

В. В. Залесов, А. Е. Рубцов

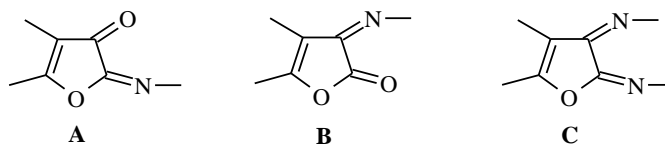
**СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
N-ЗАМЕЩЕННЫХ 2(3)-ИМИНО-2,3-ДИГИДРОФУРАН-3(2)-ОНОВ
(ОБЗОР)**

В обзоре обобщены литературные данные по методам синтеза, строению и химическим свойствам N-замещенных 2(3)-имино-2,3-дигидрофуран-3(2)-онов по 2002 г.

Ключевые слова: 2,3-диимино-2,3-дигидрофураны, N-замещенные 2-имино-2Н-фуран-3-оны, 3-имино-3Н-фуран-2-оны, спектральные характеристики, химические превращения.

Первые сведения о синтезе фуранового цикла, содержащего карбонильную и иминную функции соответственно в положении 3 и 2 гетероцикла, были опубликованы сто лет назад и относились к синтезу 2-гидроксимино-2Н-бензо[*b*]фуран-3-она [1]. К настоящему времени появился ограниченный, но очень разнообразный материал по синтезу и химическим превращениям иминопроизводных фурана.

Данный обзор посвящен рассмотрению методов синтеза и химических превращений N-замещенных 2-имино-2Н-фуран-3-онов (А), 3-имино-3Н-фуран-2-онов (В) и 2,3-дииминопроизводных 2,3-дигидрофурана (С).



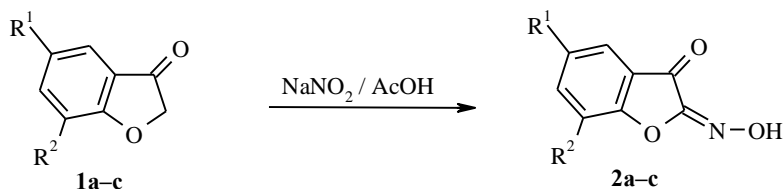
В обзор включены иминопроизводные собственно 2,3-дигидрофуран-диона, а также иминопроизводные его конденсированных бензо[*b*]-, фенантро[9,10-*b*]- и других аналогов.

**1. МЕТОДЫ СИНТЕЗА N-ЗАМЕЩЕННЫХ
2(3)-ИМИНО-2(3)Н-ФУРАН-3(2)-ОНОВ И 2,3-ДИИМИНО-2,3-ДИГИДРОФУРАНОВ**

Методы получения N-замещенных иминопроизводных фурана можно разделить на две группы: методы, основанные на введение иминофункции в уже имеющийся фурановый цикл, и методы построения фуранового цикла с R-иминогруппой в положении 2 или 3.

1.1. Синтезы на основе фуранового гетероцикла

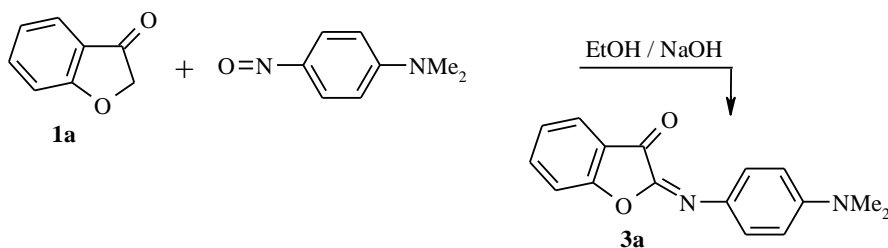
Хронологически первыми были работы, посвященные синтезу 2-оксимов 2Н-бензо[*b*]фуран-3-онов **2a–c** [1–4]. 2-Оксимы получают взаимодействием с азотистой кислотой кумаран-3-онов **1a–c**, имеющих активированную метиленовую группу.



1, 2 a $R^1 = \text{H}, R^2 = \text{H}$, **b** $R^1 = \text{Me}, R^2 = \text{H}$; **c** $R^1 = R^2 = \text{Br}$

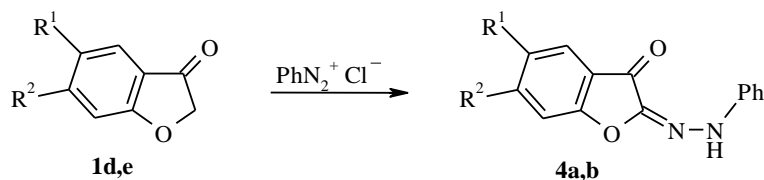
Подобным образом получены 2-оксимы, незамещенные в ароматическом кольце **2a** [1], 5-метил- **2b** [2, 3] и 5,7-дибромзамещенные **2c** [4] производные 2Н-бензо[*b*]фуран-3-она.

Реакцией кумаран-3-она (**1a**) с 4-нитрозо-*N,N*-диметиланилином был получен 2-(4-*N,N*-диметиламинофенилимино)-2Н-бензо[*b*]фуран-3-он (**3a**) [5].



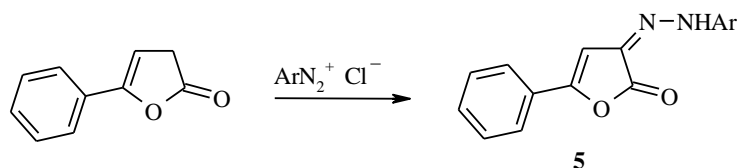
Аналогичной реакцией кумаран-3-она (**1a**) с нитрозобензолом в 1972 г. был получен 2-фенилимино-2Н-бензо[*b*]фуран-3-он (**3b**) с выходом 36% [6].

По активированной метиленовой группе кумаран-3-онов **1d,e** протекает и реакция сочетания с хлоридом фенилдиазония с образованием соответственно 5-метил-2-фенилгидразоно-2Н-бензо[*b*]фуран-3-она (**4a**) [7] и 6-метокси-2-фенилгидразоно-5-хлор-2Н-бензо[*b*]фуран-3-она (**4b**) [8].

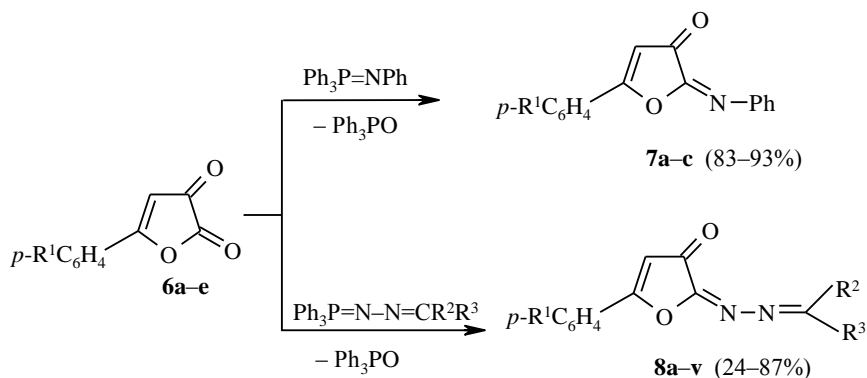


4 a $R^1 = \text{Me}, R^2 = \text{H}$; **b** $R^1 = \text{Cl}, R^2 = \text{MeO}$

Позднее данная реакция была использована для введения гидразонной функции в положение 3 фуранового цикла и синтеза 3-арилгидразоно-5-фенил-3Н-фуран-2-онов **5** [9].



Базовым гетероциклом для синтеза 2-иминопроизводных фуран-3-онов могут служить 5-арил-2,3-дигидрофуран-2,3-дионы **6a–e**. Так, взаимодействием фурандионов **6** с N-фенилтрифенилфосфинимином или трифенилфосфоранилиденгидразоном альдегидов и кетонов (трифенилфосфазины) получены соответственно 5-арил-2-фенилимино-2Н-фуран-3-оны **7a–e** [10, 11] и замещенные 5-арил-2-метиленидгидразоно-2Н-фуран-3-оны **8a–v** [12–15].



6 a R¹ = H, **b** R¹ = Me, **c** R¹ = MeO, **d** R¹ = Cl, **e** R¹ = Br; **7 a** R¹ = Me, **b** R¹ = Cl, **c** R¹ = Br;
8 a R¹ = Me, R² = R³ = H; **b** R¹ = Cl, R² = R³ = H; **c** R¹ = Br, R² = R³ = H; **d** R¹ = Me, R² = R³ = Ph;
e R¹ = Cl, R² = R³ = Ph; **f** R¹ = Br, R² = R³ = Ph; **g** R¹ = Me, R² = H, R³ = PhCO; **h** R¹ = MeO,
R² = H, R³ = PhCO; **i** R¹ = Cl, R² = H, R³ = PhCO; **j** R¹ = Br, R² = H, R³ = PhCO; **k** R¹ = Cl,
R² = H, R³ = PhCH₂O; **l** R¹ = Br, R² = H, R³ = PhCH₂O; **m** R¹ = Me, R² = H, R³ = PhCH₂O;
n R¹ = MeO, R² = H, R³ = PhCH₂O; **o** R¹ = Br, R² = H, R³ = PhCH₂O; **p** R¹ = Me,
R² = H, R³ = 1-AdCO; **q** R¹ = Cl, R² = H, R³ = 1-AdCO; **r** R¹ = H, R² = H, R³ = EtOCO;
s R¹ = Me, R² = H, R³ = EtOCO; **t** R¹ = MeO, R² = H, R³ = EtOCO; **u** R¹ = Cl, R² = H,
R³ = EtOCO; **v** R¹ = Br, R² = H, R³ = EtOCO

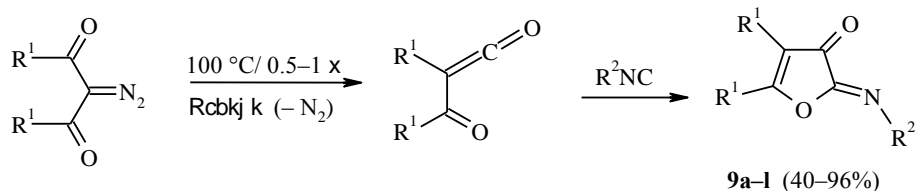
Образование 2-иминофуран-3-онов **7** и **8** по типу реакций Виттига и Штаудингера отличается тем, что при наличии в структуре кетонного карбонила реакция протекает по лактонной карбонильной группе гетероцикла. Подобное направление атаки фосфинимином и трифенилфосфазинами авторы объясняют особенностями распределения электронной плотности в 2,3-диоксогетероцикле. Данное направление реакции трифенилфосфазинами с фурандионами сохраняется и при замещении атома водорода в положении 4 гетероцикла на атом хлора или брома [16].

1.2. Построение фуранового цикла с R-иминофункцией

В настоящее время разработаны препаративные методы построения всех трех типов рассматриваемых структур: **A**, **B**, **C**.

