

О. В. Сердюк*, П. Н. Чаликиди^а, А. В. Бутин^{б,в}

**ФУРФУРИЛАРИЛ(АЛКИЛ)КЕТОНЫ:
МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И СИНТЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
(ОБЗОР)**

Систематизирован материал по методам синтеза фурфуриларила(алкил)кетонов, опубликованный с 1985 по 2011 г. Представлен обзор синтетического потенциала данных соединений.

Ключевые слова: карбонильные соединения, фуран, фурфуриллакилкетоны, фурфуриларилакетоны.

Замещённые фураны известны как структурные единицы многих биологически активных природных веществ и находят широкое применение в качестве лекарственных препаратов. Наряду с важными фармакологическими свойствами данные соединения предоставляют широкие возможности для дальнейших превращений. Например, выступающие в качестве скрытого дикарбонильного соединения фуран и его производные нередко используются в синтезе карбо- и гетероциклических соединений [1, 2]. Преимуществом подобных методов синтеза является доступность исходных соединений, а именно простейших производных фурана, из продуктов переработки отходов сельскохозяйственного производства и деревообрабатывающей промышленности [3].

Фурфуриларила(алкил)кетоны, содержащие фурановый цикл и карбонильную группу и способные к различным трансформациям, представляют интересный объект для изучения. В синтезе новых систем на их основе можно задействовать как карбонильную группу, так и способность фуранового цикла претерпевать рециклизации. В настоящем обзоре систематизирован материал по методам получения и синтетического использования фурфуриларила(алкил)кетонов за последние 25 лет.

МЕТОДЫ СИНТЕЗА ФУРФУРИЛАРИЛ(АЛКИЛ)КЕТОНОВ

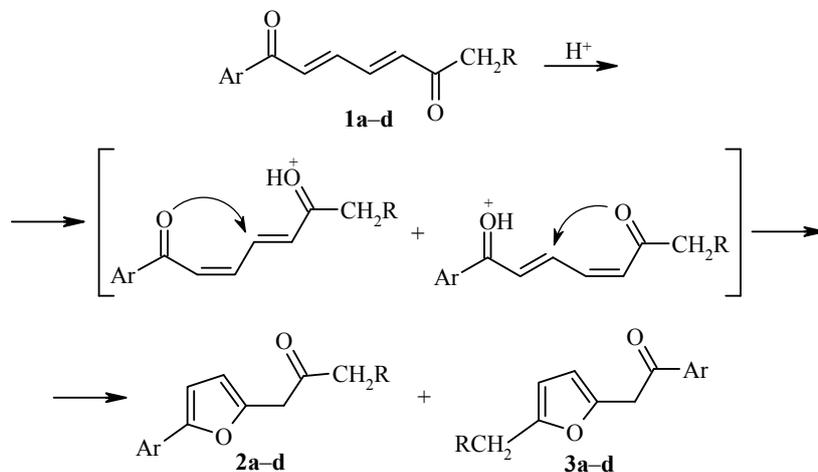
Известные методы синтеза фурфуриларила(алкил)кетонов можно разделить на две основные группы. Первая группа включает реакции циклизации, ведущие к замыканию фуранового кольца. Ко второй группе относят реакции прямой функционализации фуранового цикла или модификации уже имеющихся в нём заместителей.

Циклизации

Примером превращений первой группы служит кислотно-катализируемая циклизация 1,6-диоксо-2,4-диенов **1a–d** [4]. Эта циклизация весьма чувствительна к реакционным условиям. Так, при ее проведении в дихлорметане в

* Здесь и далее в номере фамилия автора, с которым следует вести переписку, отмечена звёздочкой.

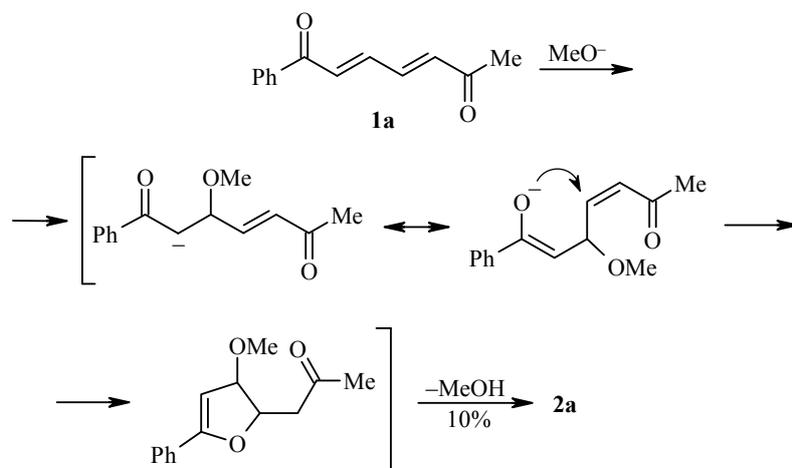
присутствии каталитических количеств *n*-толуолсульфокислоты образуется смесь изомерных фурфурилкетонов **2a–d** и **3a–d**. Аналогичное превращение диенов **1a–c** в уксусной кислоте в присутствии следов концентрированной соляной кислоты даёт преимущественно или исключительно соединения **2a–c**, а в случае соединения **1d** образуется только производное **3d**.



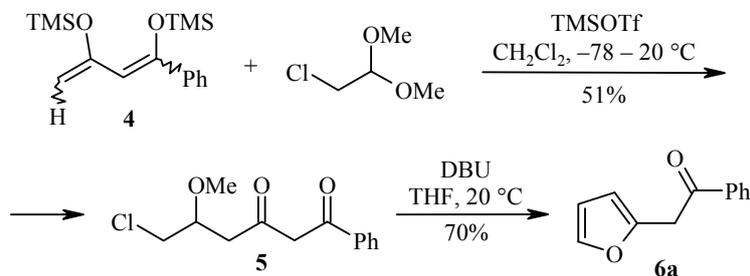
1–3 a Ar = Ph, R = H; **b** Ar = Ph, R = Me; **c** Ar = 2-тиенил, R = H;
d Ar = 4-MeOOC₆H₄, R = C₅H₁₁

Исходное соединение	Условия реакции	Соотношение 2:3	Общий выход, %
1a	HCl, AcOH	11:1	68
1a	TsOH, CH ₂ Cl ₂	2.08:1	69
1b	HCl, AcOH	11:1	59
1b	TsOH, CH ₂ Cl ₂	2.09:1	86
1c	HCl, AcOH	1:0	43
1c	TsOH, CH ₂ Cl ₂	1.13:1	50
1d	HCl, AcOH	0:1	62
1d	TsOH, CH ₂ Cl ₂	1.55:1	31

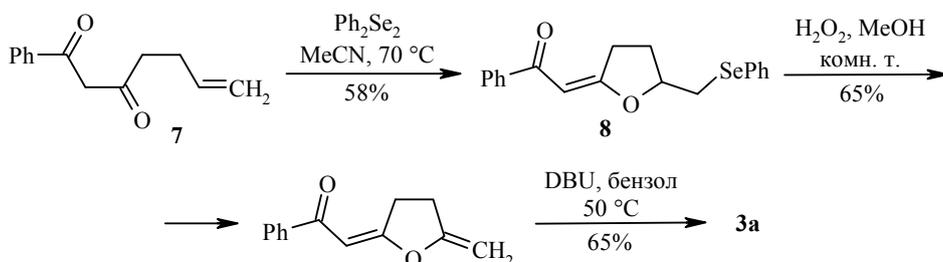
С небольшим выходом фенацилфуран **2a** может быть получен действием метанольного раствора гидроксида калия на 1-фенилгепта-2,4-диен-1,6-дион (**1a**) [5].



