

УДК 547.7+547.8

DOI: 10.17072/2223-1838-2017-4-406-428

**Н.Ю. Лисовенко, А.В. Дряхлов**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

**ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ СИНТЕЗ НА ОСНОВЕ ИЗОНИТРИЛОВ  
(ТРИФЕНИЛФОСФИНА), ЭФИРОВ АЦЕТИЛЕНДИКАРБОНОВОЙ КИСЛОТЫ  
И КАРБОНИЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ  
КАК МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
(Обзор литературы)**

*Многокомпонентные реакции (МКР) – эффективные и доступные методы синтеза органических соединений. Главным преимуществом этого типа реакций является возможность получения огромного числа производных в одну стадию из простых и доступных исходных соединений. МКР широко используются для решения самых разнообразных практических задач: для поиска новых биологически активных соединений, катализаторов, новых материалов и т. д. Большие достижения в этой области связаны с использованием изоцианидов и трифенилфосфин), уникальные свойства которых позволили создать необычайно эффективные методы синтеза сложных органических соединений.*

**Ключевые слова:** мультикомпонентные реакции; изонитрилы; диалкиловые эфиры ацетилендикарбонической кислоты; фураны; пирролы

**N. Yu. Lisovenko, A.V. Dryahlov**

Perm State University, Perm, Russia

**THREE-COMPONENT SYNTHESIS BASED ON ISONITRILE (TRIPHENYLPHOSPHINE),  
ESTERS ACETYLENEDICARBOXYLIC ACID AND CARBONYL COMPOUNDS AS A METHOD  
OF CONSTRUCTING HETEROCYCLIC SYSTEMS (REVIEW)**

*Multicomponent reactions (MCRs) are effective and accessible methods for the synthesis of organic compounds. The main advantage of this type of reactions is the large number of products that can be prepared in one stage from simple and easily available starting materials. MCRs are widely used for many different practical applications: the discovery of biologically active compounds, catalysts, novel materials, etc. Major advances in this field have been achieved by using isocyanides and triphenylphosphine, the unique properties of which have enabled the development of remarkably effective approaches to the synthesis of complex organic compounds.*

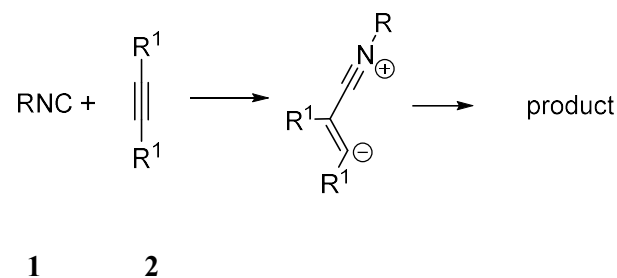
**Keywords:** multicomponent reactions; isonitriles; triphenylphosphine; esters acetylenedicarboxylic acid; furans; pyrroles

## Введение

Мультикомпонентные реакции (МКР) – эффективные и доступные методы синтеза органических соединений. Главным преимуществом этого типа реакций является возможность получения огромного числа производных в одну стадию из простых и доступных исходных соединений. МКР широко используются для решения самых разнообразных практических задач, для поиска новых биологически активных соединений, катализаторов, новых материалов и т.д. Выходы в таких реакциях в целом высокие, реакции протекают быстро, как правило, в мягких условиях, поэтому МКР привлекают большое внимание исследователей, химиков работающих в области комбинаторной химии, а также фармацевтических компаний, ведущих поиск новых биологически активных соединений.

Мультикомпонентная химия имеет 150-летнюю историю. В качестве примеров классических мультикомпонентных реакций можно привести хорошо известную трехкомпонентную реакцию Манниха, синтез 3,4-дигидропиримидин-2(1*H*)-онов по Биджинелли и целый ряд других мультикомпонентных синтезов гетероциклов. Однако наибольшие достижения в этой области связаны с использованием изоцианидов, уникальные свойства которых позволили создать необычайно эффективные методы синтеза сложных органических соединений. Химикам хорошо известны трехкомпонентный синтез Пассерини и открытая в 1959 г. четырехкомпонентная реакция Уги [1].

Впервые взаимодействие изонитрилов с ацетиленовыми соединениями в 1969 г. описал E. Winterfeld [2].



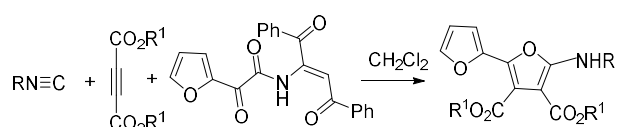
В данном типе реакций первоначально образуются цвителионные интермедиаты, которые в дальнейшем подвергаются реакциям с разнообразными реагентами, в частности с карбонильными соединениями, что приводит к сложным гетероциклическим системам, получение которых другими методами либо невозможно, либо весьма затруднительно.