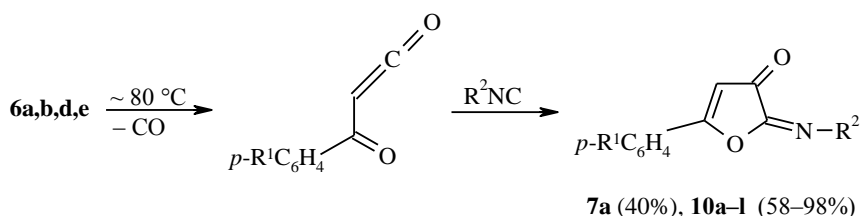
1.2.1. Синтез N-замещенных 2-имино-2H-фуран-3-онов **A**

Синтез иминофуранонов данного типа осуществляется взаимодействием ацилкетенов с изонитрилами. Методы отличаются способами генерирования ацилкетенов. Так, по данным работы [17], ацилкетены генерируют при термоллизе 2-диазо-1,3-дикетонных и далее с изонитрилами образуют N-замещенные 2-имино-4-R¹-5-R¹-2H-фуран-3-оны **9a-l**. Следует отметить, что авторы использовали в работе только симметричные диазодикетоны. Выходы иминофуранонов **9** составляют 40–96% и зависят, по-видимому, как от активности диена и диенофила в реакции [4+1]-циклоприсоединения, так и от скорости образования и стабильности ацилкетенов в процессе их формирования в условиях термолитической перегруппировки Вольфа.



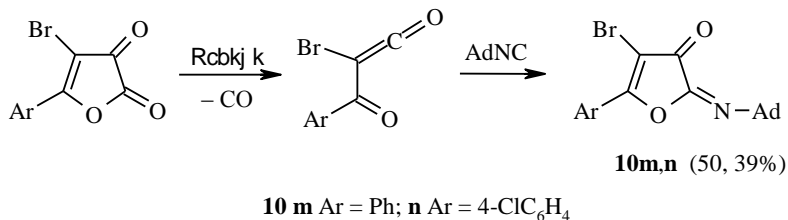
9 a R¹ = R² = Ph; **b** R¹ = 4-MeOC₆H₄, R² = Ph; **c** R¹ = Ph, R² = 2,6-Xyl; **d** R¹ = 4-MeOC₆H₄, R² = 2,6-Xyl; **e** R¹ = 4-ClC₆H₄, R² = 2,6-Xyl; **f** R¹ = Ph, R² = TosCH₂; **g** R¹ = 4-MeOC₆H₄, R² = 2,6-Xyl; **h** R¹ = 4-MeOC₆H₄, R² = цикло-C₆H₁₁; **i** R¹ = 4-ClC₆H₄, R² = цикло-C₆H₁₁; **j** R¹ = Ph, R² = цикло-C₆H₁₁; **k** R¹+R¹ = бифенил-2,2'-диил, R² = 2,6-Xyl; **l** R¹ = цикло-C₆H₁₁, R² = 2,6-Xyl

В несколько более мягких условиях при термоллизе фурандионов **6a,b,d,e** в растворах (CCl₄, бензол, CCl₄-октан и др.) генерируются ароилкетены, которые далее взаимодействуют с фенил-, *трет*-бутил-, тозилметил и 1-адамантизонитрилами, образуя N-фенил- **7a**, N-*трет*-бутил- **10a-d**, N-тозилметил- **10e-h** и N-(1-адамантил)замещенные 5-арил-2-имино-2H-фуран-3-оны **10i-l** [11, 18, 19].



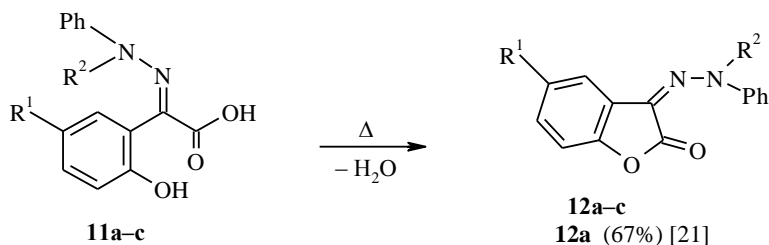
10 a R¹ = H, R² = *t*-Bu; **b** R¹ = Me, R² = *t*-Bu; **c** R¹ = Cl, R² = *t*-Bu; **d** R¹ = Br, R² = *t*-Bu; **e** R¹ = H, R² = TosCH₂; **f** R¹ = Me, R² = TosCH₂; **g** R¹ = Cl, R² = TosCH₂; **h** R¹ = Br, R² = TosCH₂; **i** R¹ = H, R² = Ad; **j** R¹ = Me, R² = Ad; **k** R¹ = Cl, R² = Ad; **l** R¹ = Br, R² = Ad

В работе [19] показано также, что при термолизе 5-арил-4-бром-2,3-дигидрофуран-2,3-дионов в присутствии 1-адамантилизоцианида (1 ч, ксилол) образуются 2-[N-(1-адамантил)имино]-5-арил-4-бром-2Н-фуран-3-оны **10m,n**.



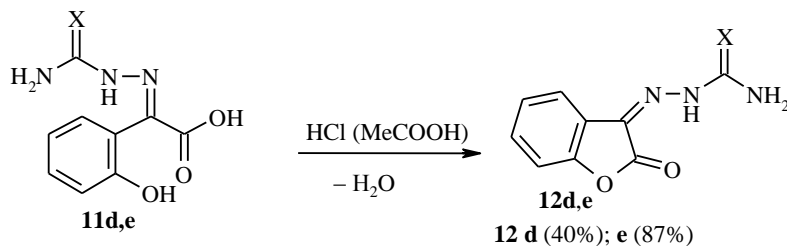
1.2.2. Синтез N-замещенных 3-имино-3Н-фуран-2-онов В

Построение данного гетероцикла осуществляют внутримолекулярной циклизацией 2-иминопроизводных *o*-гидроксибензилглиоксалевоы кислоты [6, 7, 20–25] или 2-иминопроизводных 4-R-2,4-диоксобутановых кислот [26–29]. Так, в работах [7, 21] описан синтез 3-фенилгидразоно-3Н-бензо[*b*]фуран-2-она (**12a**), 5-метил-3-фенилгидразоно-3Н-бензо[*b*]фуран-2-она (**12b**) [7] и 3-бензоилфенилгидразоно-5-метил-3Н-бензо[*b*]фуран-2-она (**12c**) [7] внутримолекулярной циклизацией соответствующих 2-иминопроизводных *o*-гидроксибензилглиоксалевоы кислоты **11a–c**.



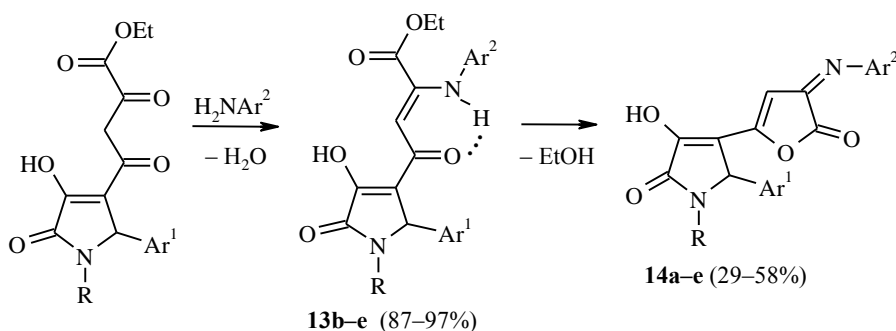
Известна серия работ [6, 21–24], посвященных синтезу и изучению химических превращений 3-семикарбазидо- (**12d**) [21] и 3-тиосемикарбазидо-3Н-бензо[*b*]фуран-2-онов (**12e**) [21–24].

Иминопроизводные кислот **11d,e** циклизуют при кипячении соответственно в ледяной уксусной [21] или концентрированной соляной кислоте [22–24]. Попытка синтеза соединения **12e** взаимодействием непосредственно бензо[*b*]фуран-2,3-диона с тиосемикарбазидом в водной среде завершилась образованием преимущественно кислоты **11e** [25].



11, 12 d X = O; e X = S

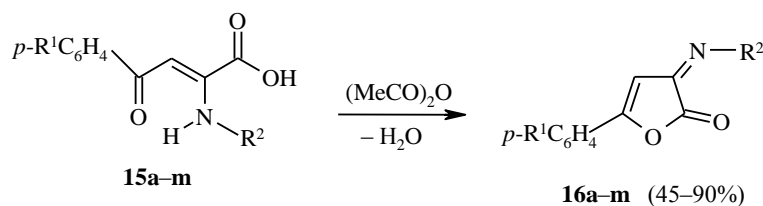
Внутримолекулярная циклизация 2-иминопроизводных 4-R-2,4-диоксо-бутановых кислот происходит самопроизвольно [26] при их нагревании либо под действием дегидратирующих агентов [27–29]. Так, пиррол-пируваты при нагревании с ариламинами (60 °C) образуют енамино-кетоны **13a–e**, которые при более сильном нагревании (150–220 °C) циклизуются в 3-арилимино-5-(1-R-5-арил-3-гидрокси-2-оксо-2,5-дигидропиррол-4-ил)-3H-фуран-2-оны **14a–e** [26].



13, 14 a Ar¹ = Ar² = Ph, R = Me; **b** Ar¹ = Ar² = R = Ph; **c** Ar¹ = 4-BrC₆H₄, Ar² = R = Ph;
d Ar¹ = 4-O₂NC₆H₄, Ar² = R = Ph; **e** Ar¹ = Ar² = R = 4-BrC₆H₄

Соединение **13a** авторам не удалось выделить, так как оно циклизуется в иминофуранон **14a** уже при 20 °C [26].

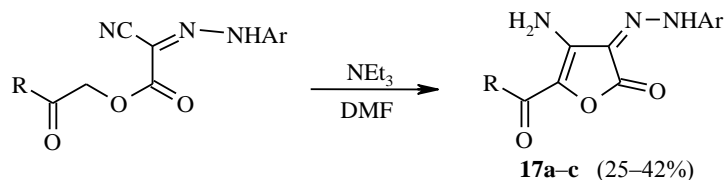
Более стабильными являются 2-ариламино- **15a–c**, 2-(1,5-диметил-3-оксо-2-фенил-2,3-дигидро-1H-пирозол-4-иламино)- **15d–h** и 2-дифенилметил-гидразинопроизводные **15i–m** 4-арил-4-оксобут-2-еновых кислот.