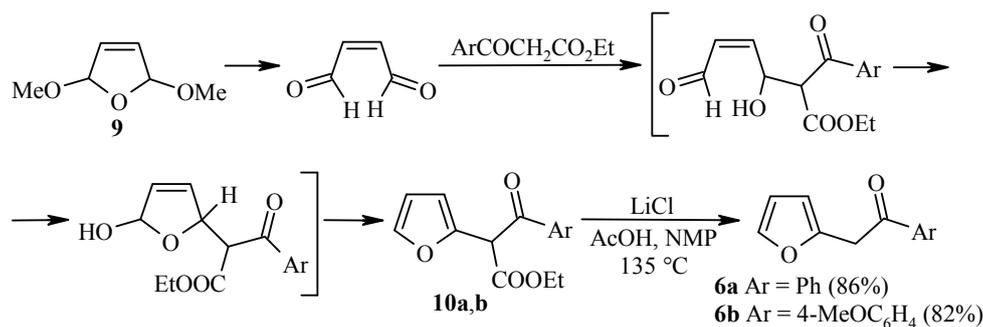
Обработка ДБУ 5-метокси-1-фенил-6-хлоргексан-1,3-диона (**5**), полученного из 1,3-бис(триметилсилил)енольного эфира **4** и 2,2-диметокси-1-хлорэтана, приводит к фурфурилфенилкетону **6a**. Этим методом могут быть синтезированы и производные (2-фурил)уксусной кислоты [6].



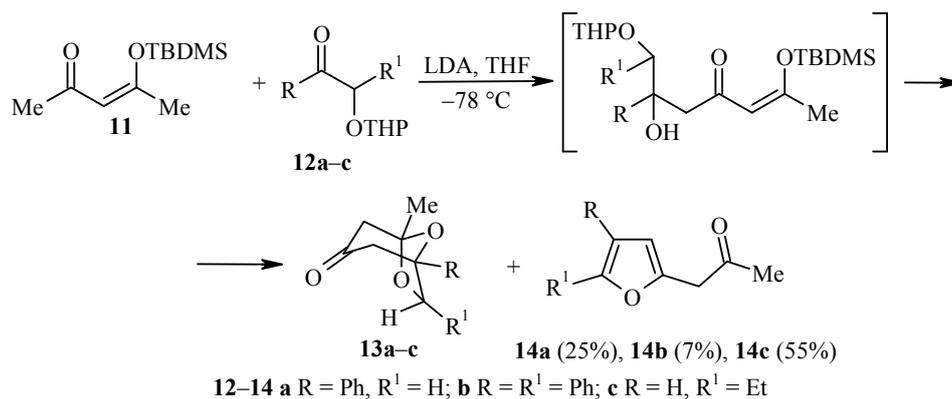
Фенацилфуран **3a** был получен в три стадии из 1-фенилгепт-6-ен-1,3-диона (**7**), который при нагревании с дифенилдиселенидом циклизуется с образованием производного тетрагидрофурана **8**. Дальнейшее окисление и катализируемая основанием таутомеризация дают кетон **3a** [7, 8].



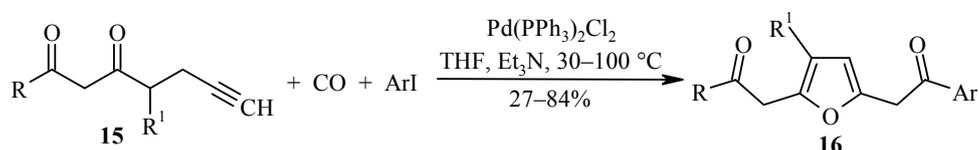
Взаимодействие 2,5-диметоксидигидрофурана **9** с ароилэтилацетатами приводит к образованию кетоэфиров **10a,b**, нагревание которых в *N*-метилпирролидоне (NMP) в присутствии уксусной кислоты и хлорида лития позволяет получить соединения **6a,b** с высокими выходами [9, 10].



Синтез замещённых фурфурилметилкетонов **14a-c** можно осуществить путём перекрёстной альдольной конденсации скрытого пентан-2,4-диона **11** с производными α -кетоспиртов **12a-c**. Однако соединения **14a-c** являются минорными продуктами данной реакции, приводящей в основном к диоксабициклооктанонам **13a-c**. Исключение составляет кетон **14c**, полученный в качестве единственного продукта [11].

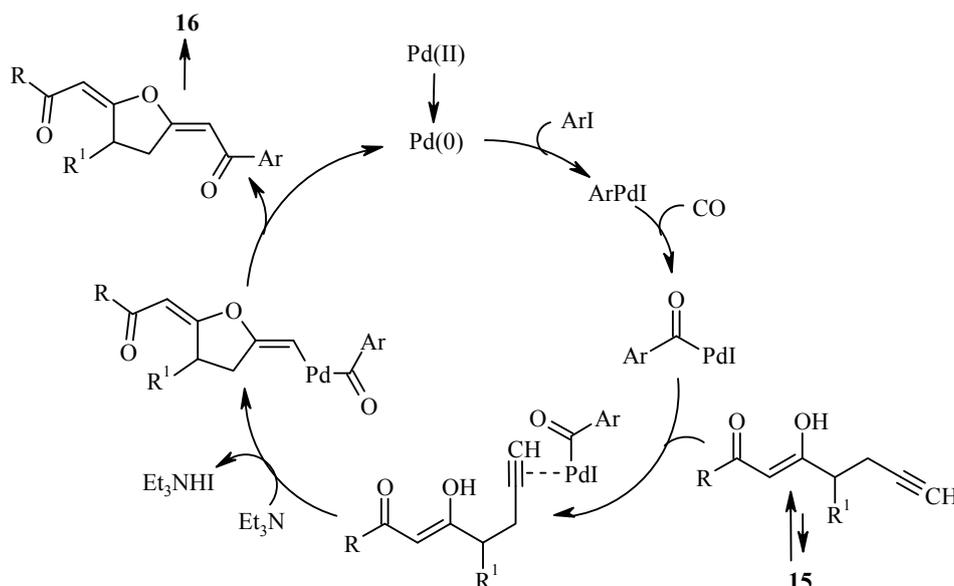


Недавно был описан метод получения фурфурил(алкил)кетонов **16**, заключающийся в последовательном карбонилировании и циклоизомеризации γ -пропинил-1,3-дикетонов **15** в присутствии комплексов палладия [12].

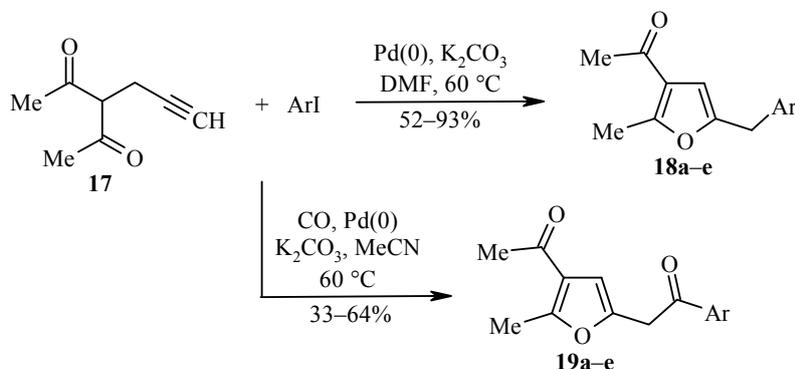


R = Me, *i*-Pr, циклопентадиенил, аллил, PhCH₂CH₂, 4-MeOC₆H₄CH₂CH₂, 4-ClC₆H₄CH₂CH₂,
 R' = H, аллил, 4-MeOC₆H₄CH₂CH₂, Ar = Ph;
 R = Me, R' = H, Ar = 2-MeC₆H₄, 4-MeC₆H₄, 4-PhC₆H₄, нафтил-1, 2-НОС₆H₄, 4-НОС₆H₄,
 2-ClC₆H₄, 3-ClC₆H₄, 4-ClC₆H₄, 3-F₃CC₆H₄, 4-F₃CC₆H₄, 4-F₃СOC₆H₄, тиенил-2

Предполагаемый механизм этой реакции включает образование ароилпалладиевых частиц, электрофильную активацию связи С≡С исходного дикетона **15** за счёт координации с ароилпалладиевым комплексом, циклизацию енольной формы дикетона **15** с участием активированной тройной связи и, наконец, восстановительное элиминирование.

