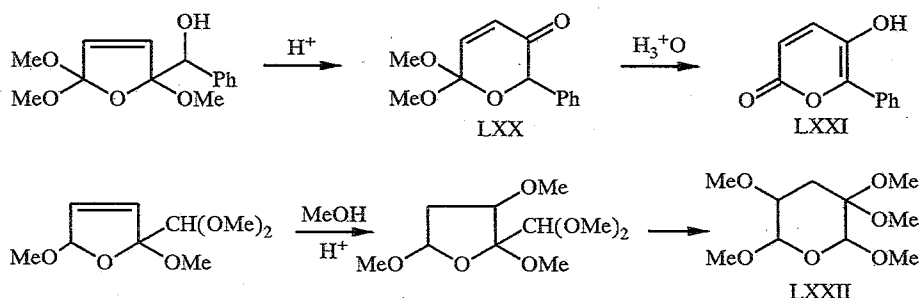
Новые каркасные N-гетероциклы (LXVII, LXVIII) синтезированы исходя из 2,5-диметокси-2,5-дигидрофурана Ia.



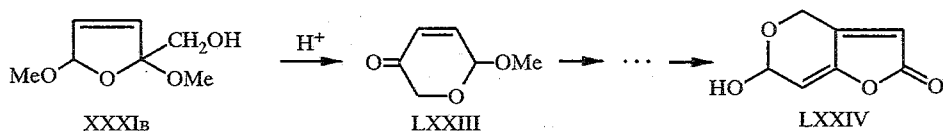
6-Окситропинон (LXIX) впервые получен из ДДФ Ia в присутствии метиламина и ацетондикарбоновой кислоты [54]. Эта реакция применялась в полном синтезе алкалоида анисамина [55]:



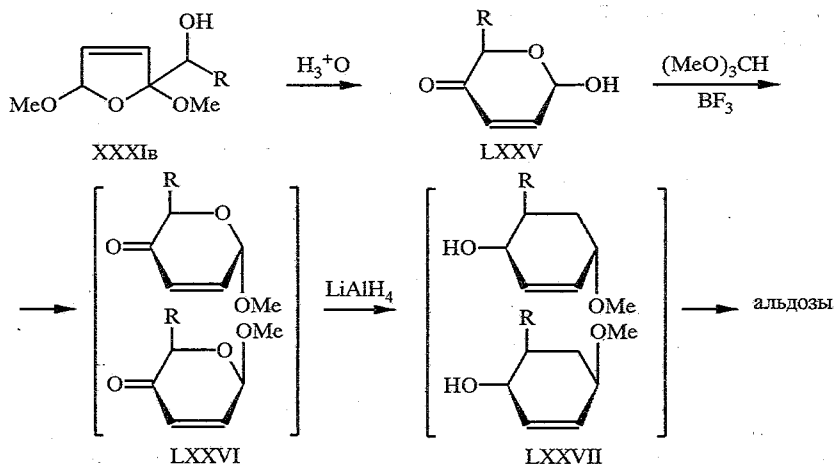
Рециклизация 2,5-ди- и 2-замещенных ДДФ приводит к производным пирана LXX—LXXII [56, 57]:



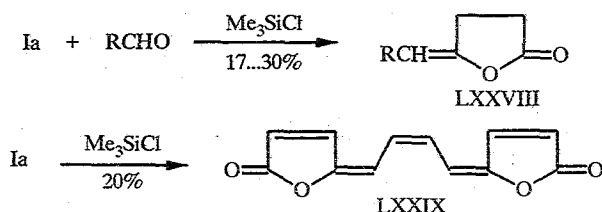
Пиранон (LXXIII), полученный из 2-гидроксиметил-2,5-диметокси-2,5-дигидрофурана XXXIв, был в несколько стадий превращен в неопатулин (LXXIV) [58]:



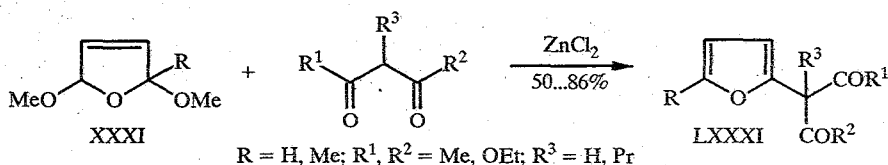
Новый подход к синтезу высших сахаров, предложенный О. Ахматовичем [59, 60], заключается в рециклизации ДДФ XXXIг в пиранозидулозы (LXXV), которые затем через промежуточные соединения (LXXVI, LXXVII) превращаются в моносахариды:



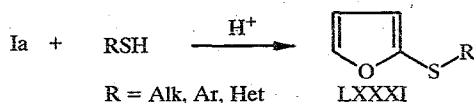
Реакцией ДДФ Ia с альдегидами в присутствии триметилхлорсилана [61—63] получены фураноны (LXXVIII, LXXIX). Недостатком метода являются низкие выходы (17...30%):



Итальянские химики [64, 65] предложили новый метод синтеза функциональных производных фурана (LXXX) исходя из ДДФ типа XXXI и 1,3-дикарбонильных соединений:

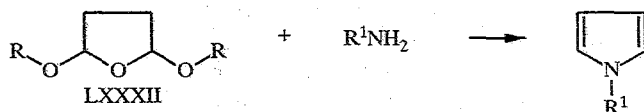


Метод синтеза 2-фурилтиоэфиров (LXXXI) предложен в работе [66]. ДДФ I легко реагируют с алифатическими и ароматическими тиолами в присутствии *para*-толуолсульфокислоты, например



2. ТЕТРАГИДРОФУРАНЫ

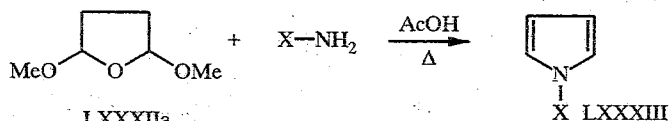
Рассматривая применение тетрагидрофуранов в синтезах гетероциклов, в первую очередь остановимся на синтезе пирролов по Н. Клаусон-Каасу из 2,5-диалкокситетрагидрофуранов (ДТФ) LXXXII и первичных аминов [67—69]:



Реакция катализируется кислотой — используют фосфорную, соляную кислоты, а также окись алюминия, цеолиты. Наиболее распространенным методом является кипячение исходных реагентов в ледяной уксусной кислоте. Иногда в реакционную смесь добавляют ацетат натрия. В патенте [70] описан промышленный синтез полиалкил- и арилпирролов газовой реакцией на боросиликатных цеолитах и окислах металлов. Незамещенный пиррол был получен пропусканием 2,5-диалкокситетрагидрофурана

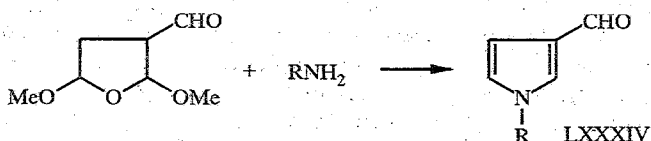
(LXXXIIa) и аммиака при соотношении 1 : 3 над цеолитом (94,2% SiO₂; 2,3% B₂O₃) при 400 °С с объемной скоростью 3 ч⁻¹. При 100% конверсии дигидрофурана выход пиррола составил 85,7%.