15, 16 a R¹ = Me, R² = Ph; **b** R¹ = Me, R² = 4-ClC₆H₄; **c** R¹ = H, R² = 1-нафтил; **d** R¹ = H, R² = 4-Ant; **e** R¹ = Me, R² = 4-Ant; **f** R¹ = MeO, R² = 4-Ant; **g** R¹ = Cl, R² = 4-Ant;
h R¹ = Br, R² = 4-Ant; **i** R¹ = H, R² = Ph₂C=N; **j** R¹ = Me, R² = Ph₂C=N;
k R¹ = MeO, R² = Ph₂C=N; **l** R¹ = Cl, R² = Ph₂C=N,
m R¹ = Br, R² = Ph₂C=N, Ant = 4-антипирил

Соединения **15a–m** гладко циклизируются в 5-арил-3-R-имино-3H-фуран-2-оны **16a–m** при нагревании в уксусном ангидриде [27–29].

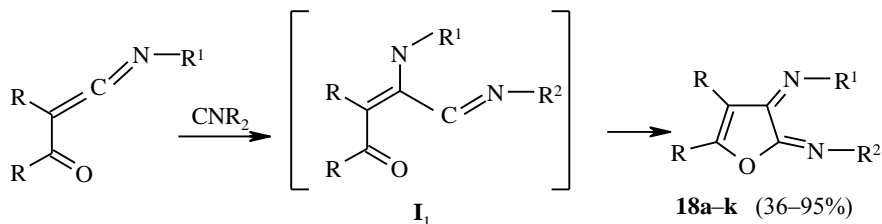
Ацилметилловые эфиры 2-арилгидразоно-2-цианоуксусных кислот под действием триэтиламина циклизируются в 4-амино-3-арилгидразоно-5-ацил-3H-фуран-2-оны **17a–c** [30].



17 a R = Ph, Ar = *o*-Tol; **b** R = Ph, Ar = 2-нафтил; **c** R = Me, Ar = *o*-Tol

1.2.3. Синтез 2,3-дииминопроизводных 2,3-дигидрофуранов C

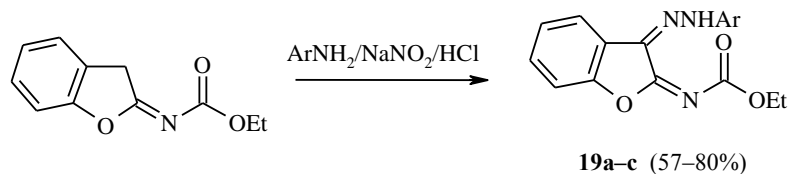
Реакция изонитрилов с α -ацилкетениминами приводит к образованию 2,3-дииминопроизводных 4,5-дизамещенных 2,3-дигидрофуранов **18a–k** [31].



18 a R¹ = 4-Tol, R² = 2,6-Xyl, R = Ph; **b** R¹ = 4-Tol, R² = 2,6-Xyl, R = 4-MeOC₆H₄;
c R¹ = 4-Tol, R² = R = Ph; **d** R¹ = 4-Tol, R² = Ph, R = 4-MeOC₆H₄; **e** R¹ = 4-Tol,
R² = цикло-C₆H₁₁, R = Ph; **f** R¹ = 4-Tol, R² = 2,6-Xyl, R = 4-ClC₆H₄; **g** R¹ = 4-Tol,
R² = 2,6-Xyl, R+R = бифенил-2,2'-диил; **h** R¹ = 4-Tol, R+R = бифенил-2,2'-диил,
R² = цикло-C₆H₁₁; **i** R¹ = 4-Tol, R+R = бифенил-2,2'-диил, R² = Ph; **j** R¹ = 4-Tol,
R+R = бифенил-2,2'-диил, R² = 2-Пу; **k** R+R = бифенил-2,2'-диил, R¹ = R² = 2,6-Xyl

Данным методом получены 4,5,N₍₂₎,N₍₃₎-тетраарил-2,3-дигидро-2,3-фурандиимины **18a–f** и N₍₂₎,N₍₃₎-диарилфенантро[9,10-*b*]фуран-2,3-диимины **18g–k** с выходами от 36 до 95% [31].

Диазотированием 2-этоксикарбонилиминобензо[*b*]фурана синтезируют 3-арилгидразоно-2-этоксикарбонилимино-2,3-дигидробензо[*b*]фураны **19a–c** [32].



19 a Ar = 2-NCC₆H₄; **b** Ar = 3-MeC₆H₄; **c** Ar = 1-yf a r b k

Кроме того, в работе [6] описан синтез 3-тиосемикарбазидо-2-фенил-имино-2,3-дигидробензо[*b*]фурана (**19d**), но уже на основании реакции собственно иминофуранона **3b** с тиосемикарбазоном.

2. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМИНОФУРАНОНОВ

ИК спектры N-замещенных 2-имино-2H-фуран-3-онов **A** характеризуются наличием полосы поглощения карбонильной группы C₍₃₎=O в области 1690–1738 см⁻¹, положение которой в спектре зависит от характера заместителей при иминном атоме азота и в положениях 4 и 5 гетероцикла. Так, полоса поглощения карбонильной группы C₍₃₎=O присутствует в ИК спектрах: иминофуранона **3b** при 1732 [6], иминофуранонов **7a–c**, **10a–e** – при 1710–1729 [10, 11], соединений **8a–v** – при 1710–1728 см⁻¹ [14,15], соединений **10m,n** – при 1690–1705 см⁻¹ [19]. Авторы работы [19] считают, что интенсивная полоса поглощения в области 1690–1705 см⁻¹ обусловлена наложением валентных колебаний связей C₍₃₎=O и C=N. В ИК спектрах соединений **9a–l** авторы фиксируют расщепленную полосу в области 1700 см⁻¹, но не приводят ее отнесение [17].

Спектры ЯМР ¹H соединений данного типа носят индивидуальный характер, и можно лишь выделить большую группу иминофуранонов **7a–c**, **8a–v**, **10a,n**, не имеющих заместителя в положении 4 гетероцикла. Синглет метинового протона в спектрах ЯМР ¹H данных соединений наблюдается при 5.98–6.91 м. д. (в CCl₄, CDCl₃, ДМСО-d₆) [10, 11, 14, 15, 19].

В спектре ЯМР ¹³C (CDCl₃) иминофуранона **9b** синглет атома углерода группы C₍₃₎=O проявляется при 172.30 м. д. [17].

В масс-спектрах иминофуранонов присутствуют пик молекулярного иона и пики фрагментных ионов [M–RNC]⁺, [R–NCO]⁺ [11, 17].

Широкий диапазон поглощения в ИК спектрах имеет лактонный карбонил N-замещенных 3-имино-3H-фуран-2-онов **B**. Так, полоса валентных колебаний группы C₍₂₎=O наблюдается в ИК спектрах иминофуранонов: **12d** при 1774 (ДМСО) [21], **12i** при 1769 [21, 22], **14a–e** при 1775–1790 [26], **16a–m** при 1773–1820 [27–29], **17a–c** при 1720–1740 см⁻¹ [30].

Для иминофуранона **10a** выполнены квантово-химические расчеты в приближении ППДП/2, согласно которым наиболее электронодефицитными атомами в молекуле являются атомы углерода C₍₅₎, C₍₃₎ и C₍₂₎, которые служат объектами атаки нуклеофильных реагентов [33].

3. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИМИНОФУРАНОНОВ

Наличие нескольких близких по электроотрицательности атомов углерода в структуре иминофуранонов определяет несколько направлений их реакций с нуклеофильными реагентами. Для иминофуранонов характерны реакции раскрытия цикла, рециклизации и ряд реакций, протекающих с участием связей C=N, а также функциональных групп.

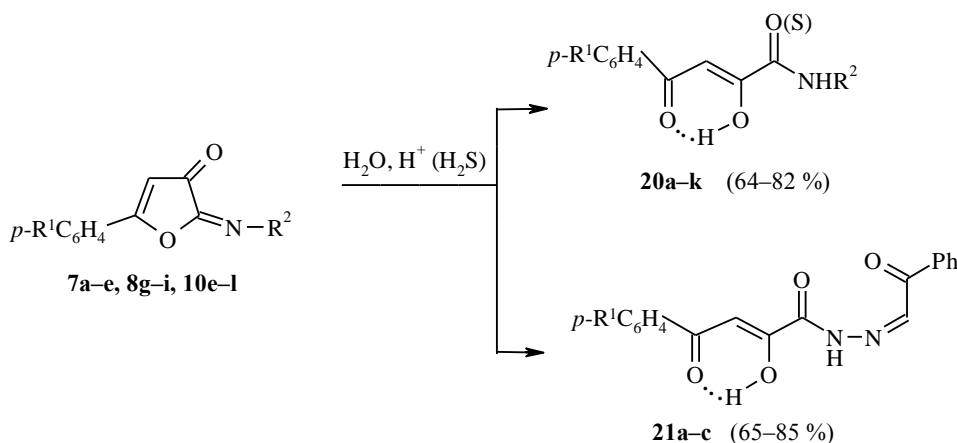
3.1. Реакции раскрытия цикла иминофуранонов

Раскрытие цикла иминофуранонов протекает в результате их гидролиза и аминолиза.

3.1.1. Гидролиз иминофуранонов

В зависимости от типа структуры **A**, **B**, **C** и характера заместителей иминофураноны существенно отличаются по стабильности в процессе гидролиза. 2-Иминофураноны **A** достаточно инертны по отношению к воде, но большинство из них медленно гидролизуются при хранении. Так, иминофураноны **3a,b** при хранении образуют соответственно анилид и 4-*N,N*-диметиламиноанилид *o*-гидроксифенилглиоксалево́й кислоты [6, 20, 21].

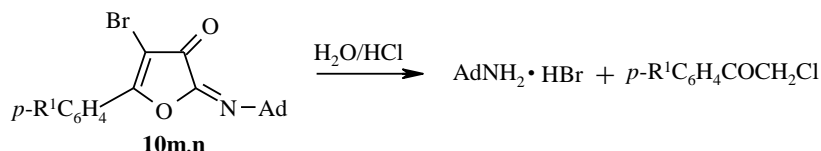
Кислотным гидролизом (диоксан – вода, каталитические количества HCl, 20–25 °C) иминофуранонов **7a–c**, **10e–l** и **8g–i** получены соответственно амиды **20a–k** [11, 18, 19, 34] и замещенные гидразиды **21a–c** [12–15] 4-арил-2-гидрокси-4-оксо-*Z*-бут-2-еновых кислот.