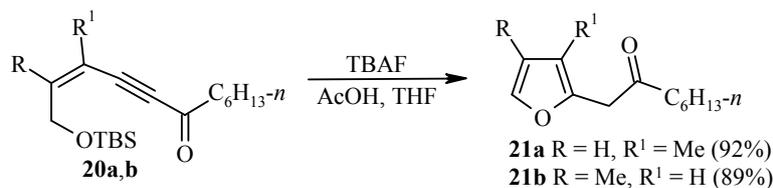


Это превращение представляет собой одну из модификаций известного метода синтеза фурурилкетонов из замещённого гекс-5-ин-2-она **17** и иодаренов [13, 14]. Так, при нагревании исходных реагентов в присутствии ацетата палладия и $P(o\text{-Tol})_3$ или $Pd(PPh_3)_4$ образуются 1-(5-бензил-2-метилфуран-3-ил)кетоны **18a–e**. Проведение этой же реакции в атмосфере монооксида углерода даёт фурурилкетоны **19a–e**.

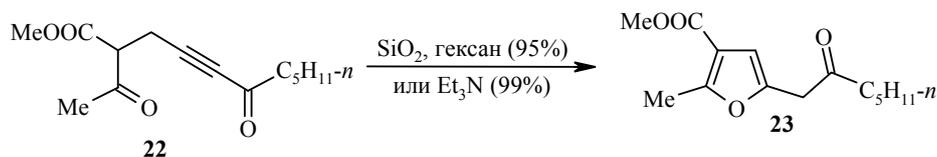


18, 19 a Ar = Ph, **b** Ar = 4-ClC₆H₄, **c** Ar = 3-FC₆H₄, **d** Ar = 4-MeOOC C₆H₄, **e** Ar = 3-F₃CC₆H₄

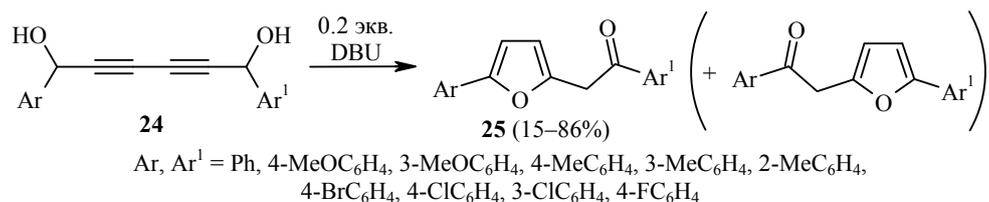
Циклизацией производных γ -алкинилаллильных спиртов **20a,b** при действии фторида тетрабутиламмония получены фурурилгексилкетоны **21a,b** [15].



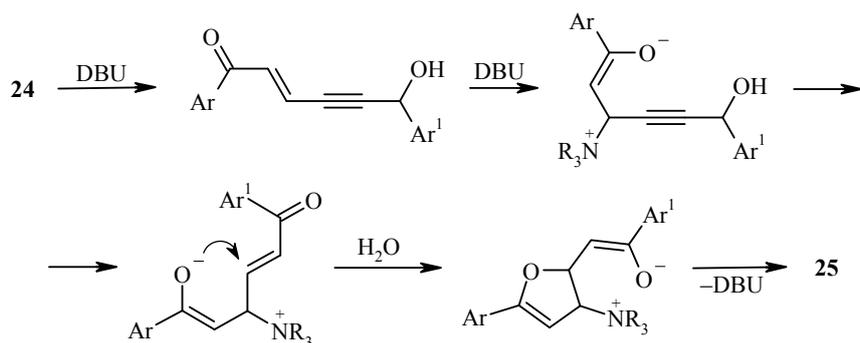
Длительное перемешивание дикетона **22** с силикагелем в гексане при комнатной температуре позволяет получить фуран **23** с выходом 95% [16]. Данный метод может быть использован для синтеза других замещённых фурурилари(алкил)кетонов [17].



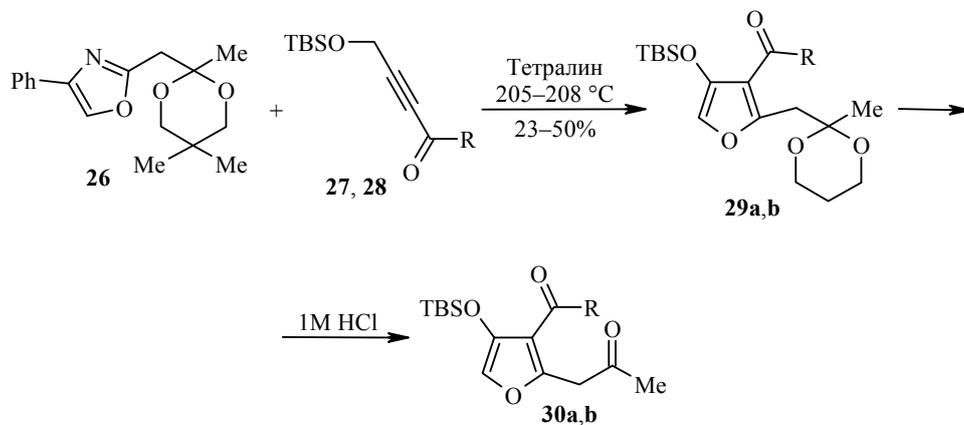
2-Арил-5-фенацилфураны **25** могут быть получены с хорошими выходами в результате катализируемого основаниями каскадного превращения гекса-2,4-диин-1,6-диола **24**. Наиболее эффективным катализатором является ДБУ [18]. При использовании в этой реакции несимметричных спиртов с заместителями в ароматических ядрах, отличающимися электронными свойствами, образуется, как правило, только один региоизомер. Лишь в некоторых случаях наблюдалось образование второго региоизомера в незначительных количествах.



Механизм превращения диола **24** в фенацилфуран **25** включает катализируемый основанием гидридный 1,3-сдвиг в одном из гидроксипропиновых остатков с образованием енона, сопряжённое присоединение ДБУ к связи С=С енона, изомеризацию второго гидроксипропинового фрагмента и последующую циклизацию [18].



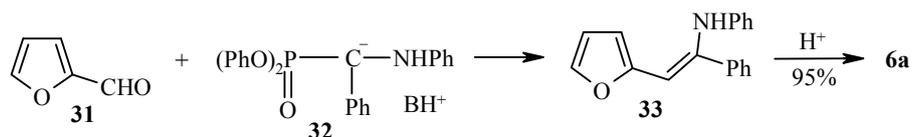
Нагревание оксазола **26** с эфиром **27** или альдегидом **28** даёт циклические кетали **29a,b** [19], кислотный гидролиз которых приводит к фурфурилалкилкетонам **30a,b** [20].



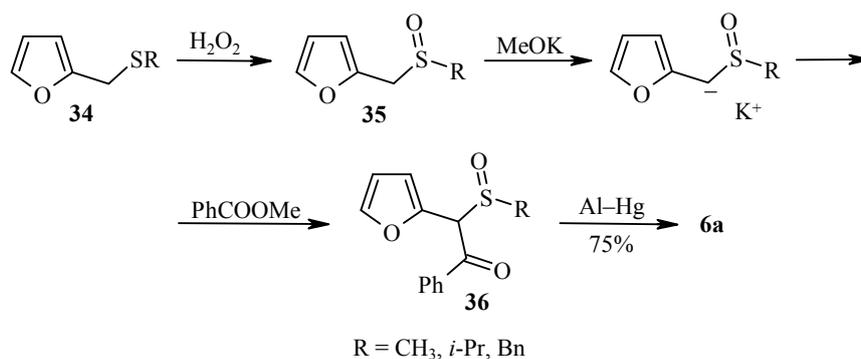
27, 29a, 30a R = OMe; **28, 29b, 30b** R = H

Модификация заместителей и прямая функционализация фуранового цикла

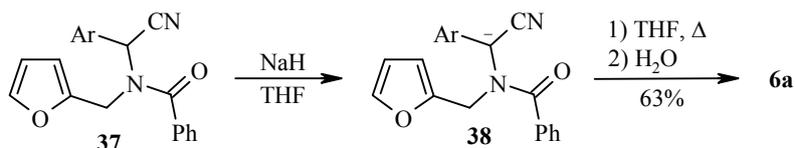
Большинство существующих методов синтеза фурфуриларил(алкил)кетонов основаны на прямой функционализации гетерокольца и трансформации имеющихся в фурановом кольце заместителей. Один из таких методов – гидролиз енамина **33**, полученного из фурфуrolа **31** и (α -фениламино)метилфосфоната **32** в присутствии основания [21].