МКР с участием трифенилфосфина не менее популярны в этом сегменте органической химии. Трифенилфосфин образует с ацетиленовыми соединениями заряженные интермедиаты, реакция которых с карбонилсодержащими веществами приводит к замещенным фуранам, пирролам, пиранам и другим гетероциклическим системам.

### Синтез *тетра*-замещенных фуранов

Фуран и его производные являются важным классом гетероциклических соединений, которые содержатся в структурах природных соединений и в фармацевтических препаратах. Кроме того, полифункционализированные фураны – универсальный синтетический материал для органической химии. Рассматриваемый нами трехкомпонентный синтез позволяет легко получить разнообразные замещенные фураны.

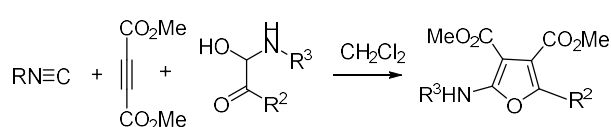
При взаимодействии *трет*-бутил-изоцианида **1a** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-г** в присутствии N<sup>1</sup>-[(*Z*)-1-бензоил-3-оксо-3-фенил-1-пропенил]-2-(2-фурил)-2-оксоацетамида **3** были выделены производные 5-*трет*-бутиламино-[2,2']бифуранил-3,4-дикарбоновой кислоты **4a-г** с выходами 50–58 %. Реакция проходила в дихлорметане при комнатной температуре [3].



**1a**    **2a-г**    **3**    **4a-г**

**1**: R=*t*-Bu (a); **2**: R<sup>1</sup>=Me (a), Et (б), *t*-Bu (в), *i*-Pr (г); **4**: R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me (a); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=*t*-Bu (в); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=*i*-Pr (г)

В результате реакции алкилизотиоцианидов **1a,б** с диметилловым эфиром ацетилендикарбоновой кислоты **2a** в присутствии 2-гидрокси-1-арил-2-(арилимино)этанона **5a,б** были получены производные 2-аминофурана **6**. Выходы продуктов составили 85–91 % [4].

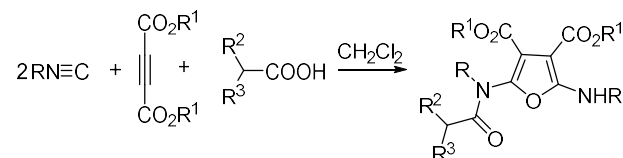


**1a,б**    **2a**    **5a,б**    **6a-г**

**1**: R=*t*-Bu (a), Cy (б); **5**: R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (a), R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=3-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б); **6**: R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (a); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б); R=Cy, R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (в); R=Cy, R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (г)

По реакции между *трет*-бутилизоцианидом **1a** и эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б**, г в присутствии 2-фенилуксусной кислоты или

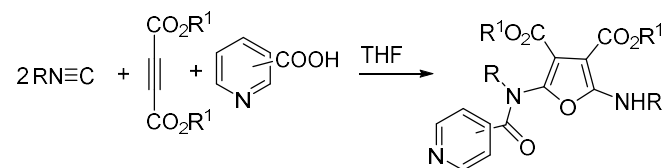
2,2-дифенилуксусной кислоты **7a-б** были получены производные диаминофурана **8a-д**. Реакция проходила в дихлорметане при комнатной температуре. Выходы продуктов составили от 80 до 98 % [5].



**1a**    **2a-б,г**    **7a-б**    **8a-д**

**1**: R=*t*-Bu (a); **2**: R<sup>1</sup>=Me (a), Et (б), *i*-Pr (г); **7**: R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=Ph (a); R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=Ph (б); **8**: R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me; R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=Ph (a); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et; R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=Ph (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et; R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=Ph (в); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=*i*-Pr, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=Ph (г); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=*i*-Pr; R<sup>2</sup>=Ph, R<sup>3</sup>=Ph (д)

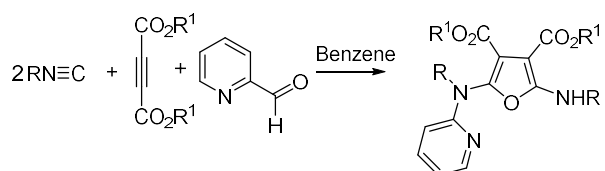
Еще один способ получения замещенных диаминофуранов **10a-в** также основан на взаимодействии алкилизотиоцианидов **1a-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б**, но уже в присутствии никотиновых либо изоникотиновых кислот **9**. Реакция проходила в тетрагидрофуране при комнатной температуре [6].