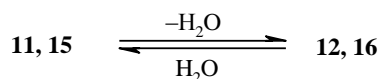
20 a $\text{R}^1 = \text{Me}, \text{R}^2 = \text{Ph}$; **b** $\text{R}^1 = \text{Cl}, \text{R}^2 = \text{Ph}$; **c** $\text{R}^1 = \text{Br}, \text{R}^2 = \text{Ph}$; **d** $\text{R}^1 = \text{H}, \text{R}^2 = \text{TosCH}_2$; **e** $\text{R}^1 = \text{Me}, \text{R}^2 = \text{TosCH}_2$; **f** $\text{R}^1 = \text{Cl}, \text{R}^2 = \text{TosCH}_2$; **g** $\text{R}^1 = \text{Br}, \text{R}^2 = \text{TosCH}_2$; **h** $\text{R}^1 = \text{H}, \text{R}^2 = \text{Ad}$; **i** $\text{R}^1 = \text{Me}, \text{R}^2 = \text{Ad}$; **j** $\text{R}^1 = \text{Cl}, \text{R}^2 = \text{Ad}$; **k** $\text{R}^1 = \text{Br}, \text{R}^2 = \text{Ad}$. **21 a** $\text{R}^1 = \text{Me}$; **b** $\text{R}^1 = \text{MeO}$; **c** $\text{R}^1 = \text{Cl}$

Под действием газообразного сероводорода 2-иминофураноны **10i-l** образуют N-(1-адамантил)амиды 4-арил-2-гидрокси-4-оксобут-3-еновых тиокислот **20h-k** [35].

Иначе ведут себя в указанных условиях кислотного гидролиза иминофураноны **10m,n**, претерпевающие глубокий распад до хлор-*n*-R¹-ацетофенонов и гидробромида 1-аминоадамантана [19].



Реакция дегидратации кислот **11a-c**, **15a-n**, протекающая с образованием 3-иминофуранонов **12a-c**, **16a-m**, обратима, и последние легко гидролизуются до исходных 2-иминопроизводных кислот [21–23, 27–29].

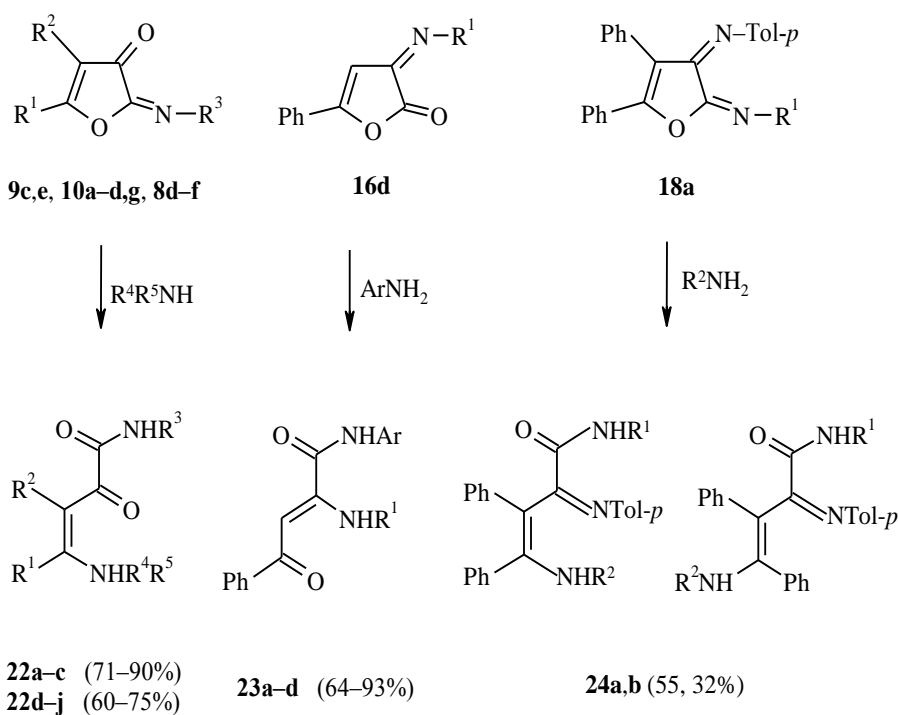


При кислотном гидролизе 2-иминофуранонов **9c,e**, имеющих заместитель в положении 4 гетероцикла, и 2,3-дииминофуранонов **18b,f,g,i** образуются только продукты рециклизации [17, 35] (см. раздел 3.2).

3.1.2. Раскрытие цикла иминофуранонов под действием NH- и SH-нуклеофилов

Для всех типов иминофуранонов имеются примеры раскрытия цикла под действием аммиака, первичных или вторичных аминов [11, 17, 33, 35–39].

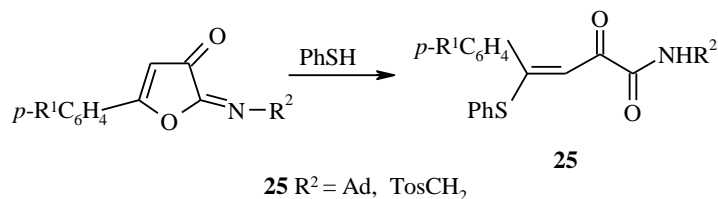
2-Иминофураноны **9c,e** с аммиаком и циклогексиламином [17], 2-иминофураноны **10a-d,g** с бензиламином и пиперидином [11, 33, 37] и иминофураноны **8d-f** с анилином и бензиламином [33, 38, 39] образуют соответственно амиды **22a-c** [17], **22d-j** [11, 33, 37] и гидразиды **22k-m** [33, 38, 39] N-замещенных 4-амино-4-арил-2-оксо-3-R²-бут-3-еновых кислот. 3-Иминофураноны **16d** под действием ариламинов дециклизуются с образованием ариламидов 2-(1,5-диметил-3-оксо-2-фенил-2,3-дигидро-1H-пирозол-4-иламино)-4-оксо-4-фенилбут-2-еновой кислоты **23a-d** [29]. Дииминофуран **18a** реагирует с циклогексиламином и *n*-толуидином с образованием 2,6-диметиланилидов N-замещенных 4-амино-3,4-дифенил-2-(4-метилфениламино)бут-3-еновых кислот **24a,b** [37].



Соединение	R ¹	R ²	R ³	R ⁴	R ⁵
22a	Ph	Ph	2,6-Xyl	H	H
22b	Ph	Ph	2,6-Xyl	H	цикло-C ₅ H ₉
22c	4-ClC ₆ H ₄	4-ClC ₆ H ₄	2,6-Xyl	H	цикло-C ₅ H ₉
22d	Ph	H	<i>t</i> -Bu	H	PhCH ₂
22e	4-ClC ₆ H ₄	H	<i>t</i> -Bu	H	PhCH ₂
22f	4-ClC ₆ H ₄	H	TosCH ₂	H	PhCH ₂
22g	Ph	H	<i>t</i> -Bu		(CH ₂) ₅
22i	<i>o</i> -Tol	H	<i>t</i> -Bu		(CH ₂) ₅
22j	4-BrC ₆ H ₄	H	<i>t</i> -Bu		(CH ₂) ₅
22k	<i>o</i> -Tol	H	Ph ₂ C=N	H	Ph
22l	4-ClC ₆ H ₄	H	Ph ₂ C=N	H	Ph
22m	4-BrC ₆ H ₄	H	Ph ₂ C=N	H	Ph

23a R¹ = 4-Ant, Ar = Ph; **b** R¹ = 4-Ant, Ar = 4-HOC₆H₄; **c** R¹ = 4-Ant, Ar = 4-MeOC₆H₄;
d R¹ = 4-Ant, Ar = 4-ClC₆H₄; **24 a** R¹ = 2,6-Xyl, R² = цикло-C₆H₁₁; **b** R¹ = 2,6-Xyl,
R² = *o*-Tol

В случае иминофуранонов **A** и **C** атака амина направлена на атом углерода C₍₅₎ гетероцикла, что вполне согласуется с квантово-химическими расчетами [33].

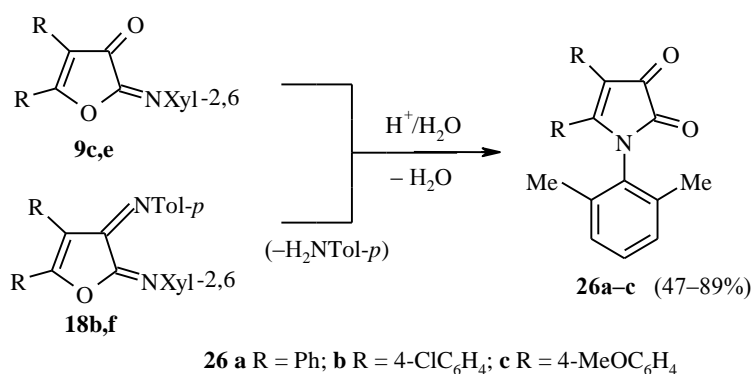


Аналогично аминам, тиофенол атакует атом углерода C₍₅₎ иминофуранонов **10e–1** с образованием N-замещенных амидов 4-арил-4-арилтио-2-оксо-3-бутеновых кислот **25** [33, 40].

3.2. Реакции рециклизации иминофуранонов

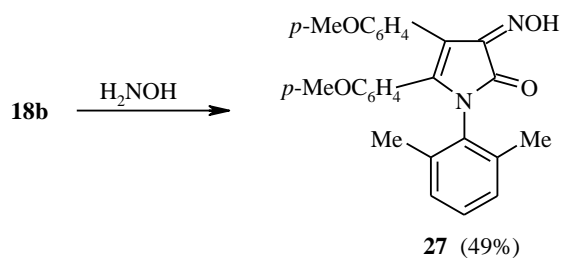
3.2.1. Реакции рециклизации в результате гидролиза и аминолита

Каталитический кислотный гидролиз иминофуранонов **9c,e** и дииминофуранонов **18b,f** приводит к образованию 1,4,5-триарил-2,3-дигидро-2,3-пирролдионов **26a–c** [17, 36].



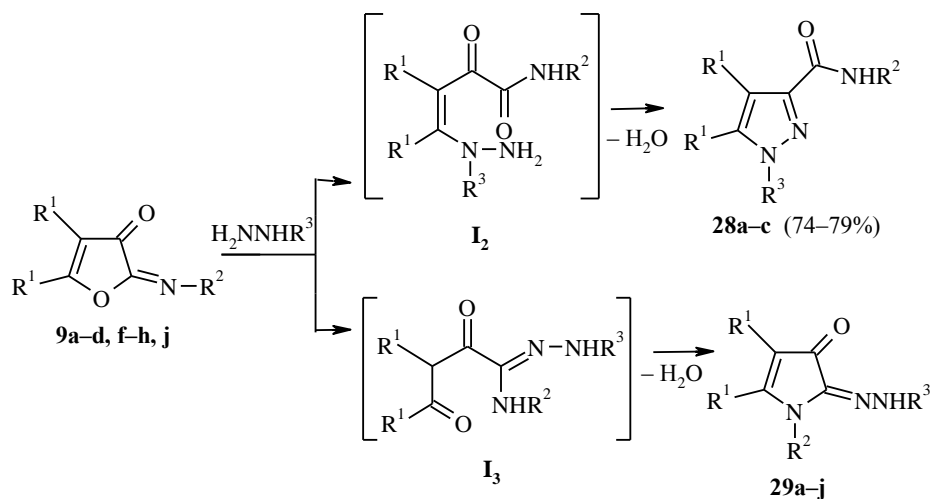
Пирролдион **26b** получается соответственно из иминофуранона **9e** и дииминофуранона **18f** практически с идентичными выходами. Рециклизация соединений **9c,e** и **18b,f**, по-видимому, включает раскрытие цикла данных соединений до соответствующих амидов карбоновых кислот, которые в условиях реакции внутримолекулярно циклизуются в производные пирролдиона.