Другой метод включает окисление фурфурилсульфидов **34** до сульфоксидов **35**, их конденсацию с метилбензоатом и восстановление полученных β -кетосульфоксидов **36** [22].

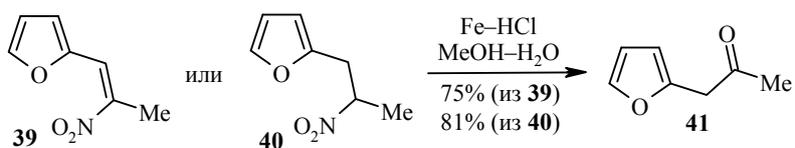


Описана также термическая перегруппировка цианаминопроизводных **37**, приводящая к образованию соединения **6a** [23].

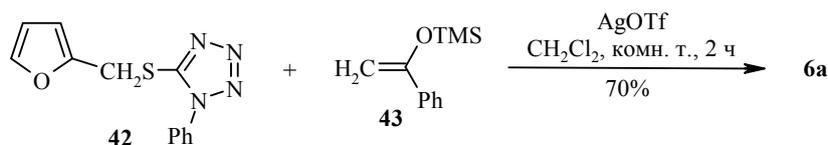


Перечисленные выше методы хорошо известны и не будут рассмотрены детально. Остановимся подробнее на способах синтеза фурфурил-арил(алкил)кетонов, описанных в течение последних лет.

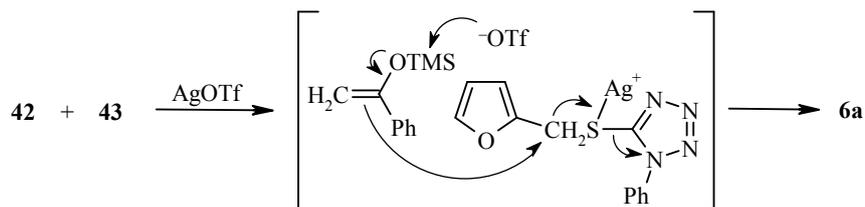
Простым и удобным способом получения данных соединений служит восстановление соответствующих нитропроизводных **39** или **40** в системе Fe-HCl с последующим гидролизом. Реакцию проводят при кипячении соединения **39** или **40** в смеси метанола и воды в течение 30 мин [24].



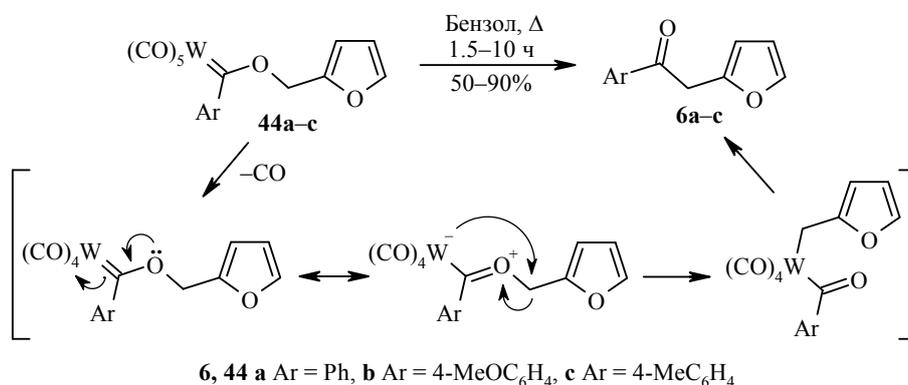
Также эффективна и катализируемая трифлатом серебра реакция фурфурилсульфида **42** с замещённым енолом **43** [25]. При выдерживании данных реагентов в дихлорметане при комнатной температуре фенацилфуран **6a** получен с выходом 70%.



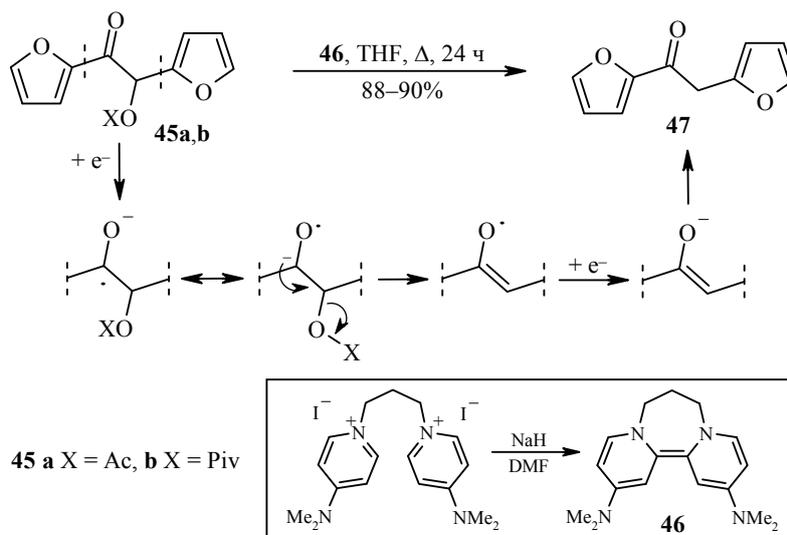
Образование кетона **6a**, очевидно, происходит по следующему механизму:



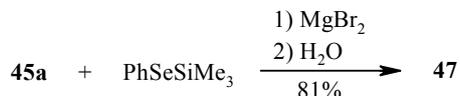
Описан метод синтеза алкиларилкетонов, основанный на термической перегруппировке комплексов карбена Фишера **44a-c** [26]. Например, кипячение комплексов **44a-c** в бензоле даёт фенацилфураны **6a-c** с умеренными или высокими выходами.



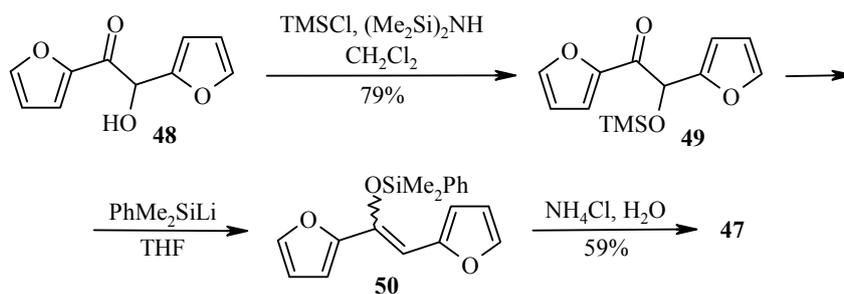
С высокими выходами фурфурилфурилкетон **47** образуется из производных α -кетоспиртов **45a,b**. Так, описано восстановление **45a,b** до фурфурилфурилкетона **47** с помощью соединения **46**, получаемого *in situ* из биспиридиниевой соли [27]. Превращение начинается с одноэлектронного переноса и протекает согласно приведённой ниже схеме.



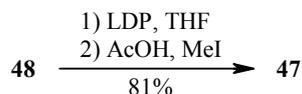
Соединение **47** также было получено действием на соединение **45a** (триметилсилил)фенилселенида в присутствии бромида магния с последующим гидролизом [28].



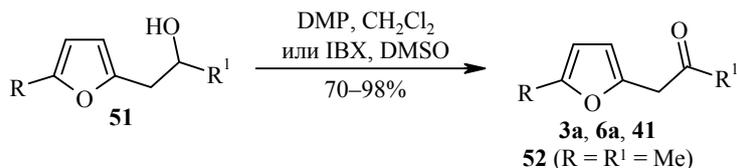
Другая схема синтеза фурфурилфурфилкетона **47** включает следующие три стадии с суммарным выходом ~47%: синтез триметилсилильного эфира **49** из α -гидроксикетона **48**, взаимодействие эфира **49** с диметилфенилсилллитием с образованием соединения **50** и кислотный гидролиз [29].