В реакцию с ДТФ вступают также амиды и сульфамиды [71]. Авторы сообщают о хороших и средних выходах N-арилсульфонилпирролов (LXXXIII):



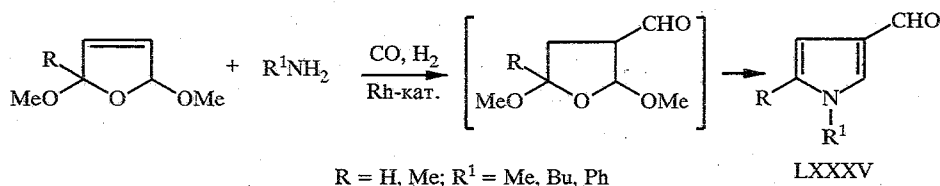
X = SO₂Ph, SO₂C₆H₄Cl-*p*, SO₂C₆H₄OMe-*p*, C₆H₅ и др.

3-Формилпирролы (LXXXIV) часто труднодоступны, поскольку прямое формилирование незамещенного пиррола проходит в первую очередь в положение 2. Эти соединения легко могут быть получены из 3-формил-ДТФ и первичных аминов [72, 73]:



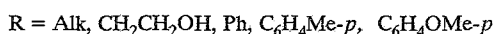
Авторы работы [72] в качестве аминной компоненты использовали уретан и затем декарбоксилировали полученный N-карбэтокси-3-формилпиррол, получив с хорошим выходом незамещенный 3-формилпиррол.

А. Лапидус с сотрудниками [74, 75] получали 1,2,4-замещенные пирролы (LXXXV) непосредственно из 2-R-ДДФ, объединив стадии синтеза тетрагидрофурановых альдегидов и их аминирование:

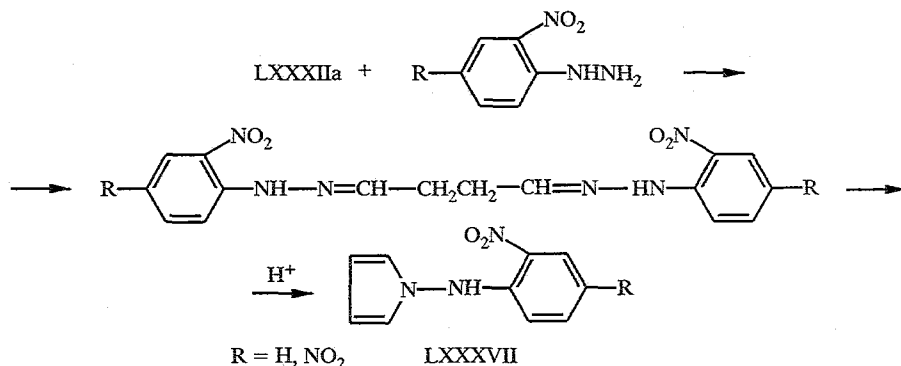


Процесс вели в автоклаве при температуре 130 °С и давлении синтез-газа 10 МПа в присутствии гомогенных родиевых катализаторов. Расположение заместителей в ядре продукта LXXXV (R = Me) подтверждает региоселективность реакции гидроформилирования несимметричных ДДФ.

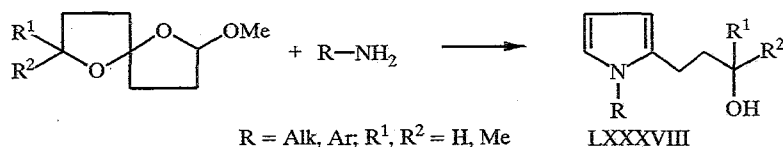
Японские химики сообщили о разработке оригинальной методики синтеза карбазолов (LXXXIV) из 2,5-диметокситетрагидрофурана LXXXIIa и солей первичных аминов [76]. Для лучшего растворения обоих реагентов процесс проводили в смеси вода—бензол (длительное кипячение). Максимальные выходы были достигнуты при эквимольных количествах реагентов и соотношении бензол—вода 25 : 1. Предложена следующая схема превращений:



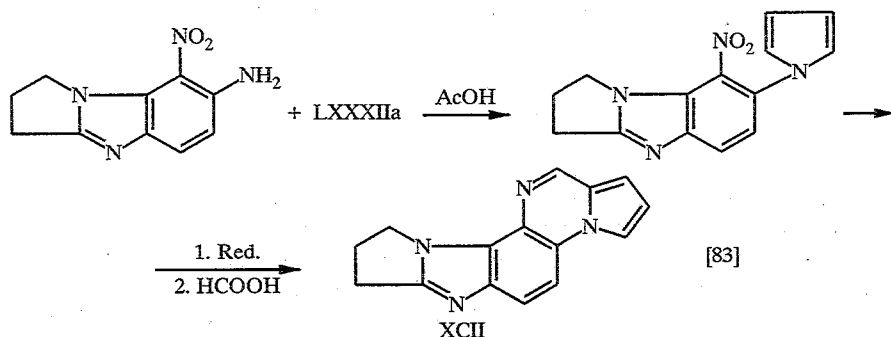
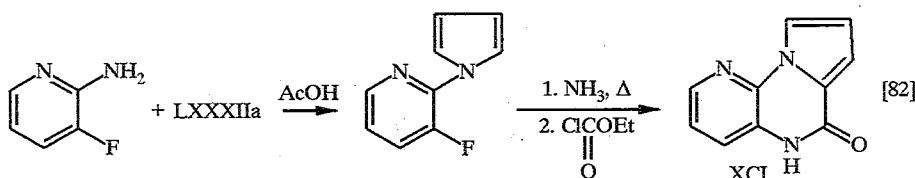
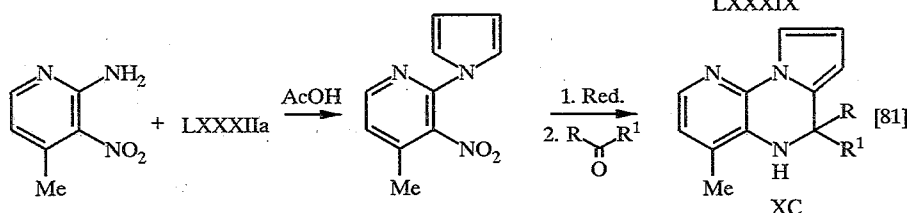
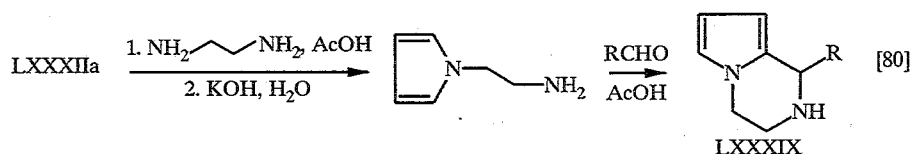
N-Ариламинопирролы (LXXXVII) получены из ДТФ и фенилгидразинов в две стадии [78]:



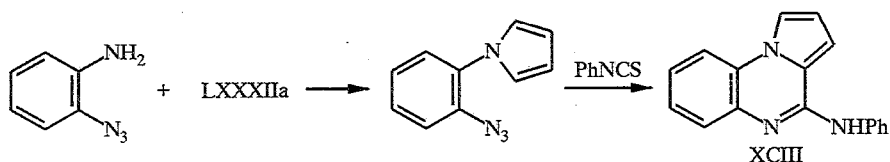
И. С. Монахова и А. В. Малев синтезировали ряд 2-(3-оксипропил)пирролов (LXXXVI) с выходами 42...98% кипячением первичных аминов с 1,6-диоксаспиро[4,4]нонанами в уксусной кислоте [79]:



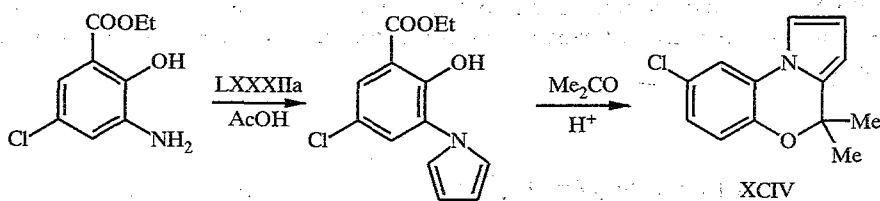
Для получения конденсированных пирролов LXXXIX—XCII в реакцию с ДТФ LXXXIIa вводят функционально замещенные амины. На заключительной стадии синтезов проводят циклизацию в α -положение пиррольного кольца.



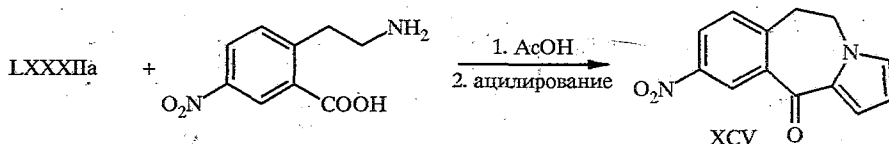
П. Молина с сотрудниками синтезировали пирроло [1,2-*a*]пиазин XCIII из 2,5-диметокси-2,5-дигидрофурана и 2-азидоанилина [84, 85]:



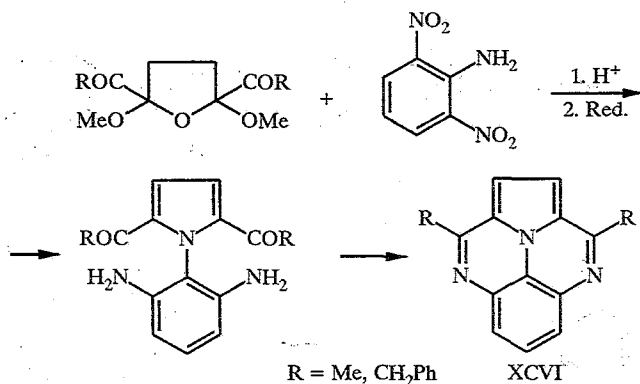
2,5-Диалкокситетрагидрофуран LXXXIIa использовали также в синтезах пирролобензоксаинов (XCIV) [86]:



и пирроlobензазепинонов (XCV) [87]:

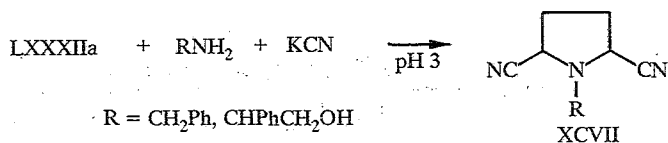


Синтез и спектральные данные 4,8,9b-триазаацклопента[с, d]феналенов (XCVI) приведены в работе [88]:



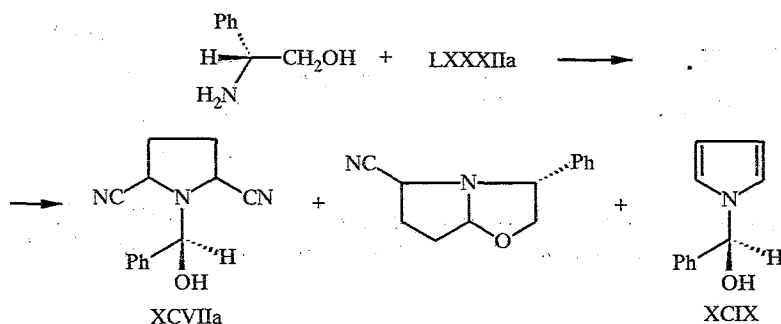
Метод синтеза пирролов по Клаусон-Каасу нашел интересное применение в химии пептидов. 2,5-Диалкокситетрагидрофуран предложено использовать для защиты аминогруппы [89]. Ее регенерация проводится в две стадии: озонлиз пиррола и восстановление борогидридом натрия. На реакции с 2,5-диалкокситетрагидрофураном основан также способ фотометрического определения первичных аминов [90].

В условиях конденсации по Робинсону—Шопфу ДТФ LXXXIIa с первичными аминами и KCN образует 2,5-дицианопирролидины XCVII [91, 92]. Реакцию ведут в водном растворе лимонной кислоты при комнатной температуре:

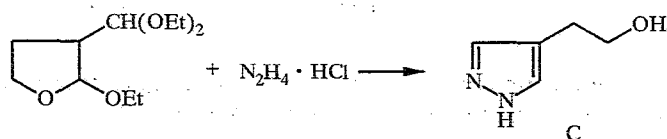


В работе [91] изомеры соединения XCVII были разделены хроматографически, их общий выход составил 71...83%. Кроме того, было выделено также незначительное количество соответствующего пиррола, который стал единственным продуктом в том случае, когда реакция проводилась при pH 6.