Под действием гидрохлорида гидроксилamina дииминофуран **18b** перегруппировывается в 3-оксим 1-(2,6-диметилфенил)-4,5-бис(4-метокси-фенил)-2,3-дигидропиррол-2,3-диона (**27**) [36].



3.2.2. Реакции рециклизации под действием гидразинов

Более широко изучена рециклизация иминофуранонов под действием гидразина и замещенных гидразинов.



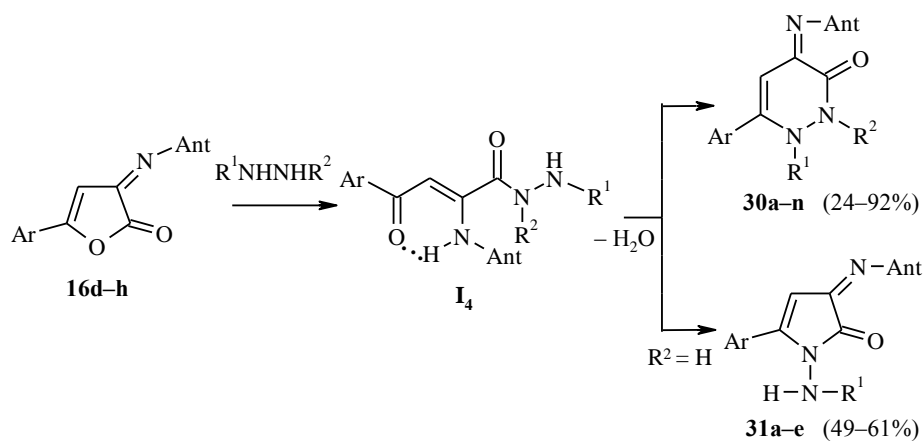
Соединение	R ¹	R ²	R ³
28a	Ph	2,6-Xyl	H
28b	4-MeOC ₆ H ₄	2,6-Xyl	Me
28c	4-MeOC ₆ H ₄	TosCH ₂	Me
29a	Ph	цикло-C ₆ H ₁₁	Ph
29b	Ph	цикло-C ₆ H ₁₁	PhCO
29c	Ph	цикло-C ₆ H ₁₁	PhNHCO
29d	Ph	TosCH ₂	PhCO
29e	Ph	Ph	Tos
29f	Ph	2,6-Xyl	2,4-(O ₂ N) ₂ C ₆ H ₃
29g	Ph	цикло-C ₆ H ₁₁	PhCO
29h	Ph	Ph	Tos
29i	Ph	2,6-Xyl	PhCO
29j	Ph	цикло-C ₆ H ₁₁	Ph

Так, 2-иминофураноны **9c,d,g** под действием гидразина и метилгидразина рециклизуются в N-замещенные амиды 3-пиразолкарбоновых кислот **28a–c**, а 2-иминофураноны **9a–d,f,h,j** в реакциях с арил- и ацилгидразинами образуют 1,4,5-тризамещенные 2-гидразоно-2H-пиррол-3-оны **29a–j** [17].

Авторы считают, что образование производных пиразола **28a–c** включает атаку аминогруппы гидразина или вторичной аминогруппы метилгидразина на атом углерода C₍₅₎ гетероцикла, раскрытие кольца иминофуранона и внутримолекулярную циклизацию промежуточно образующегося амида (интермедиат **I₂**) за счет первичной аминогруппы и α-карбонильной группы C₍₂₎=O. Аналогичным образом реагируют с гидразином иминофураноны **10** [34]. Напротив, раскрытие цикла иминофуранонов **9a–d,f,h,j** под действием арил- и ацилгидразинов осуществляется в результате атаки их первичной аминогруппы по атому углерода C₍₂₎ гетероцикла с образованием амидразона **I₃** в качестве интермедиата, который далее циклизуется в производное пирролона **29**

[17]. Реакция **9j** с N-метил-N-фенилгидразином приводит к 4,5-дифенил-2-(N-метил-N-фенилгидразоно)-1-циклогексил-2Н-пиррол-2-ону (**29j**) с выходом 5% [17]. Согласно данным работы [40], промежуточные амидразоны типа **I₃** были выделены в результате расщепления 2-[N-(1-адмантил)имино]-5-арил-4-бром-2Н-фуран-3-онов под действием 2,4-динитрофенилгидразина и зациклизованы при нагревании в производные 2-гидразонопиррол-3-онов **29**.

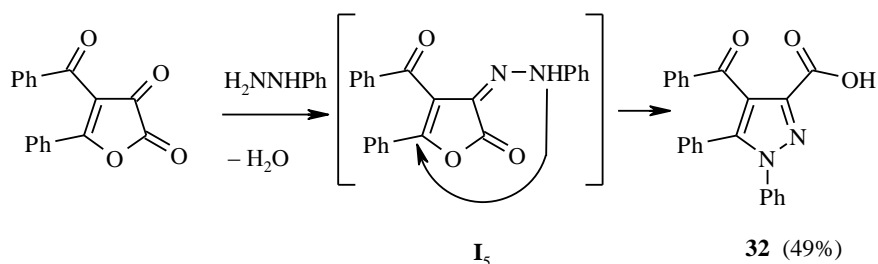
Рециклизация под действием замещенных гидразинов характерна и для 3-аминофуран-2-онов. Так, иминофураноны **16d-h** взаимодействуют с алкил- и арилгидразинами с образованием 6-арил-4-(1,5-диметил-3-оксо-2-фенил-2,3-дигидро-1Н-пиразол-4-илимино)-1,4-дигидро-2Н-пиридазин-3-онов **30a-n** и 4-[5-арил-1-(2,4-динитрофениламино)-2-оксо-1,2-дигидропиррол-3-илиденамино]-1,5-диметил-2-фенил-1,2-дигидропиразол-3-онов **31a-e** [27, 41, 42].



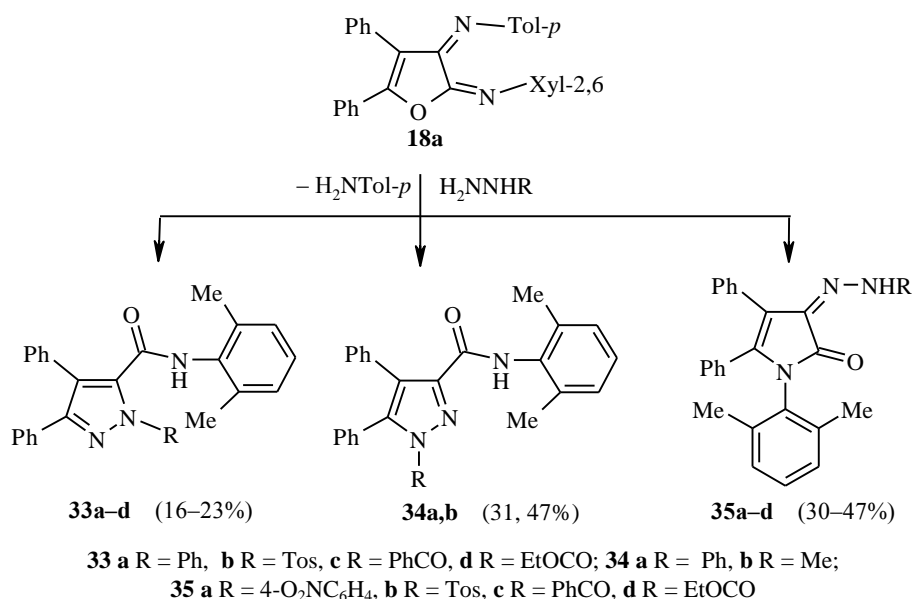
Соединение	R ¹	R ²	Ar
30a	Me	H	Ph
30b	Me	H	<i>o</i> -Tol
30c	Me	H	4-MeOC ₆ H ₄
30d	Me	H	4-ClC ₆ H ₄
30e	Me	H	4-BrC ₆ H ₄
30f	Et	H	Ph
30g	Et	H	4-MeOC ₆ H ₄
30i	Et	H	4-ClC ₆ H ₄
30j	Et	H	4-BrC ₆ H ₄
30k	Ph	H	Ph
30l	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	4-MeC ₆ H ₄
30m	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	4-MeOC ₆ H ₄
30n	Ph	Ph	Ph
31a	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	Ph
31b	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	<i>o</i> -Tol
31c	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	4-MeOC ₆ H ₄
31d	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	4-ClC ₆ H ₄
31e	2,4-(NO ₂) ₂ C ₆ H ₃	H	4-BrC ₆ H ₄

Раскрытие цикла иминофуранонов **16d–h** осуществляется, по-видимому, в результате атаки аминогруппы гидразина по атому углерода C₍₂₎ гетероцикла с образованием промежуточного гидразида бут-2-еновой кислоты (**I₄**), который в зависимости от характера заместителя R¹ внутримолекулярно циклизуется в производное пиридазина **30a–n** или пирролона **31a–e** [41, 42].

В работе [43] описано образование 4-бензоил-1,5-дифенилпиразол-3-карбоновой кислоты (**32**). По мнению авторов, реакция протекает через промежуточный 4-бензоил-5-фенил-3-фенилгидразоно-3Н-фуран-2-он (**I₅**), образующийся после атаки фенилгидразина по карбонильной группе C_{(3)=O} 4-бензоил-5-фенил-2,3-дигидрофуран-2,3-диона [43].



2,6-Диметилфениламины 1,3,4-трифенилпиразол-5-карбоновой (**33a**) и 1,4,5-трифенилпиразол-3-карбоновой (**34a**) кислот с выходами соответственно 16 и 31% образуются в результате рециклизации дииминофурана **18a** под действием фенилгидразина [36].

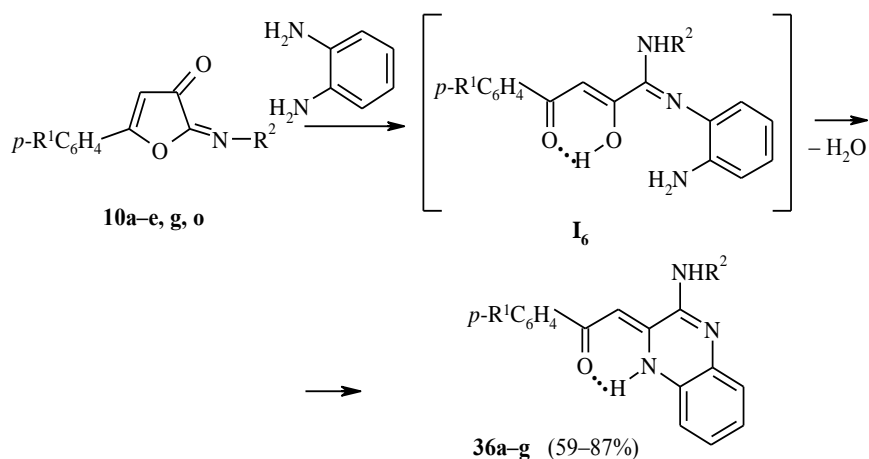


Образование двух производных пиразола может являться результатом атаки первичной (соединения **33**) и вторичной (соединения **34**) аминогруппы замещенного гидразина по углеродному атому C₍₅₎ гетероцикла.