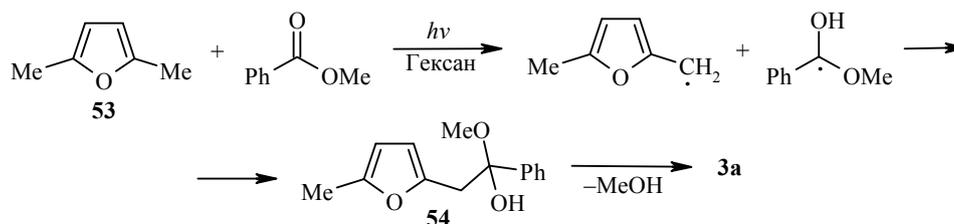
Превращение α -гидроксикетона **48** в кетон **47** удобнее проводить с дифенилфосфидом лития (LDP). В этом случае обе стадии превращения осуществляют в однореакторном режиме, фурфурилфурфилкетон **47** образуется с выходом 81% [30].



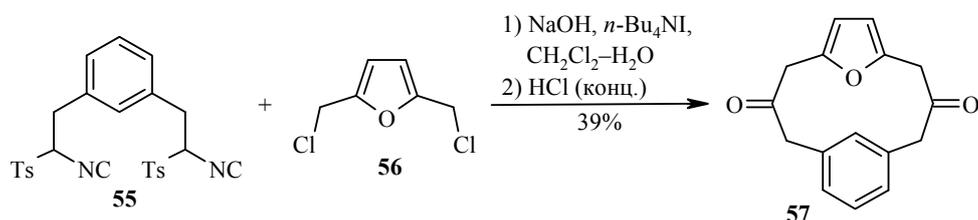
Гидроксильная группа спиртов **51** может быть окислена до карбонильной с помощью 2-иодоксибензойной кислоты (IBX) или реагента Десс–Мартина (DMP) [31]. Выходы соответствующих кетонов **3a**, **6a**, **41**, **52** превышают 70%.



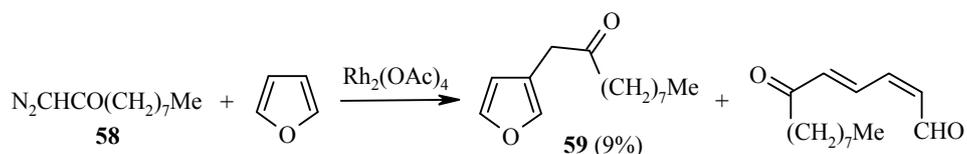
После облучения 2,5-диметилфурана **53** в присутствии метилбензоата в гексане из смеси образующихся продуктов с низким выходом был выделен фенацилфуран **3a**.



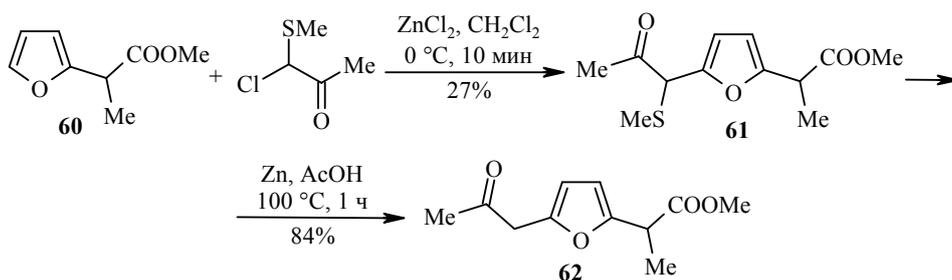
Взаимодействие соединения **55** с 2,5-бис(хлорметил)фураном **56** в условиях межфазного катализа и последующий кислотный гидролиз приводят к образованию дикетона **57** [33].



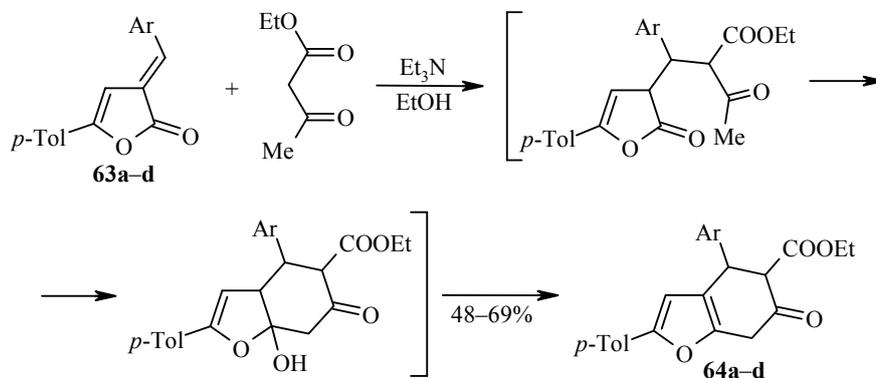
Реакция 1-диазо-2-деканона **58** с фураном в присутствии тетраацетата родия даёт смесь веществ, в том числе 3-фурилметилоктилкетон **59** с выходом 9%. Основным направлением реакции является раскрытие фуранового цикла [34].



Описан синтез фурфурилалкилкетона **62**, основанный на алкилировании фурана **60** и последующем восстановительном десульфировании производного **61** [35]. Недостаток этого метода – невысокий выход продукта **61** на первой стадии.

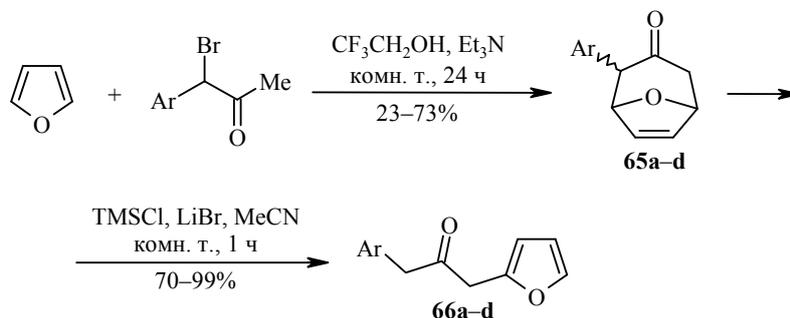


Взаимодействие 3-(арилметилен)фуранонов **63a–d** с ацетоуксусным эфиром даёт циклические кетоны **64a–d**. Реакцию проводят либо при нагревании реагентов в этаноле, либо при микроволновом облучении [36].



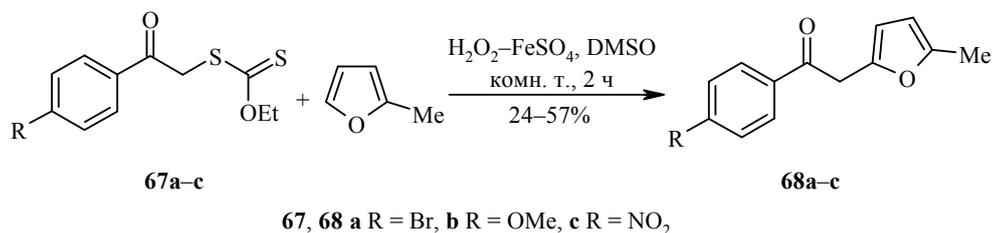
63, 64 a Ar = 2-ClC₆H₄, **b** Ar = 2-O₂NC₆H₄, **c** Ar = 3-MeOC₆H₄, **d** Ar = 3-HO-4-MeOC₆H₃

Раскрытие цикла в 8-оксабицикло[3.2.1]окт-6-ен-3-онах **65a–d** при обработке триметилсилилхлоридом приводит к кетонам **66a–d** [37].



65, **66 a** Ar = 2-MeOC₆H₄, **b** Ar = 2-Br-4,5-(MeO)₂C₆H₂, **c** Ar = 5-Br-2,3,4-(MeO)₃C₆H₃,
d Ar = 3,4-(MeO)₂C₆H₃

Очевидно, что большинство из перечисленных способов имеют свои ограничения: включают несколько стадий, требуют жёстких условий или труднодоступных реагентов. Однако недавно мы показали, что фурфуриларилокетоны могут быть получены прямым введением фенацильной группы в фурановый субстрат. Так, фенацилксантогенаты **67a–c** алкилируют 2-метилфуран в условиях реакции Фентона, давая фенацилфураны **68a–c** с выходами 24–57% [38]. В качестве алкилирующих агентов можно использовать фенацилоидиды [39].