**1a,б**    **2a-б**    **9**    **10a-в**

**1**: R=*t*-Bu (a), Cy (б); **2**: R<sup>1</sup>=Me (a), Et (б); **10**: R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me (a); R=Cy, R<sup>1</sup>=Et (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et (в)

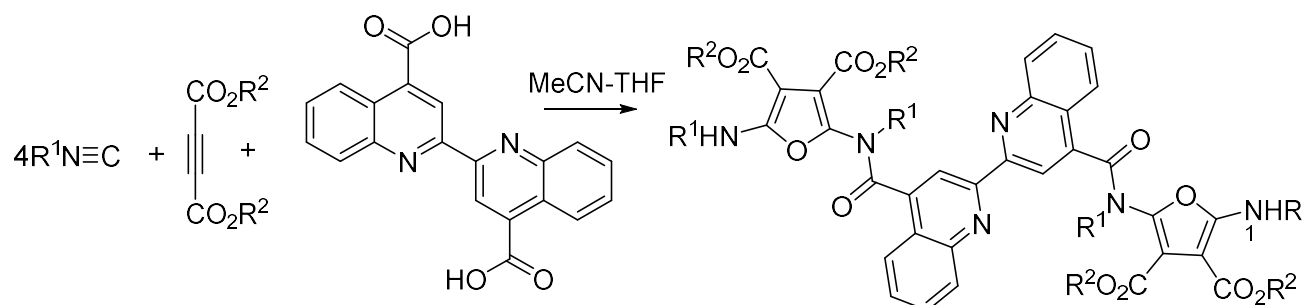
В результате реакции *трет*-бутилизоцианида **1a** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б**, в присутствии 2-пиридинкарбоксальдегида **11** были выделены замещенные фураны **12a-б**. Реакция проходила в бензоле при 75° С. Выходы продуктов – 90–95 % [7].



**1a**   **2a, 2в**   **11**   **12a-б**

**1:** R= *t*-Bu (а); **2:** R<sup>1</sup>= Me (а), *t*-Bu (в); **12:** R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>= Me (а); R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>= *t*-Bu (б)

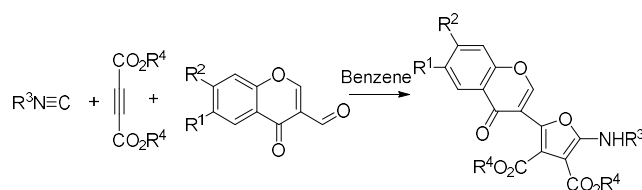
В настоящее время изучены реакции получения *тетра*-замещенных фуранов в присутствии бициклических ароматических кислот. При взаимодействии алкил-



**1a-б**   **2a-б**   **13**   **14a-г**

**1:** R<sup>1</sup>=*t*-Bu (а), (б); **2:** R<sup>2</sup>=Me (а), Et (б); **14:** R<sup>1</sup>=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=Me (а); R<sup>1</sup>=*t*-Bu, R<sup>2</sup>= Et (б); R<sup>1</sup>= Cy, R<sup>2</sup>=Me (в); R<sup>1</sup>=Cy, R<sup>2</sup>= Et (г).

При взаимодействии алкилизоцианидов **1a-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б** в присутствии 3-формилхромен-4-ов **15a-д** так же были выделены *тетра*-замещенные фураны **16a-л**. Реакция проходила в бензоле при 40°C [9].



**1a-б**   **2a-б**   **15a-д**   **16a-л**

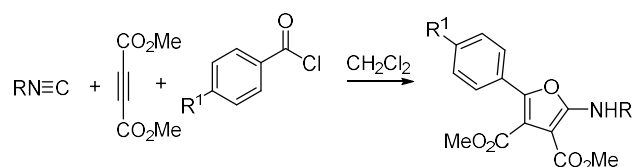
**1:** R<sup>3</sup>=*t*-Bu (а), Cy (б); **2:** R<sup>4</sup>=Me (а), Et (б); **15:** R<sup>2</sup>= H (а), Me (б), *i*-Pr (в), Cl (г), NO<sub>2</sub> (д); **15:** R<sup>2</sup>= H (а), Me (б); **16:** R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=*t*-Bu, R<sup>4</sup>=Et (а); R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= H,

изоцианидов **1a-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б** в присутствии бициклической ароматической кислоты (13) были выделены производные диалкил 2-(алкил-амино)-5-[алкил({2-[4-(алкил[5-(алкиламино)-3,4-бис(алкоксикабонил)-2-фурил]амино}карбонил)-2-хинолил]-4-хинолил}карбонил)амино]-3,4-фурандикарбоновой кислоты **14a-г**. Реакция проходила при 25°C в смеси ацетонитрил-тетрагидрофуран 1:1 в течение 36 ч. Выходы продуктов составили порядка 37–52 % [8].