В реакциях соединения **18a** с метилгидразином реализуется преимущественно атака вторичной аминогруппы по углеродному атому C₍₅₎ гетероцикла (образование соединения **34b**), а реакция с тозил- и ацилгидразинами приводит к образованию пиразолов **33b–d**, но с выходами 17–23%, так как в данной реакции реализуется еще одно направление рециклизации с образованием 3-гидразоно-1,4,5-триарил-3Н-пиррол-2-онов **35b–d** [36]. Реакция соединения **18a** с N'-метил-N'-фенилгидразином приводит к 1-(2,6-диметилфенил)-4,5-дифенил-3-(N'-метил-N'-фенилгидразоно)-3Н-пиррол-2-ону (**35e**) с выходом 72% [36].

3.2.3. Реакции рециклизации иминофуранонов под действием вицинальных диаминов

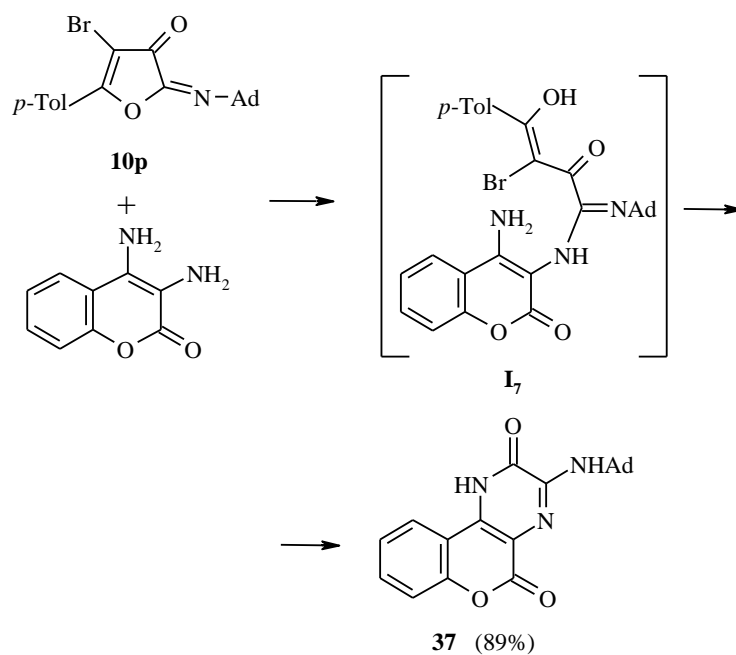
2-Иминофуран-3-оны **10a–e, g, o** взаимодействуют с *o*-фенилендиамином с образованием N-замещенных 2-амино-3-фенацилиден-3,4-дигидрохиноксалинов **36a–g** [18, 34, 44].



36 a R¹ = H, R² = *t*-Bu; **b** R¹ = Me, R² = *t*-Bu; **c** R¹ = Cl, R² = *t*-Bu; **d** R¹ = Br, R² = *t*-Bu;
e R¹ = H, R² = TosCH₂; **f** R¹ = Cl, R² = TosCH₂; **g** R¹ = H, R² = 2,5-Xyl

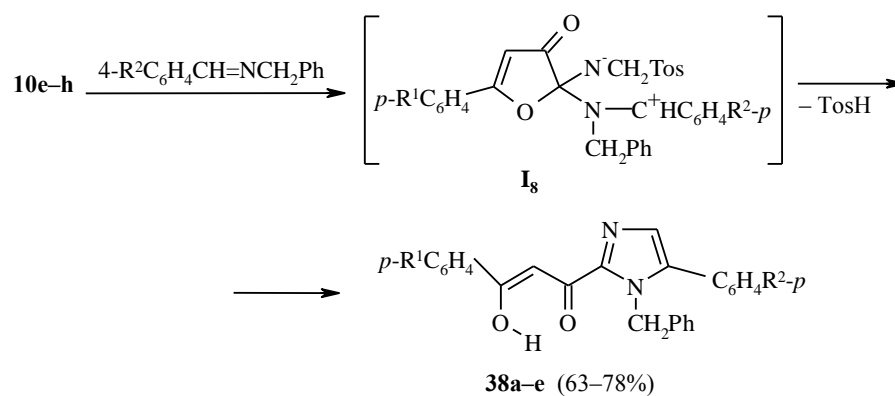
Авторы считают, что аминогруппа *o*-фенилендиамина первоначально нуклеофильно атакует положение 2 гетероцикла, что приводит к его раскрытию с образованием замещенных амидинов **I₆**, которые циклизуются в производные хиноксалина **36** [44].

Аналогичная атака реализуется при взаимодействии иминофуранона **10p** с 3,4-диаминокумарином, но циклизация промежуточного амидина **I₇** в 3-(1-адамантил)амино-1,2-дигидро-5Н-хромено[4,3-*b*]пиразин-2,5-дион (**37**) сопровождается отщеплением бром-*n*-метилацетофена [45].



3.2.4. Рециклизации под действием азометинов

Единственный пример подобных реакций представлен работами [46, 47]. Реакция иминофуранонов **10e–h** с замещенными N-(бензилиден)бензиламинами приводит к образованию 5-арил-2-ароилацетил-1-бензил-имидазолов **38a–e** [46, 47].



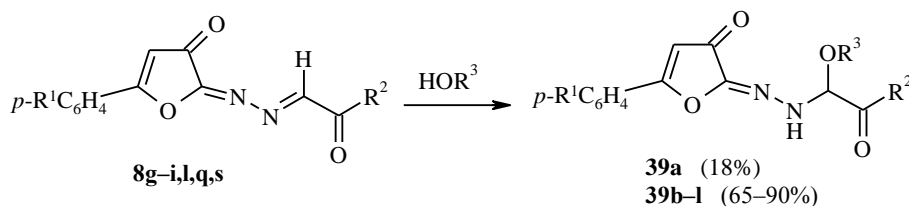
38 a R¹ = H, R² = Me₂N; **b** R¹ = Me, R² = Me₂N; **c** R¹ = H, R² = MeO; **d** R¹ = Cl, R² = MeO;
e R¹ = Br, R² = MeO

Авторы считают, что образование соединений **38** начинается с атаки положения 2 гетероцикла тригональным атомом азота азометина и образования цвиттер-ионного аддукта **I₈**. Ряд последовательных превращений аддукта **I₈** (три стадии превращений) завершается элиминированием толуолсульфиновой кислоты и формированием имидазольной системы. Механизм реакции является предполагаемым, но строение соединений **38** подтверждено данными РСА соединения **38d** [47].

3.3. Реакции, протекающие с участием азометиновой связи иминофуранов

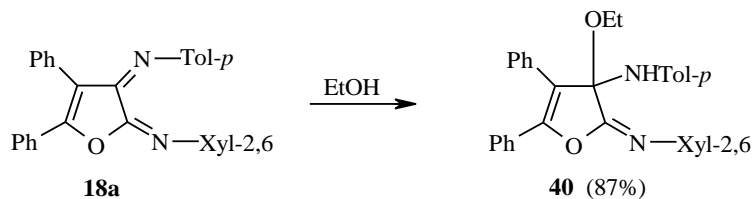
3.3.1. Реакции присоединения ОН- и NH-нуклеофилов по связи C=N

5-Арил-2-метиленидразоно-2Н-фуран-3-оны **8**, в которых связь C=N активирована ацильным заместителем, присоединяют по данной связи воду, спирты, амины [12, 14, 15, 36, 38, 48]. Так, иминофуранон **8i** способен образовывать продукт присоединения воды – 2-бензоилоксиметилгидразоно-5-(4-хлорфенил)-2Н-фуран-3-он (**39a**) уже при перекристаллизации из растворителей, содержащих воду [14, 15, 48].

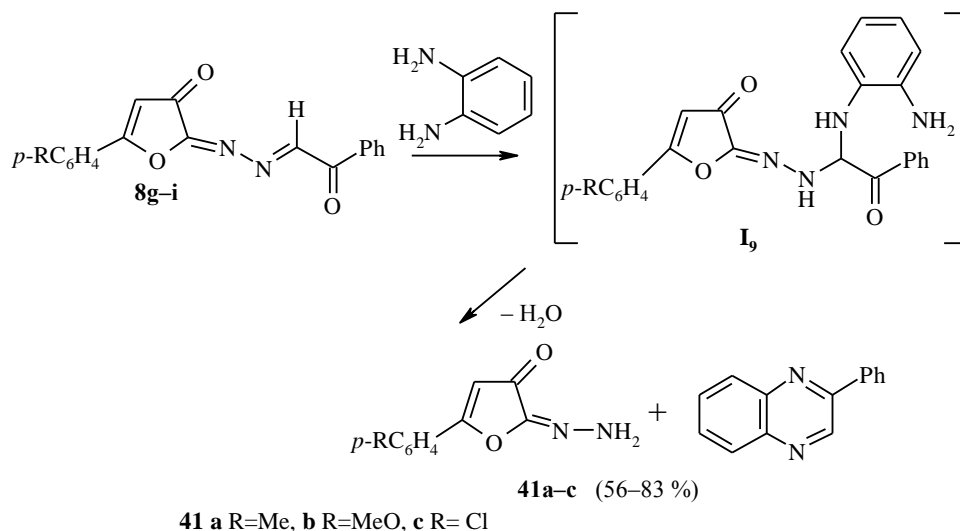


Соединение	R ¹	R ²	R ³
39a	Cl	Ph	H
39b	H	Ph	Me
39c	Me	Ph	Me
39d	MeO	Ph	Me
39e	Cl	Ph	Me
39f	Cl	4-BrC ₆ H ₄	Me
39g	Cl	Ph	Et
39h	Br	PhCH ₂	Me
39i	Br	PhCH ₂	Et
39j	Cl	Ad	Me
39k	Me	EtO	Me
39l	Me	EtO	D ₃ C

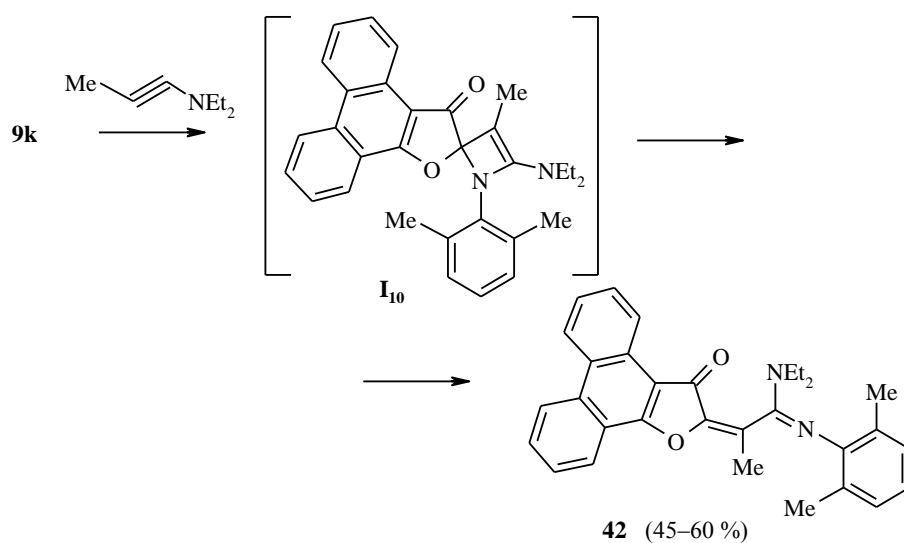
По активированной связи C=N соединений **8g-i,l,q,s** энергично присоединяются алифатические спирты с образованием соединений **39b-e** [12, 14, 15]. В работе [36] описано присоединение этанола по связи C(3)=N дииминофурана **18a**, приводящее к образованию 2-(2,6-диметилфенил-имино)-3-(4-метиланилино)-4,5-дифенил-3-этоксидигидрофурана (**40**).