67, **68 a** R = Br, **b** R = OMe, **c** R = NO₂

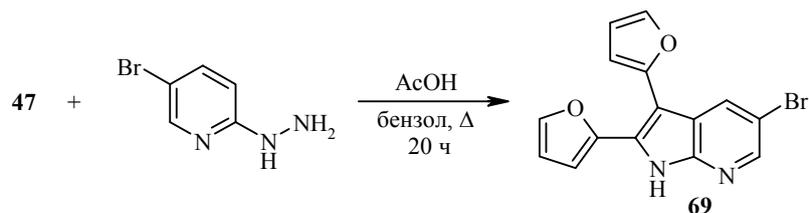
Простота осуществления реакции и доступность исходных соединений делают данный способ ценной альтернативой существующим методам синтеза фурфуриларилокетонов.

СИНТЕЗ КАРБО- И ГЕТЕРОЦИКЛОВ НА ОСНОВЕ ФУРФУРИЛАРИЛ(АЛКИЛ)КЕТОНОВ

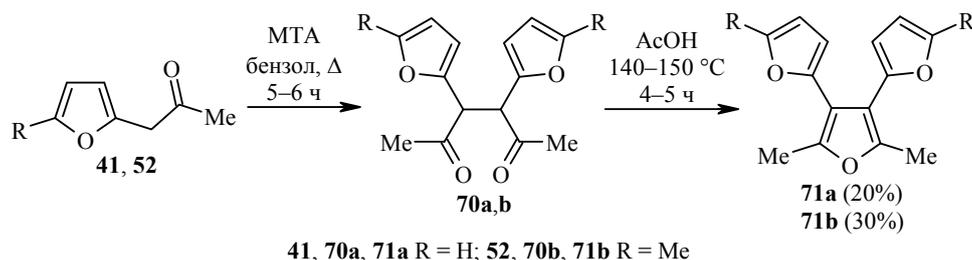
Реакции с сохранением фуранового цикла

В литературе описаны гетероциклизации фурфуриларил(алкил)кетонов, в которых принимают участие лишь боковые заместители, а фурановое кольцо остается неизменным. Ниже приведены примеры таких превращений.

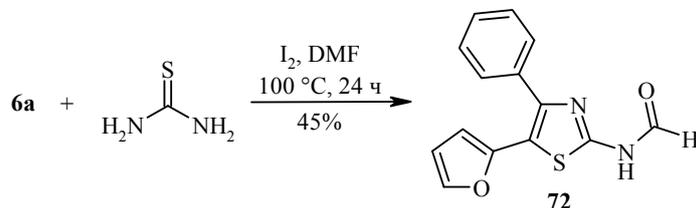
Так, реакция фурфурилфурилкетона **47** с 5-бромпиридил-2-гидразином в бензоле в присутствии уксусной кислоты даёт 1*H*-пирроло[2,3-*b*]пиридин **69** с низким выходом [40].



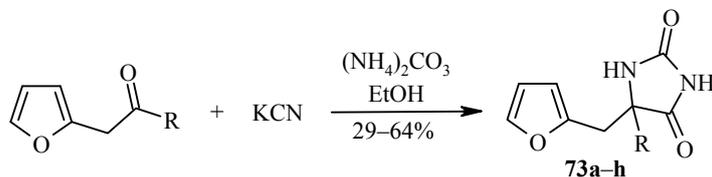
При кипячении фурфуралкилкетонов **41** и **52** с триацетатом марганца (МТА) в бензоле с невысоким выходом образуются дикетоны **70a,b**. Нагревание последних в уксусной кислоте ведёт к замыканию фуранового кольца и образованию 2,5-диметил-3,4-дифурилфуранов **71a,b** [41].



Производное 5-фурилтиазола **72** было получено с выходом 45% при взаимодействии фенацилфурана **6a** с тиомочевинной в присутствии иода в диметилформамиде [42]. Следует отметить, что ациламинотиазолы находят применение при лечении неврологических заболеваний, таких как болезни Альцгеймера, Паркинсона, Хантингтона, склероз, депрессии и т. д.

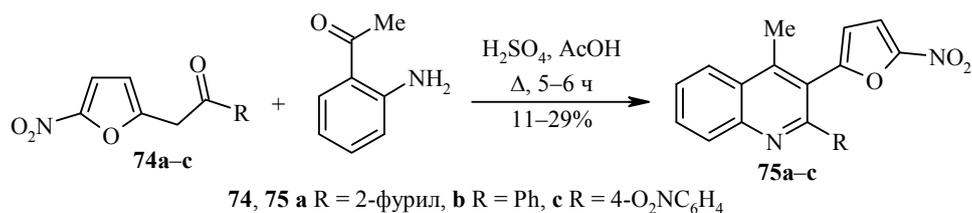


Реакция фурфуралкилкетонов с карбонатом аммония и цианидом калия приводит к имидазолидин-2,4-дионам **73a-h** с хорошими или умеренными выходами [43].

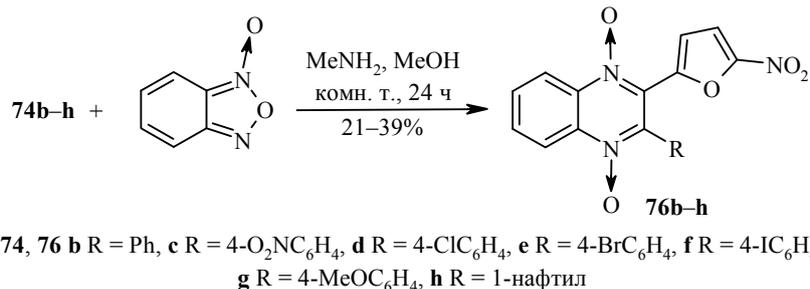


73 a R = Me, **b** R = Et, **c** R = *n*-Pr, **d** R = *i*-Pr, **e** R = *n*-Bu, **f** R = *i*-Bu, **g** R = *s*-Bu, **h** R = *n*-C₅H₁₁

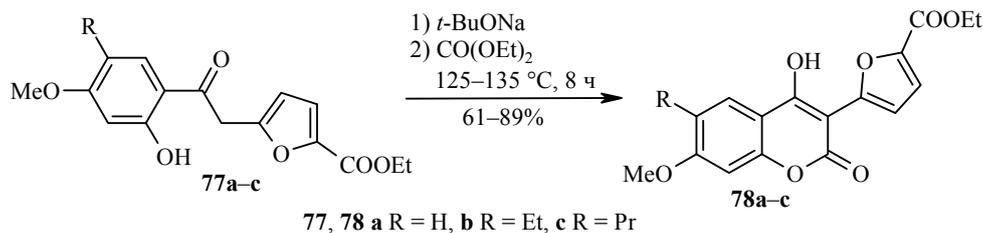
При кипячении (5-нитрофурил)арилкетонов **74a-c** с 2-аминоацетофеноном в уксусной кислоте в присутствии серной кислоты образуются с выходами 11–29% 3-(5-нитрофуран-2-ил)-4-метилхинолины **75a-c**, обладающие антибактериальной активностью [44].



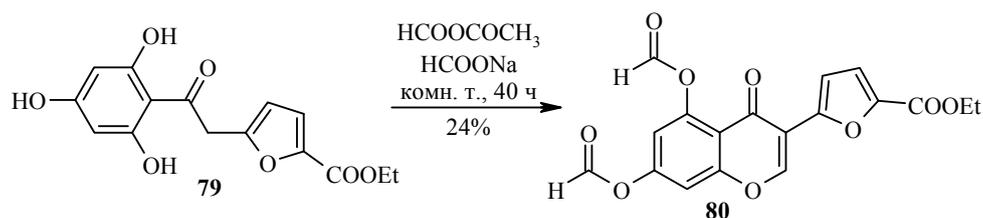
Те же авторы предложили простой метод синтеза *N,N'*-диоксидов замещённых хиноксалинов **76b–h** из фенацилфуранов **74b–h** и бензофураксана. Превращение протекает при комнатной температуре в течение суток. Хиноксалины **76b–h** проявляют антибактериальные свойства [45].