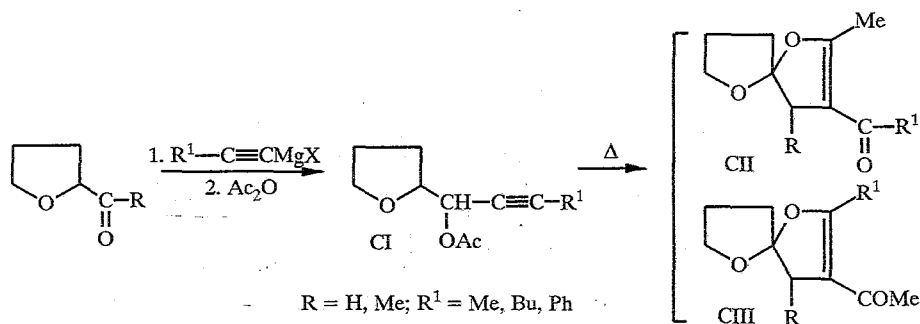
В работе [92] сырой продукт реакции ДТФ с R-(-)-фенилглицинолом кипятили в этаноле 96 ч. В результате был получен пирролидинооксазол XCVIII с выходом 52%. Кроме того, из реакционной смеси были выделены пиррол (XCIX) и пирролидин XCVIIa.



В синтезе 4-(2-аминоэтил)пиразола, аналога гистамина, использовалась реакция ацетала 2-этокси-3-формилтетрагидрофурана с гидрохлоридом гидразина, приводящая к образованию замещенного пиразола (C) [93]:

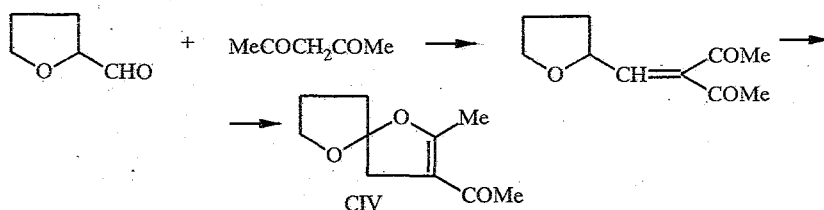


Р. А. Карахановым и соавторами предложены эффективные каталитические системы для окисления тетрагидрофурфурилового спирта до тетрагидрофурфуrolа [94], а также исследовано синтетическое применение этого альдегида. Полученные на основе тетрагидрофурфуrolа и 2-ацетилтетрагидрофурана пропаргильные эфиры (CI) термически рециклизуются в 2,3,4-замещенные 1,6-диоксаспиро[4,4]нон-2-ены (CII, CIII) [95, 96]:

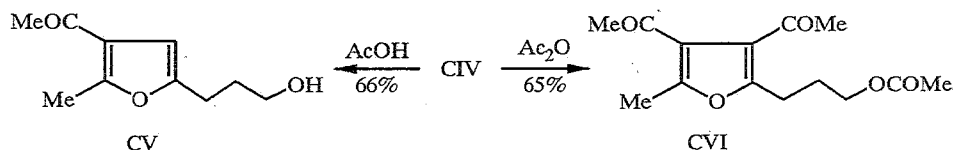


Изомерные спироцикланы CII и CIII разделены методом флеш-хроматографии. Отмечена частичная инверсия заместителей при длительном хранении.

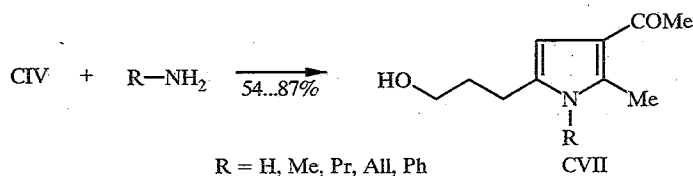
3-Ацетил-2-метил-1,6-диоксаспиро[4,4]нон-2-ен (CIV) получен также конденсацией тетрагидрофурфуrolа с ацетилацетоном по Кневенегелю с последующей термоизомеризацией [97]:



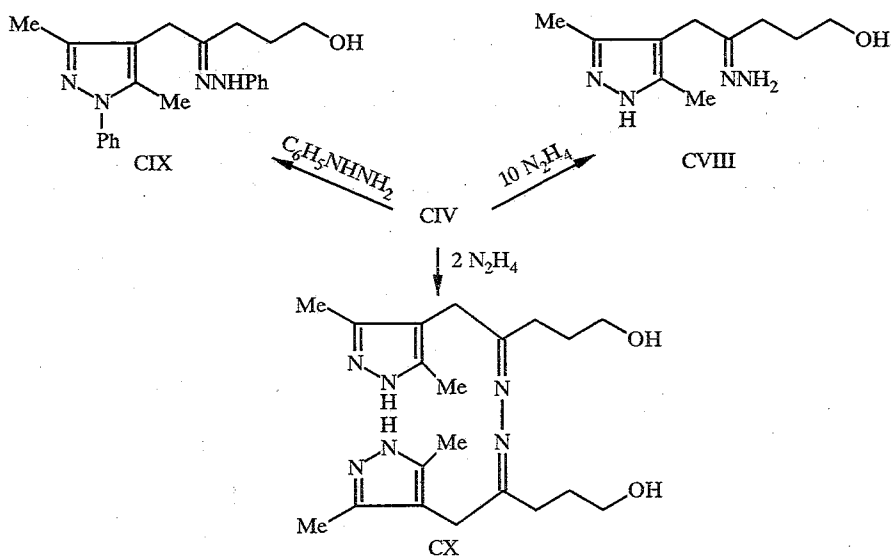
Спироциклан CIV обладает большими синтетическими возможностями [97, 98]. При его нагревании с ДМСО, уксусной кислотой или уксусным ангидридом получены замещенные фураны (CV, CVI):



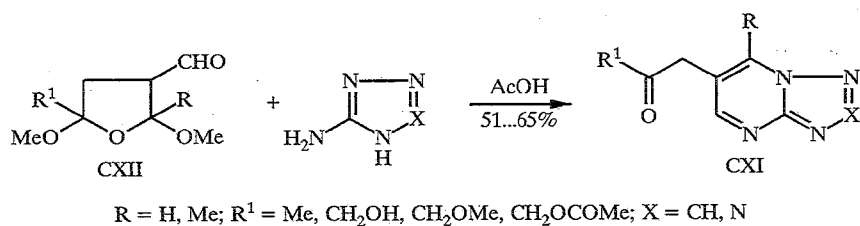
Исключительно легко проходит реакция соединения CIV с первичными аминами с образованием 2-(3-оксипропил)-3-ацетилпирролов (CVII):