В отличие от реакций, описанных в разделе 3.2.3 для соединений **10**, *o*-фенилендиамин взаимодействует с соединениями **8g–i**, атакуя аминогруппой не атом углерода C₍₂₎ гетероцикла, а атом углерода активированной связи C=N. В результате реакции образуются 5-арил-2-гидразоно-2Н-фуран-3-оны **41a–c** и 2-фенилхиноксалин [12, 15, 38, 48].



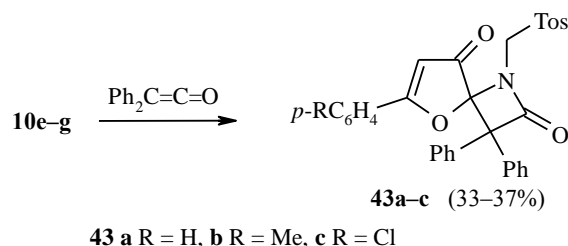
Реакция, по-видимому, протекает с образованием промежуточного N,N-аминала **I₉**, который стабилизируется с образованием гидразонов **41** и 2-фенилхиноксалина [48]. По кратной связи C=N иминофуранона **9k** протекает реакция с инамином [17].



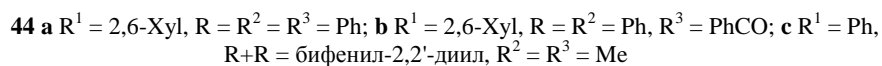
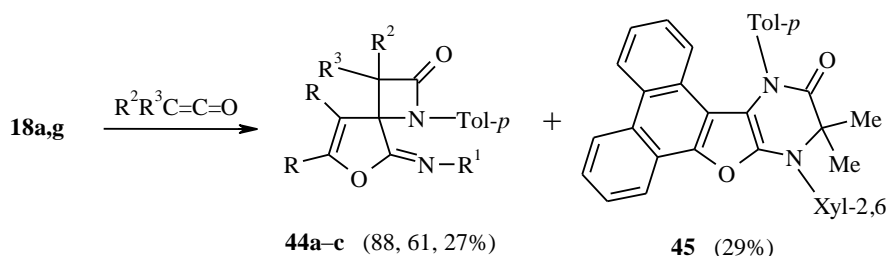
Первоначально образующийся [2+2]-циклоаддукт **I**₁₀ в результате разрыва связи C₍₂₎-N превращается в 2-(2,3-дигидро-3-оксофенантро[9,10-*b*]-фуран-2-илиден)-N'-(2,6-диметилфенил)-N,N-диэтилпропиоамидин (**42**) [17].

3.3.2. Реакции циклоприсоединения по связи C=N иминофуранов

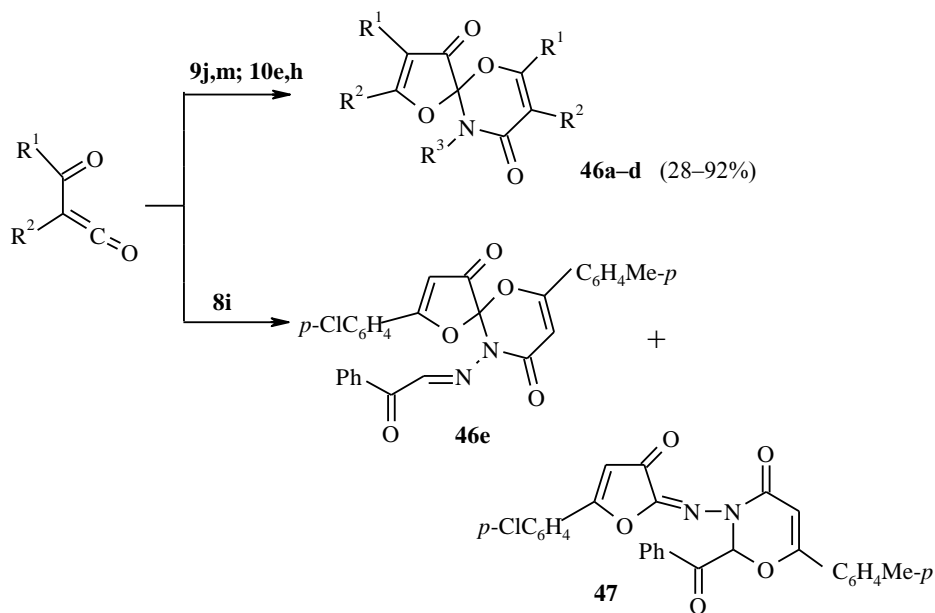
Изучены реакции циклоприсоединения кетенов и ацилкетенов по связи C=N иминофуранов типа **A** и **C**. Так, иминофураноны **10e-g** реагируют с дифенилкетеном по схеме [2+2]-циклоприсоединения с образованием 5'-арил-3,3-дифенилспиро-1-тозилметил[азетидин-2,2'-3'H-фуран]-3',4-дионов **43a-c** [49].



Производные спиро[азетидин-2,3'-фуран]-4-онов **44a-c** образуются и при взаимодействии дииминофуранов **18a,g** с дифенилкетеном, фенолбензоилкетеном и диметилкетеном, но в последнем случае наряду с соединением **44c** образуется 10,11-дигидро-11,11-диметил-10-(2,6-диметилфенил)-13-(4-метилфенил)фенантро[9',10':2,3]фууро[4,5-*b*]пиазин-13H-12-он (**45**) со сравнимым выходом [36].

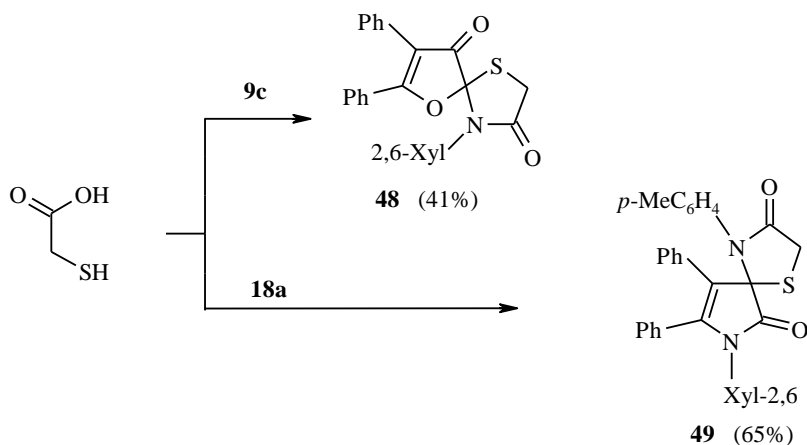


Продуктов циклоприсоединения по альтернативному направлению – связи C₍₂₎=N в данных превращениях выделено не было. Иминофураноны **8i**, **9j,m**, **10e,h** реагируют как диенофилы своей связью C=N с ацилкетеном по схеме [4+2]-циклоприсоединения с образованием производных спиро[фуран-2(3H),2'-[2H][1,3]-оксазинов] **46a-e** [17, 50–52], но в случае соединения **8i** реализуется и атака диена на активированную связь C=N азино-вой системы с образованием 2-бензоил-6-(4-метилфенил)-3-[3-оксо-5-(4-хлорфенил)-2,3-дигидро-2-фурилиден]амино-3,4-дигидро-2H-1,3-оксазин-4-она (**47**) [52].

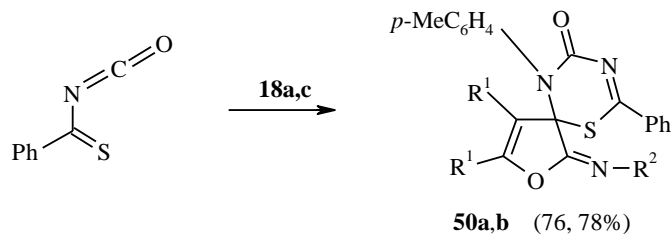


46 a $\text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{Ph}$, $\text{R}^3 = \text{цикло-C}_6\text{H}_{11}$; **b** $\text{R}^3 = 2,6\text{-MeC}_6\text{H}_4$, $\text{R}^1 + \text{R}^2 = \text{диметилпроп-1,3-диил}$,
c $\text{R}^2 = \text{H}$, $\text{R}^3 = \text{TsCH}_2$, $\text{R}^1 = \text{Ph}$; **d** $\text{R}^2 = \text{H}$, $\text{R}^3 = \text{TsCH}_2$, $\text{R}^1 = 4\text{-BrC}_6\text{H}_4$

Меркаптоуксусная кислота присоединяется по связи $\text{C}=\text{N}$ иминофуранона **9c** с образованием 3'-(2,6-диметилфенил)-4,5-дифенилспиро[фуран-2(3H),2'-[1,3]тиазолидин]-3,4'-диона (**48**) и по связи $\text{C}_{(3)}=\text{N}$ соединения **18a** также с образованием спиропродукта **49**, но дииминофуран в процессе реакции перегруппировывается в пирролон [36].