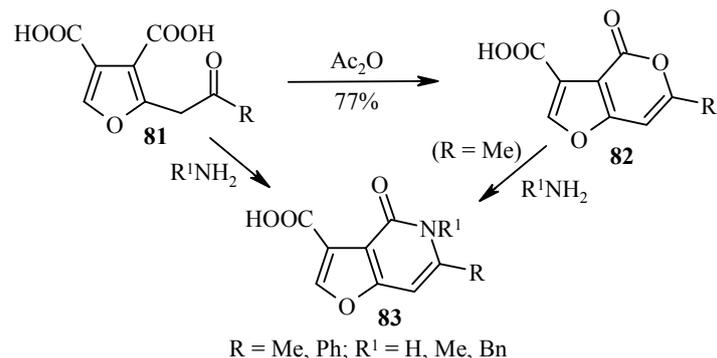
Замещённые 4-гидрокси-3-фурилкумарины **78a–c** образуются при последовательном действии на фенацилфураны **77a–c** основанием и диэтилкарбонатом [46].



Взаимодействие фенацилфурана **79** с уксусно-муравьиным ангидридом и формиатом натрия при комнатной температуре в течение 40 ч даёт хромон **80** [47, 48].

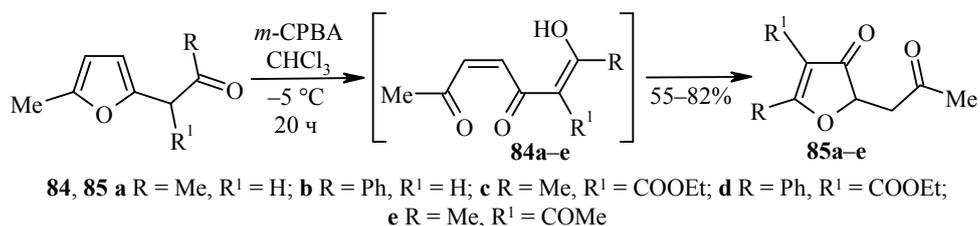


Обработка фурфурил(алкил)кетон**ов** **81**, содержащих в положении 3 фуранового цикла карбоксильную группу, уксусным ангидридом ведёт к аннелированию пиранового кольца к исходной гетеросистеме и образованию с высокими выходами 4*H*-фуро[3,2-*c*]пиран-4-онов **82**. Кипячение последних с аминами даёт фуро[3,2-*c*]пиридин-4(5*H*)-оны **83**, которые также могут быть синтезированы прямым взаимодействием соединений **81** и аминов или аммиака [49]. При этом, как утверждают авторы, соединение **83** образуется практически с количественным выходом.

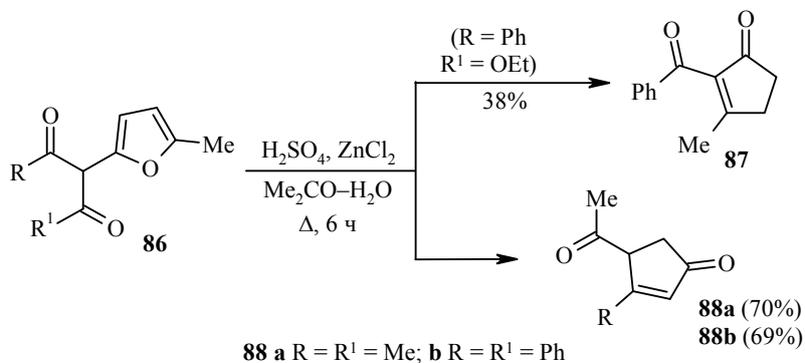


Реакции с раскрытием фуранового цикла

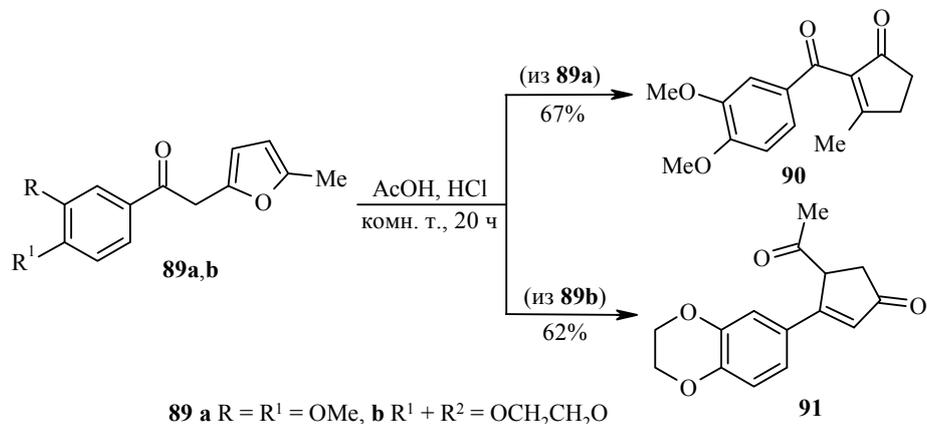
В синтезе новых карбо- и гетероциклов на основе фурфурил(алкил)-кетонов может быть использована способность фуранового кольца к раскрытию и рециклизации. Однако примеры подобных превращений пока немногочисленны. Так, обработка фурфурил(алкил)кетонов *m*-хлорнадбензойной кислотой (*m*-CPBA) позволяет получать в одну стадию замещённые фураноны **85a–e**. Реакция протекает через окислительное раскрытие фуранового кольца и промежуточное образование карбонильного соединения **84a–e** [50]. В недавней работе [39] было показано, что первую стадию указанного превращения удобно проводить в условиях фотоокисления.



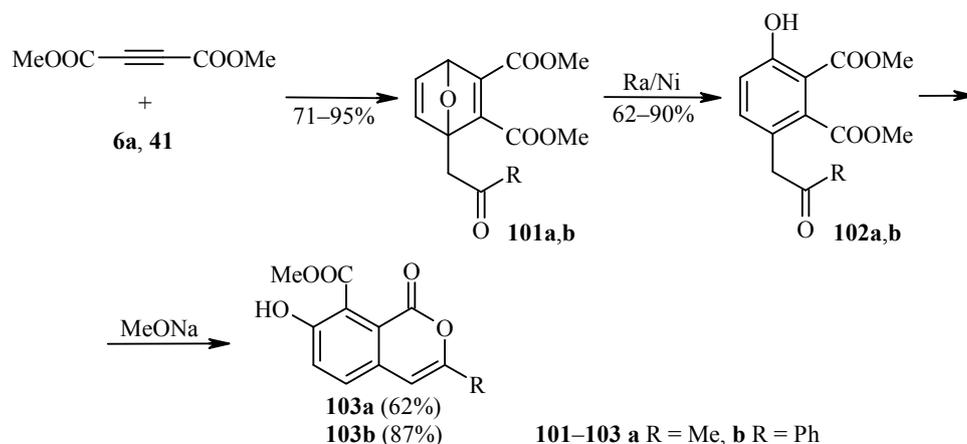
Замещённые циклопентеноны **87** и **88a,b** были получены действием на фурфурил(алкил)кетоны **86** серной кислотой в присутствии хлорида цинка. При этом симметричные производные **86** (R = R') дают лишь продукт **88**, тогда как фураны, содержащие в боковой цепи сложноэфирную группу (R = Ph, R' = OEt), образуют смесь изомерных продуктов **87** и **88b** [51].



При выдерживании фенацилфуранов **89a,b** в уксусной и соляной кислотах при комнатной температуре также наблюдается изомерия продуктов, подобная приведённой на схеме выше. При этом в каждом случае удаётся выделить в чистом виде лишь один (преобладающий) циклопентенон **90** и **91** соответственно [52].



Замещённые изохромены **103a,b** получены из фурфурил(алкил)-кетонов **6a, 41** в результате последовательности реакций циклоприсоединения с участием диметилового эфира ацетилендикарбоновой кислоты, раскрытия дигидрофуранового кольца в аддукте **101a,b** и циклизации образующегося при этом диметилфталата **102a,b** в присутствии основания [9].