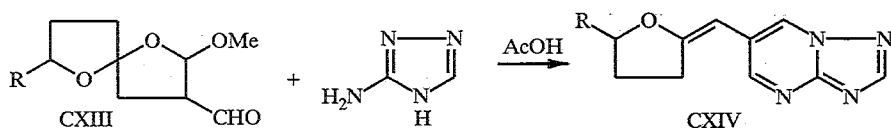
Взаимодействие спироциклана CIV с гидразингидратом и фенилгидразином в различных условиях приводит к производным пиразола (CVIII—CX):



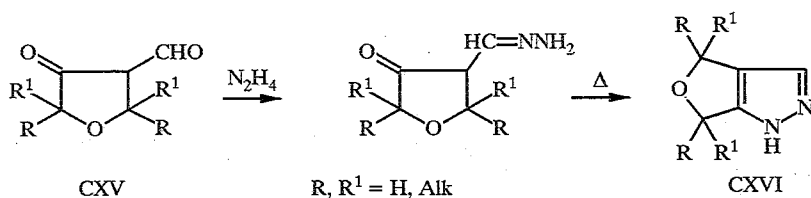
Предложен метод получения 6-функционально замещенных азоло[1,5-a]пиримидинов (CXI) конденсацией 3-формил-2,5-диметокситетрагидрофуранов (CXII) с аминоксололами [99, 100]:



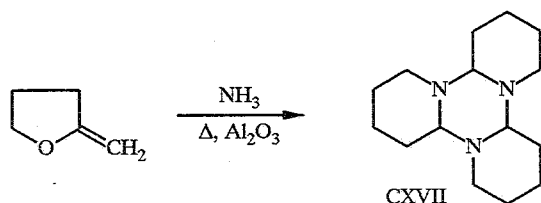
Спироаналоги альдегидов CXI—CXIII взаимодействуют с 3-амино-1,2,4-триазолом с образованием триазолопиримидинов (CXIV) [101]:



3-Оксо-4-формилтетрагидрофураны (CXV) реагируют с гидразином обычным образом, давая гидразоны по формильной группе. Эти соединения при перегонке в вакууме или нагревании выше температуры плавления переходят в конденсированные пиразолы (CXVI) [102]:

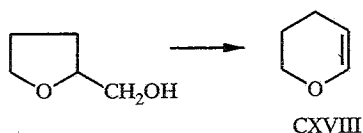


2-Метилтетрагидрофуран взаимодействует с аммиаком над окисью алюминия, образуя α -трипиперидеин (CXVII) [103]:



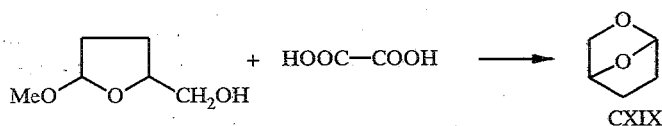
Один из методов получения фуранов — деметоксилирование ДТФ. Патентован способ получения 3-формилфурана пиролизом 3-формил-2,5-диметокситетрагидрофурана [104]. Выход, однако, не превышает 20%.

В синтезах кислородсодержащих гетероциклов используются перегруппировки тетрагидрофуриловых спиртов. Р. Поль [105] предложил метод получения 3,4-дигидро-2H-пирана (CXVIII).

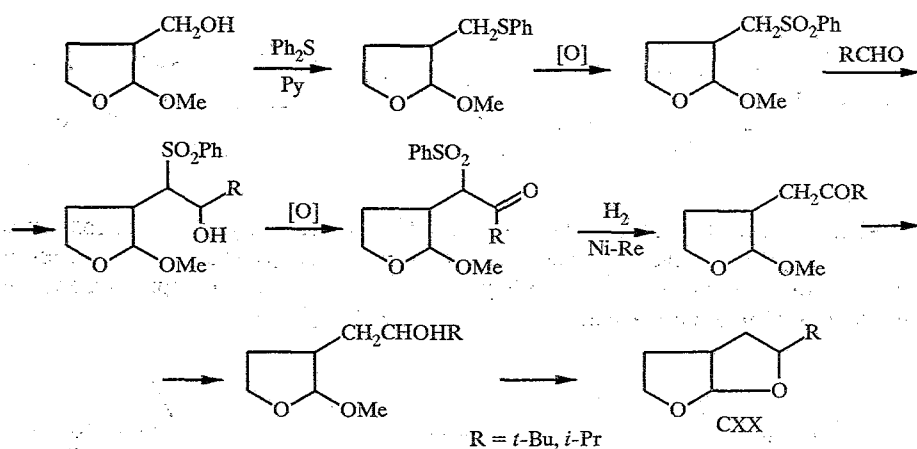


Карбоний-ионный механизм этой реакции был доказан спустя 30 лет с применением меченого ^{14}C спирта [106].

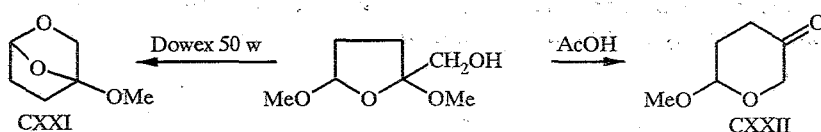
Из 5-метокси-2-оксиметилтетрагидрофурана и щавелевой кислоты получен 2,7-диоксибицикло[1,2,2]гептан (CXIX) [107]:



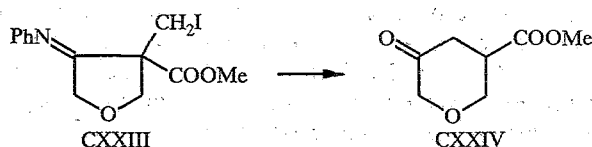
Алкилзамещенные 2,8-диоксацикло[3.3.0]октаны (СХХ) синтезированы в несколько стадий из производных тетрагидрофурана [108]:



2,5-Диметокситетрагидрофуриловый спирт в зависимости от условий превращается в продукты СХХI или СХХII [109, 110]:



Свободнорадикальным расширением тетрагидрофуранового кольца соединения СХХIII получен метиловый эфир 3-оксотетрагидропиран-5-карбоновой кислоты (СХХIV) [111]:

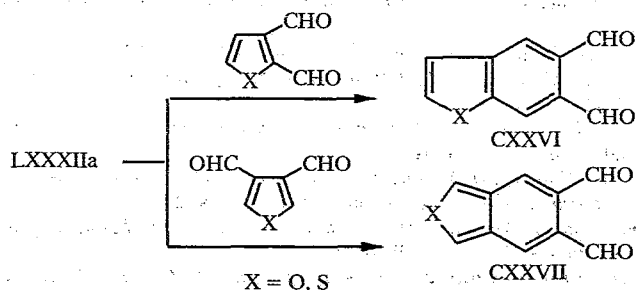


Германийсодержащий бицикл (СХХV) синтезирован из 3,4-бисметилен-тетрагидрофурана [112]:



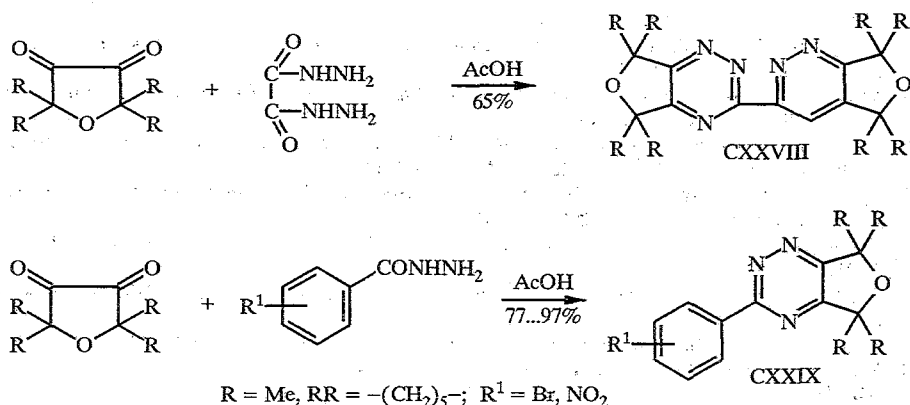
Запатентованы методы получения 3-формилтиофена из 2,5-диметокси-3-формилтетрагидрофурана [113, 114]. Они заключаются во взаимодействии последнего с H₂S, сульфидами и гидросульфидами щелочных металлов в присутствии сильных кислот.

Бензофураны и бензотиофены (СХХVI, СХХVII) получены конденсацией ДТФ с диформилфуранами и диформилтиофенами [115]:



На основе ДТФ получены тиофенсодержащие полимеры [116].

Казахские химики [117, 118] синтезировали производные фуры[3,4-*e*]-1,2,4-триазинов (CXXVIII, CXXIX) из 3,4-диоксотетрагидрофуранов и гидразидов щавелевой или бензойных кислот:



Таким образом, гидрофурановые соединения успешно применяются в синтезе самых разных гетероциклических систем. Дальнейшие исследования в этом направлении представляются важной и актуальной задачей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Славинская В. А., Караханов Р. А., Брежнев Л. Ю., Гейман И. И., Буленкова Л. Ф., Страутина А. К. // ХГС. — 1982. — № 10. — С. 1299.
2. Эльминг Н. // Успехи органической химии. — М.: Мир, 1964. — Т. 2. — С. 62.
3. Пономарев А. А., Маркушина И. А., Мариничева Г. Е. // Методы получения химических реактивов. — 1974. — Т. 26. — С. 137.
4. Пономарев А. А., Маркушина И. А., Мариничева Г. Е. // ХГС. — 1970. — № 12. — С. 1591.
5. Маркушина И. А., Мариничева Г. Е. Химия и технология фурановых соединений. — Краснодар, 1972. — С. 60.
6. Fuhrhop J.-H., Hosseinpour D. // App. — 1985. — N 4. — S. 689.
7. Поваров Л. С., Грузос Р. И., Михайлов Б. М. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1966. — С. 139.
8. Elliot M. C., Moody C. J., Mowlem T. J. // Synlett. — 1993. — N 12. — P. 909.
9. Masumune T., Matsue H., Murase H. // Bull. Chem. Soc. Japan. — 1979. — Vol. 52. — P. 127.
10. Nicolaou K. S., Hwang C. K., Daggan M. E., Reddy K. B. // Tetrah. Lett. — 1987. — Vol. 28. — P. 1501.
11. Griesbek A. G., Stadtmueller S. // J. Amer. Chem. Soc. — 1991. — Vol. 113. — P. 6923.
12. Mellor J. M., Mohammed S. // Tetrah. Lett. — 1991. — Vol. 32. — P. 7107.
13. Жук Р. А. // Успехи химии фурана. — Рига: Зинатне, 1978. — С. 184.
14. Levis L. R., Schneider F. H., Robins R. K. // J. Org. Chem. — 1961. — Vol. 26. — P. 3842.
15. Robins M. J., McCarthy J. R., Robins R. K. // Biochemistry. — 1965. — Vol. 5. — P. 224.