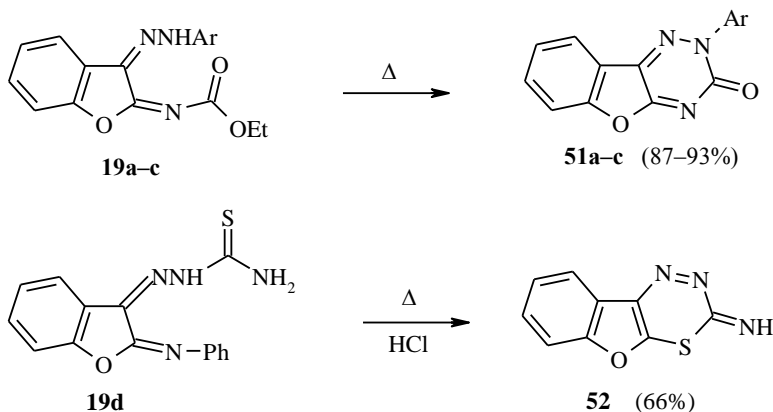
Тиобензоилизоцианат вступает в реакцию [4+2]-циклоприсоединения по связи $\text{C}_{(3)}=\text{N}$ дииминофуранов **18a,c** с образованием производных спиро[фуран-3(2H),2'-[2H-1,3,5]тиадиазинов] **50a,b** [31].



50 a R¹ = Ph, R² = 2,6-Xyl; **b** R¹ = 4-MeOC₆H₄, R² = Ph

3.4. Реакции, протекающие по функциональным группам иминофуранонов

К подобным превращениям можно отнести термическую внутримолекулярную циклизацию дииминобензофуранов **19a–c** в 2-арилбензофууро[2,3-*e*][1,2,4]триазин-3(2H)-оны **51a–c** [32] и дииминобензофурана **19d** в 1,3,4-тиадиазино[6,5-*b*]бензофуран-2-имин (**52**) [6].



51 a Ar = 2-NCC₆H₄; **b** Ar = 3-Tol; **c** R = 1-yfa rbk

Кроме того, в работах [15, 38, 48] описаны реакции карбонильных соединений с 2-гидразинофуран-3-онами **40a–c**, протекающие исключительно по аминогруппе последних.

Заключение

Анализ литературных данных демонстрирует, что иминофураноны и дииминофураны представляют интересный класс производных фурана. Для иминофуранонов **A**, **B** разработаны альтернативные методы синтеза, что позволяет экспериментатору сделать выбор в пользу того или другого метода в зависимости от поставленной препаративной цели.

Структура иминофуранонов обуславливает их богатые синтетические возможности. Наличие нескольких электронодефицитных центров в молекуле иминофуранонов позволяет путем варьирования заместителей в гетероцикле и иминофункциях изменять направление атаки

нуклеофильного реагента и структуру конечных продуктов реакции. Уже к настоящему времени в реакциях с иминофуранонами апробирован круг ОН, SH, NH-нуклеофилов. Широкие возможности в синтетическом плане представляют реакции рециклизации иминофуранонов и реакции циклоприсоединения по связям C=N иминофуранов.

Нетронутой остается область практического применения иминофуранонов, но есть основание предполагать, что иминофураноны в фармакологическом плане могут быть не менее перспективными, чем производные собственно фурана.

Таким образом, иминофураноны являются доступными и удобными объектами при создании разнообразных ациклических и гетероциклических структур и перспективными для дальнейших исследований в области гетероциклической химии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Stoermer, B. Kahlert, *Ber.*, **35**, 1640 (1902).
2. K. Fries, K. Fink, *Ber.*, **41**, 4271 (1908).
3. R. Stoermer, *Ber.*, **42**, 199 (1909).
4. K. Fries, P. Moskopp, *Liebigs Ann. Chem.*, **372**, 187 (1910).
5. K. Fries, A. Hasselbach, *Ber.*, **44**, 124 (1911).
6. А. Б. Томчин, И. С. Иоффе, Е. А. Русаков, *ЖОрХ*, **8**, 1533 (1972).
7. K. Auwers, *Liebigs Ann. Chem.*, **381**, 265 (1911).
8. K. Auwers, P. Pohe, *Liebigs Ann. Chem.*, **405**, 243 (1914).
9. Н. Б. Соколова, Л. П. Ковжина, Н. М. Дмитриева, *Тез. докл. 1-й Всероссийской конференции по химии гетероциклов памяти А. Н. Коста*, Суздаль, 2000, 488.
10. Ю. С. Андрейчиков, В. В. Залесов, А. с. СССР 1087522, *Б. И.*, № 15, 52 (1984).
11. Ю. С. Андрейчиков, С. Н. Шуров, В. В. Залесов, Н. Н. Шапетько, *ЖОрХ*, **22**, 57 (1986).
12. V. V. Zalesov, N. A. Pulina, Yu. S. Andreichikov, *Abstracts of Vth International Symposium on Furan Chemistry*, Riga, USSR, 1988, 132.
13. Н. А. Пулина, В. В. Залесов, Ю. С. Андрейчиков, *Новые методы и реактивы в тонком органическом синтезе. Тез. докл. V Всесоюз. симпозиума по органическому синтезу*, Москва, 1988, 171.
14. В. В. Залесов, Н. А. Пулина, Ю. С. Андрейчиков, *ЖОрХ*, **25**, 1054 (1989).
15. В. В. Залесов, Н. А. Пулина, Ю. С. Андрейчиков, в кн. *Химия и технология фурановых соединений. Межвуз. сб. науч. тр. Краснодар. политехн. ин-та*, Краснодар, 1990, с. 5.
16. В. В. Залесов, Н. А. Пулина, в кн. *Карбонильные соединения в синтезе гетероциклов. Тез. докл. Всероссийского совещ.*, Саратов, 1992, **II**, 10.
17. L. Caruano, T. Tammer, *Chem. Ber.*, **114**, 456 (1981).
18. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуров, Ю. С. Андрейчиков, А. Е. Люц, в кн. *Перспективы развития химии каркасных соединений и их применение в народном хозяйстве. Тез. докл. Всесоюз. конф.*, Куйбышев, 1989, 166.
19. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуров, Ю. С. Андрейчиков, И. П. Рудакова, Э. Н. Семенова, Г. Н. Новоселова, *Хим.-фарм. журн.*, 1470 (1989).
20. K. Fries, W. Pfaffendorf, *Ber.*, **45**, 154 (1912).
21. А. Б. Томчин, И. С. Иоффе, Е. А. Русаков, *ЖОрХ*, **10**, 604 (1974).
22. А. Б. Томчин, И. С. Иоффе, Е. А. Русаков, *ЖОХ*, **41**, 1791 (1971).
23. А. Б. Томчин, И. С. Иоффе, Т. Л. Брызжева, *ЖОХ*, **41**, 1797 (1971).
24. А. Б. Томчин, И. С. Иоффе, Е. А. Русаков, *ЖОрХ*, **8**, 1295 (1972).
25. C. Runti, F. Collino, *Farmaco, Ed. Sci.*, **24**, 577 (1969).
26. В. Л. Гейн, Л. О. Коньшина, Ю. С. Андрейчиков, *ЖОрХ*, **28**, 2134 (1992).
27. А. Е. Roubtsov, V. V. Zalesov, in *Abstracts of papers of Third youth school-conference on organic synthesis (YSCOS-3)*, Saint-Petersburg, Russia, 2002, 161.
28. А. Е. Рубцов, В. В. Залесов, *ХГС*, 1130 (2001).

29. А. Е. Рубцов, Р. Р. Махмудов, Н. В. Ковыляева, Н. И. Просяник, А. В. Бобров, В. В. Залесов, *Хим-фарм. журн.*, № 11, 31 (2002).
30. K. Gewald, P. Bellman, H.-J. Jansch, *Liebigs Ann. Chem.*, 1702 (1984).
31. L. Capuano, P. Morsdorf, H. Scheidt, *Chem. Ber.*, **116**, 742 (1983).
32. J. Styskala, J. Slouka, *Acta Univ. Palak. olomuc. Fac. rerum nature. Chem.*, **37**, 73, 1998; *РЖХим*, 15Ж258 (2002).
33. *Химия пятичленных 2,3-диоксогетероциклов*, под ред. Ю. С. Андрейчикова, Изд-во Пермского ун-та, Пермь, 1994, с. 77.
34. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, Ю. С. Андрейчиков, в кн. *3-е Всесоюз. совещание по химическим реактивам*, Ашхабад, 1989, **2**, 38.
35. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, Ю. С. Андрейчиков, А. с. СССР 1715805, *Б. И.*, № 8, 68 (1992).
36. L. Capuano, P. Morsdorf, *Liebigs Ann. Chem.*, 2187 (1982).
37. Ю. С. Андрейчиков, С. Н. Шуруп, в кн. *Енамины в органическом синтезе. Тез. докл. I Уральской конф.*, Пермь, 1986, 55.
38. Н. А. Пулина, В. В. Залесов, Ю. С. Андрейчиков, в кн. *Енамины в органическом синтезе. Тез. докл. II Региональной конф.*, Пермь, 1991, 40.
39. В. В. Залесов, Н. А. Пулина, Ю. С. Андрейчиков, в кн. *I Всесоюз. конф. по теоретической органической химии*, Волгоград, 1991, 200.
40. Ю. С. Андрейчиков, Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, в кн. *III региональное совещание Республик Средней Азии и Казахстана по химическим реактивам. Тез. докл.*, Ташкент, 1990, **2**, с. 63.
41. А. Е. Рубцов, В. В. Залесов, *ХГС*, 625 (2003).
42. А. Е. Рубцов, Н. В. Ковыляева, В. В. Залесов, *Хим-фарм. журн.*, в печати.
43. Yu. Akcamur, G. Penn, E. Ziegler, H. Sterk, G. Kollenz, K. Peters, E. M. Peters, H. G. Schnering, *Monatsh. Chem.*, **117**, 231 (1986).
44. С. Н. Шуруп, Ю. С. Андрейчиков, С. С. Берестова, *ХГС*, 528 (1989).
45. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, Ю. С. Андрейчиков, В. Г. Баклыков, В. Л. Савельев, *ХГС*, 1692 (1990).
46. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, Л. Ф. Чертанова, в кн. *I Всесоюзная конф. по теоретической органической химии*, Волгоград, 1991, с. 222.
47. С. Н. Шуруп, Т. Н. Янборисов, Ю. С. Андрейчиков, З. Г. Алиев, *Изв. АН, Сер. хим.*, 2013 (1995).
48. В. В. Залесов, Н. А. Пулина, Ю. С. Андрейчиков, *ЖОрХ*, **26**, 2022 (1990).
49. Т. Н. Янборисов, С. Н. Шуруп, Ю. С. Андрейчиков, В. Г. Баклыков, *ЖОрХ*, **26**, 1369 (1990).
50. С. Н. Шуруп, *ХГС*, 1730 (2002).
51. Н. А. Пулина, В. В. Залесов, Ю. С. Андрейчиков, в кн. *Кислородсодержащие гетероциклы, Тез. докл. Всесоюз. совещ.*, Краснодар, 1990, с. 114.
52. Н. А. Пулина, В. В. Залесов, Е. В. Глебова, *ХГС*, 1460 (2002).

Пермский государственный университет,
Пермь 614600, Россия
e-mail: Alekhsandr.Rubtsov@psu.ru

Поступило в редакцию 03.03.2003