Таким образом, фурфурил(алкил)кетоны могут выступать в качестве исходных соединений в синтезе различных карбо- и гетероциклов. С учётом доступности простейших производных фурана из природного сырья, разработка новых методов синтеза фурфурил(алкил)кетонов и поиск новых способов их синтетического использования представляют перспективное направление химии фурана.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ для поддержки молодых российских учёных и ведущих научных школ (грант МК-2367.2011.3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. V. Butin, V. T. Abaev, T. A. Stroganova, A. V. Guntov, in *Targets in Heterocyclic Systems: Chemistry and Properties*, O. A. Attanasi, D. Spinelli (Eds.), Società Chimica Italiana, Roma, 2001, vol. 5, p. 131.
2. G. Piancatelli, M. D'Auria, F. D'Onofrio, *Synthesis*, 867 (1994).
3. P. Gallezot, *Chem. Soc. Rev.*, **41**, 1538 (2012).
4. C. W. Ong, C.-M. Chen, S. S. Juang, *J. Org. Chem.*, **60**, 3135 (1995).
5. C. W. Ong, C. M. Chen, S. S. Juang, *J. Org. Chem.*, **59**, 7915 (1994).
6. E. Bellur, H. Görls, P. Langer, *Eur. J. Org. Chem.*, 2074 (2005).
7. M. Tiecco, L. Testaferri, M. Tingoli, F. Marini, *J. Org. Chem.*, **58**, 1349 (1993).
8. M. Tiecco, L. Testaferri, M. Tingoli, D. Bartoli, R. Balducci, *J. Org. Chem.*, **55**, 429 (1990).
9. M. Aicart, L. Mavoungou-Gomès, *J. Heterocyclic Chem.*, **22**, 921 (1985).
10. H. Y. Chen, S. Kim, J. Y. Wu, E. T. Birzin, W. Chan, Y. T. Yang, J. Dahllund, F. DiNinno, S. P. Rohrer, J. M. Schaeffer, M. L. Hammond, *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, **14**, 2551 (2004).
11. H. Hagiwara, H. Uda, *J. Chem. Soc., Perkin. Trans. I*, 283 (1985).
12. Y. Li, Z. Yu, *J. Org. Chem.*, **74**, 8904 (2009).
13. A. Arcadi, E. Rossi, *Tetrahedron Lett.*, **37**, 6811 (1996).
14. A. Arcadi, S. Cacchi, G. Fabrizi, F. Marinelli, L. M. Parisi, *Tetrahedron*, **59**, 4661 (2003).
15. J. A. Marshall, W. J. DuBay, *J. Org. Chem.*, **58**, 3602 (1993).
16. J. A. Marshall, D. Zou, *Tetrahedron Lett.*, **41**, 1347 (2000).
17. J. A. Marshall, E. A. Van Devender, *J. Org. Chem.*, **66**, 8037 (2001).
18. Y.-H. Wang, H. Liu, L.-L. Zhu, X.-X. Li, Z. Chen, *Adv. Synth. Catal.*, **353**, 707 (2011).
19. I. Efremov, L. A. Paquette, *Heterocycles*, **56**, 35 (2002).
20. L. A. Paquette, I. Efremov, *J. Am. Chem. Soc.*, **123**, 4492 (2001).
21. H. Zimmer, J. P. Bercz, *Liebigs Ann. Chem.*, **686**, 107 (1965).
22. Я. Л. Гольдфарб, А. П. Якубов, Л. И. Беленький, *ХГС*, 910 (1971). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **7**, 849 (1971).]
23. A. P. Stamegna, W. E. McEwen, *J. Org. Chem.*, **46**, 1653 (1981).
24. P. K. Pradhan, S. Dey, P. Jaisankar, V. S. Giri, *Synth. Commun.*, **35**, 913 (2005).
25. K. Takeda, K. Torii, H. Ogura, *Tetrahedron Lett.*, **31**, 265 (1990).
26. M. Nandi, K. M. Sathe, A. Sarkar, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 793 (1992).
27. S. P. Y. Cutulic, N. J. Findlay, S.-Z. Zhou, E. J. T. Chrystal, J. A. Murphy, *J. Org. Chem.*, **74**, 8713 (2009).
28. S. I. Pennanen, *Synth. Commun.*, **18**, 1097 (1988).
29. I. Fleming, R. S. Roberts, S. C. Smith, *J. Chem. Soc., Perkin. Trans. I*, 1215 (1998).
30. A. Leone-Bay, *J. Org. Chem.*, **51**, 2378 (1986).
31. A. S. K. Hashmi, M. Wölflle, *Tetrahedron*, **65**, 9021 (2009).
32. T. S. Cantrell, A. C. Allen, H. Ziffer, *J. Org. Chem.*, **54**, 140 (1989).
33. T. Shinmyozu, Y. Hirai, T. Inazu, *J. Org. Chem.*, **51**, 1551 (1986).
34. E. Wenkert, M. Guo, R. Lavilla, B. Porter, K. Ramachandran, J.-H. Sheu, *J. Org. Chem.*, **55**, 6203 (1990).
35. H. Ishibashi, M. Ikeda, H. D. Choi, H. Nakagawa, Y. Ueda, Y. Tamura, *Chem. Pharm. Bull.*, **33**, 5310 (1985).
36. T. V. Anis'kova, A. Yu. Yegorova, V. V. Chadina, *Mendeleev Commun.*, **18**, 167 (2008).
37. J. Mann, P. D. Wilde, M. W. Finch, *Tetrahedron*, **43**, 5431 (1987).
38. В. Т. Абаев, К. В. Босикова, О. В. Сердюк, А. В. БУТИН, *ХГС*, 772 (2009). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **45**, 611 (2009).]

39. C. Gryparis, I. N. Lykakis, C. Efe, I.-P. Zaravinos, T. Vidali, E. Kladou, M. Stratakis, *Org. Biomol. Chem.*, **9**, 5655 (2011).
40. P. Aadal Nielsen, T. Brimert, A. Kristofferson, T. Linnanen, P. Sjö, WO Pat. Appl. 2004/16610.
41. Р. С. Мин, В. С. Аксенов, М. Г. Виноградов, Г. И. Никишин, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2315 (1981).
42. M. Larsen, A. Sams, G. Mikkelsen, B. Bang-Andersen, WO Pat. Appl. 2006/32273.
43. E. H. Sund, D. S. Hunter, *J. Heterocycl. Chem.*, **11**, 1123 (1974).
44. А. Танака, Т. Усуи, *Chem. Pharm. Bull.*, **28**, 1604 (1980).
45. А. Танака, Т. Усуи, *Chem. Pharm. Bull.*, **29**, 110 (1981).
46. В. П. Хиля, С. И. Ковалев, Н. С. Мирошниченко, А. В. Туров, *Химия природ. соединений*, № 1, 45 (1998).
47. В. Г. Пивоваренко, В. П. Хиля, *ХГС*, 625 (1991). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **27**, 496 (1991).]
48. В. Г. Пивоваренко, В. П. Хиля, *ХГС*, 595 (1992). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **28**, 497 (1992).]
49. L. Mavoungou-Gomès, J. Bruneton, M. Aicart, *J. Heterocyclic Chem.*, **22**, 1233 (1985).
50. R. Antonioletti, F. Bonadies, A. Scettri, *Tetrahedron Lett.*, **28**, 2297 (1987).
51. R. D'Ascoli, M. D'Auria, C. Iavarone, G. Piancatelli, A. Scettri, *J. Org. Chem.*, **45**, 4502 (1980).
52. О. В. Сердюк, В. Т. Абаев, А. В. Бутин, *ХГС*, 1102 (2011). [*Chem. Heterocycl. Compd.*, **47**, 906 (2011).]

Южный федеральный университет,
ул. Зорге, 7, Ростов-на-Дону 344090, Россия
e-mail: oserduke@mail.ru

Поступило 24.03.2012

^a Северо-Осетинский государственный университет
имени К. Л. Хетагурова,
ул. Ватутина, 46, Владикавказ 362025,
Республика Северная Осетия-Алания, Россия
e-mail: chalikidi@gmail.ru

^b НИИ ХГС Кубанского государственного
технологического университета,
ул. Московская, 2, Краснодар 350072, Россия
e-mail: alexander_butin@mail.ru

^в Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
ул. Букирева, 15, Пермь 614990, Россия
e-mail: alexander_butin@mail.ru