16. Browles W. A., Schneider F. H., Levis L. R., Robins R. K. // J. Med. Chem. — 1963. — Vol. 6. — P. 471.
17. Гиллер С. А., Жук Р. А., Лидак М. Ю. // ДАН. — 1967. — Т. 176. — С. 332.
18. Pat. 1168391 GB / Giller S. A., Zhuk R. A., Lidak M. J., Zidermane A. A. // C. A. — 1970. — Vol. 72. — 43715.
19. Чкаников Н. А., Белицкий Г. А., Коляда А. Ю., Киселева М. Г., Хитрова И. А. // Биоорганическая химия. — 1980. — Т. 6. — С. 1316.
20. Новицкий К. Ю., Садовая Н. К., Трутнева Л. М. // ХГС. — 1971. — № 2. — С. 150.
21. Barbulescu N., Lazar R. // An. Univ. Bucuresti Chim. — 1972. — Vol. 21. — P. 17.
22. Caramella P., Albini F. M., Vitali D., Rondon N. Y., Wu Y.-D., Schwarz T. R., Houk K. N. // Tetrah. Lett. — 1984. — Vol. 25. — P. 1875.
23. Fisera L., Dandarova M., Kovac J., Yaploosky H., Patus J., Goljer J. // Collect. Czech. Chem. Commun. — 1982. — Vol. 47. — P. 523.
24. Abu-Orabi S. T. // J. Chem. Eng. Data. — 1986. — Vol. 31. — P. 505.
25. Stibrani L., Fisera L., Rybecka Y. // Chem. Papers. — 1987. — Vol. 41. — P. 605.
26. Jedlovská E., Fisera L. // Chem. Papers. — 1991. — Vol. 45. — P. 419.
27. Jedlovská E., Fisera L. // Chem. Papers. — 1992. — Vol. 46. — P. 238.
28. Gaboury L. A., Sibi M. P. // J. Org. Chem. — 1993. — Vol. 58. — P. 2173.
29. Iwashita T., Kusumi T., Kakisawa H. // Chem. Lett. — 1979. — N 11. — P. 1337.
30. Kim J. N., Rie E. K., No Z., Lee I. Y. // Bioorg. Med. Chem. Lett. — 1992. — Vol. 2. — P. 323.
31. Maas G. E., Bradshaw J. S. // J. Heterocycl. Chem. — 1977. — Vol. 14. — P. 81.
32. Караханов Р. А., Вартамян М. М., Каржавина Н. П., Игнатенко А. В. // ЖОрХ. — 1983. — Т. 19. — С. 2633.
33. Танчук Н. М., Вартамян М. М., Каржавина Н. П., Княжанский С. Я., Рунова Е. А., Караханов Э. А. // ХГС. — 1986. — № 3. — С. 308.
34. Вартамян М. М., Рунова Е. А., Танчук Н. М., Караханов Э. А. // Вестник Моск. Ун-та. Химия. — 1987. — Т. 28. — С. 386.
35. Рунова Е. А., Vartanyan M. M., Tanchuk N. M., Karakhanov E. A. // VI Int. Conf. on Organic Synth. Moscow, USSR; Abstr. — Moscow, 1986. — P. 110.
36. Рунова Е. А., Танчук Н. М., Терентьев П. Б., Братков А. А., Вартамян М. М., Караханов Р. А. // ХГС. — 1987. — № 6. — С. 776.
37. Вартамян М. М., Каржавина Н. П., Танчук Н. М., Княжанский С. Я. // ЖОрХ. — 1985. — Т. 21. — С. 672.
38. Караханов Р. А., Вартамян М. М., Соловьева Т. Ю., Зефирова В. А. // ХГС. — 1984. — № 1. — С. 133.
39. Yamagata K., Maruoka H., Hashimoto Y., Yamazaki M. // Heterocycles. — 1989. — Vol. 29. — P. 5.
40. Wamhoff H., Sohar P. // Chem. Ber. — 1971. — Bd 104. — S. 3510.
41. Wamhoff H., Materne C. // Chem. Ber. — 1974. — Bd 107. — S. 1784.
42. Szilagyi G., Sohar P., Wamhoff H. // Synthesis. — 1980. — N 9. — P. 698.
43. Elnagdi M., Wamhoff H. // J. Heterocycl. Chem. — 1981. — Vol. 18. — P. 1287.
44. Elnagdi M., Wamhoff H. // Chem. Lett. — 1981. — N 3. — P. 419.
45. Gelin S., Chabannet M. // Synthesis. — 1980. — N 11. — P. 875.
46. Deshayes C., Chabannet M., Gelin S. // Synthesis. — 1984. — N 10. — P. 868.
47. Pat. 75-30080 Japan / Yamazaki M., Matsuoka T. // C. A. — 1976. — Vol. 85. — 46732.
48. Lin T. P., Shien B., Kuo S. C. // J. Nat. Prod. — 1987. — Vol. 50. — P. 631.
49. Грандберг И. И., Москвина Т. П. // ХГС. — 1972. — № 10. — С. 1366.
50. Heinisch G., Huber T. // J. Heterocycl. Chem. — 1989. — Vol. 26. — P. 1787.
51. Clauson-Kaas N., Elming N., Tyle L. // Acta Chem. Scand. — 1955. — Vol. 9. — P. 1.
52. Rio G., Leca-Nawrosc A. // Bull. soc. chim. France. — 1971. — N 5. — P. 1723.
53. Nelsen S. F., Willi M. R. // J. Org. Chem. — 1984. — Vol. 49. — P. 1.
54. Nadenskóv P., Clauson-Kaas N. // Acta Chem. Scand. — 1954. — Vol. 8. — P. 1295.
55. Xie J. X., Zhou J., Jia X. X., Liu C. X., Wang L., Zhang C. Z., Yang J. H. // Chem. Nat. Prod. Proc. Sino-Am. Symp., 1980 (pub. 1982). / Ed. by Wang Yu. Sci. Press. Beijing Peop. Rep. China. — P. 131.
56. Pelter A., Ward R. S., James D. C., Kamakshi C. // Tetrah. Lett. — 1983. — Vol. 24. — P. 3133.
57. Green B. B., Lewis K. G. // Austral. J. Chem. — 1978. — Vol. 31. — P. 627.
58. Bennet G. M., Gill B., Patlenden B., Shuker A. J., Stapleton A. // J. Chem. Soc. Perkin Trans. I. — 1991. — N 4. — P. 929.
59. Pat. 80648 Pol. / Achmatowicz O., Bukowski P., Szechner B. // C. A. — 1977. — Vol. 86. — 73086.
60. Ахматович О. // Органические синтезы сегодня и завтра. — М.: Мир, 1984. — С. 366.
61. Reisch J., Mester Z. // Monatsh. Chem. — 1983. — Bd 114. — S. 635.
62. Reisch J., Mester Z. // Arch. Pharm. — 1985. — Bd 318. — S. 459.
63. Reisch J., Mester Z. // Ann. — 1982. — N 11. — S. 2096.
64. D'Ascoli R., D'Auria M., Piancatelli G., Scettri A. // Tetrahedron. — 1979. — Vol. 35. — P. 2905.
65. D'Ascoli R., D'Auria M., Iavarone C., Piancatelli G., Scettri A. // J. Org. Chem. — 1980. — Vol. 45. — P. 4502.

66. Silverman R. A., Burness D. M. // J. Org. Chem. — 1968. — Vol. 33. — P. 1869.
67. Clauson-Kaas N., Tyle Z. // Acta Chem. Scand. — 1952. — Vol. 6. — P. 667.
68. Elming N., Clauson-Kaas N. // Acta Chem. Scand. — 1952. — Vol. 6. — P. 867.
69. Nadenscov P., Elming N., Nielsen J. T., Clauson-Kaas N. // Acta Chem. Scand. — 1955. — Vol. 9. — P. 17.
70. Pat. 303206 Eur. /Hoelderich W., Hesse M., Siegel H.// C. A. — 1989. — Vol. 111. — 176725.
71. Wasley J. W. F., Chan K. // Synth. Commun. — 1973. — Vol. 3. — P. 303.
72. Plienger H., El-Burins L., Hirsch R. // Synthesis. — 1973. — N 7. — P. 422.
73. Hamdan A., Wasley J. W. F. // Synth. Commun. — 1983. — Vol. 13. — P. 741.
74. Брежнев Л. Ю., Вартамян М. М., Вольф Е. Ю., Соловьева Т. Ю., Родин А. П. // ХГС. — 1990. — № 9. — С. 1285.
75. Лапидус А. Л., Брежнев Л. Ю., Вартамян М. М., Вольф Е. Ю., Соловьева Т. Ю., Уграк Б. И. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1990. — № 8. — С. 1873.
76. Kashima C., Hibi S., Maruyama T., Harada K., Omote Y. // J. Heterocycl. Chem. — 1987. — Vol. 24. — P. 913.
77. Kiely J. S., Huang S. // J. Heterocycl. Chem. — 1987. — Vol. 24. — P. 1137.
78. Visvanathan N., Sidheye A. R., Gavadi D. H. // Indian J. Chem. Sect. B. — 1989. — Vol. 28B. — P. 182.
79. Монахова И. С., Малев А. В. // ХГС. — 1975. — № 3. — С. 358.
80. Jirkovsky I., Roud R. // Synthesis. — 1981. — N 6. — P. 481.
81. Lancelot J. C., Robba M., Dung N. H., Viostat B. // Chem. Pharm. Bull. — 1988. — Vol. 36. — P. 3248.
82. Peet N. P., Sunder S. // Heterocycles. — 1986. — Vol. 24. — P. 3213.
83. Groves C. L., Ralph J. T., Temple A. F. // J. Heterocycl. Chem. — 1987. — Vol. 24. — P. 27.
84. Molina P., Alajarin M., Vidal A. // Tetrah. Lett. — 1989. — Vol. 30. — P. 2847.
85. Molina P., Alajarin M., Vidal A. // Tetrahedron. — 1990. — Vol. 46. — P. 1063.
86. PCT Int. Appl. WO 9306108 / Kato M., Nishino S., Takasugi H. // C. A. — 1993. — Vol. 119. — 117265.
87. Girard Y., Atkinson J. G., Belanger P. C., Fuentes J. J., Pokach J. A., Rooney C. S., Remy D. C., Hunt C. A. // J. Org. Chem. — 1983. — Vol. 48. — P. 3220.
88. Hou D., Balli H. // Helv. Chim. Acta. — 1992. — Bd 75. — S. 2608.
89. Kashima C., Maruyama T., Harada K., Hibi S., Omote Y. // J. Chem. Res. Synop. — 1988. — N 2. — P. 62.
90. Sawicki E., Johnson H. // Chemist-Analyst. — 1966. — Vol. 55. — P. 101.
91. McIntosh J. M. // J. Org. Chem. — 1988. — Vol. 53. — P. 447.
92. Royer J., Husson H. P. // Tetrah. Lett. — 1987. — Vol. 28. — P. 6175.
93. Jones R. J., Mann M. J. // J. Amer. Chem. Soc. — 1953. — Vol. 75. — P. 4048.
94. Караханов Р. А., Вагабов М. З., Каржавина Н. П., Рамазанов О. М., Мардашев Ю. С., Вартамян М. М. // ЖПХ. — 1981. — Т. 54. — С. 454.
95. Караханов Р. А., Вартамян М. М., Соловьева Т. Ю. // ЖОрХ. — 1984. — Т. 20. — С. 666.
96. Вартамян М. М., Соловьева Т. Ю. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1985. — № 1. — С. 209.
97. Караханов Р. А., Вартамян М. М., Соловьева Т. Ю., Игнатенко А. В. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1984. — № 4. — С. 908.
98. Брежнев Л. Ю., Вартамян М. М., Соловьева Т. Ю., Зефирова В. А., Каржавина Н. П., Караханов Р. А. // ХГС. — 1986. — № 9. — С. 1155.
99. Вартамян М. М., Елисеев О. Л., Брежнев Л. Ю., Караханов Р. А. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1993. — № 1. — С. 229.
100. Вартамян М. М., Елисеев О. Л., Соловьева Т. Ю., Уграк Б. И., Скок Х. Р. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1994. — № 11. — С. 1997.
101. Вартамян М. М., Елисеев О. Л., Соловьева Т. Ю., Петухов В. А. // Изв. АН СССР. Сер. хим. — 1993. — № 11. — С. 2004.
102. Коробицына И. К., Юрьев Ю. К., Инь Чэнь-Лэ, Давыдов А. Ф., Гайдамович Н. Н. // ЖОХ. — 1961. — Т. 3. — С. 3921.
103. Butter J. D., Laundon L. D. // J. Chem. Soc. C. — 1969. — N 2. — P. 173.
104. Pat. 3507378 DE / Dockner T., Hickmann E., Krug H. // C. A. — 1987. — Vol. 106. — 19149.
105. Paul R. // Bull. soc. chim. France. — 1933. — Vol. 53. — P. 1489.
106. Gensler W. J., Leod G. L. // J. Org. Chem. — 1963. — Vol. 28. — P. 3194.
107. Roll P., Deyhim S. // Chem. Ber. — 1978. — Bd 111. — S. 2913.
108. Vader J., Coopmans R., DeGroot H. // Tetrahedron. — 1984. — Vol. 44. — P. 2663.
109. Shono T., Matsumura Y., Hamaguchi H. // J. Chem. Soc. Chem. Commun. — 1977. — N 20. — P. 712.
110. Хандин А. В. Дис. ... канд. хим. наук. — М., 1991.
111. Dowd P., Choi S. Ch. // Tetrah. Lett. — 1989. — Vol. 30. — P. 6129.
112. Mazerolles P., Laurent C., Faucher A. // J. Organomet. Chem. — 1989. — Vol. 366. — P. 57.
113. Pat. 2447252 DE / Ohnsorge U., Koenig H. // C. A. — 1976. — Vol. 85. — 32830.

114. Pat. 2447253 DE / Koenig H., Ohnsorge U. // C. A. — 1976. — Vol. 85. — 32839.
115. El-Borai M., Abdel-Megeed M. F., Hassien M., Fahmy M. // Sulfur. Lett. — 1987. — Vol. 6. — P. 99.
116. Edge S., Charleton A., Varma K. S. // J. Polymer. Sci. Part A: Polymer Chem. — 1992. — Vol. 30. — P. 2773.
117. Пацаев А. К., Зайзибеков В. С., Ержанов К. В. // Изв. АН КазССР. Сер. хим. — 1991. — № 1. — С. 73.
118. Пацаев А. К., Зайзибеков В. С., Ержанов К. В. // Изв. АН КазССР. Сер. хим. — 1991. — № 2. — С. 84.

Институт органической химии РАН,
Москва 117913

Поступило в редакцию 13.10.95