R<sup>3</sup>=*t*-Bu, R<sup>4</sup>=Me (б); R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= Me, R<sup>3</sup>=*t*-Bu, R<sup>4</sup>=Me (в); R<sup>1</sup>= Me, R<sup>2</sup>= Me, R<sup>3</sup>=*t*-Bu, R<sup>4</sup>=Me (г); R<sup>1</sup>= Me, R<sup>2</sup>= Me, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Me (д); R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= Me, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Me (е); R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Me (ж); R<sup>1</sup>= H, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Et (з); R<sup>1</sup>= Cl, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Et (и); R<sup>1</sup>= NO<sub>2</sub>, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Et (к); R<sup>1</sup>= *i*-Pr, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=Cy, R<sup>4</sup>=Et (л).

Еще один способ получения *тетра*-замещенных фуранов **18a-е** основан на взаимодействии алкилизоцианидов **1a-г** с диметилowym эфиром ацетилендикарбоновой кислоты **2a** в присутствии бензоилхлоридов **17a-б**, содержащих электроакцепторные группы в

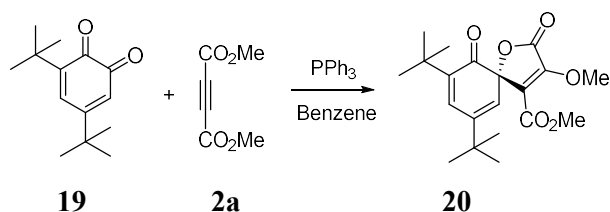
пара-положении. Реакция проходит в дихлорметане при комнатной температуре [10].



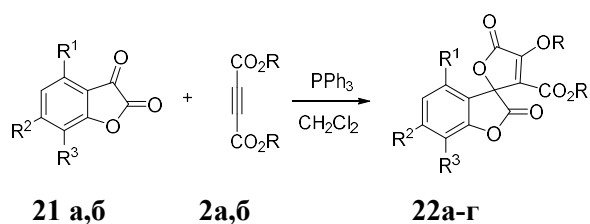
### 1a-б,г,е 2a 17 18a-е

**1:** R=*t*-Bu (а), (б), 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(в), 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu (г); R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub> (а), CN (б); **2:** R<sup>2</sup>=Me (а); **18:** R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>2</sup>=Me (а); R= Cy, R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>2</sup>=Me (б); R= 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>2</sup>=Me (г); R= 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>2</sup>=Me (г), R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= CN, R<sup>2</sup>=Me (д); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= COOC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>2</sup>=Me (е)

В результате реакции 3,5-ди-*tert*-бутил-1,2-бензохинона **19** и диметилового эфира ацетилендикарбоновой кислоты **2a** при обработке 50 %-ным раствором трифенилфосфина авторами статьи был получен спиролактон **20**. Реакция проходила при перемешивании в бензоле при 80 °C [11].



Реакция между эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a,б** и бензофуран-2,3-диолами **21a,б** в присутствии трифенилфосфина приводит к получению  $\gamma$ -спиролактонов **22a-г**. Данная реакция проходит при комнатной температуре в дихлорметане при перемешивании в течение 1 ч. [12].

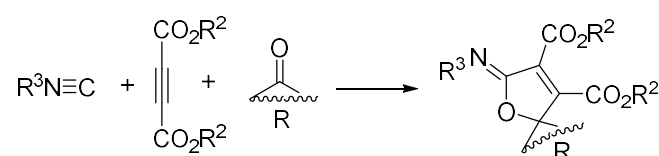


**2:** R=Me (а), Et (б); **21:** R<sup>1</sup>=Me (а); R<sup>2</sup>=H (а), Me (б); R<sup>3</sup>=H (а), Me (б); **22:** R=Me, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H(а); R=Et, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H(б); R=Me, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=Me, R<sup>3</sup>=Me(в); R=Et, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=Me, R<sup>3</sup>=Me(г).

### Синтез замещенных иминофуранов ( $\gamma$ -иминолактонов)

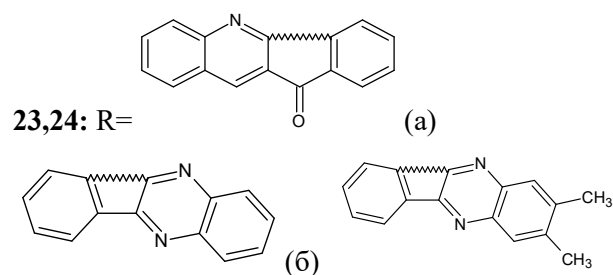
Как показывает литературный обзор, на основе трёхкомпонентной реакции изонитрилов, эфиров ацетилендикарбоновых кислот и карбонильных соединений были синтезированы многочисленные представители класса замещенных иминофуранов и спироиминофуранов.

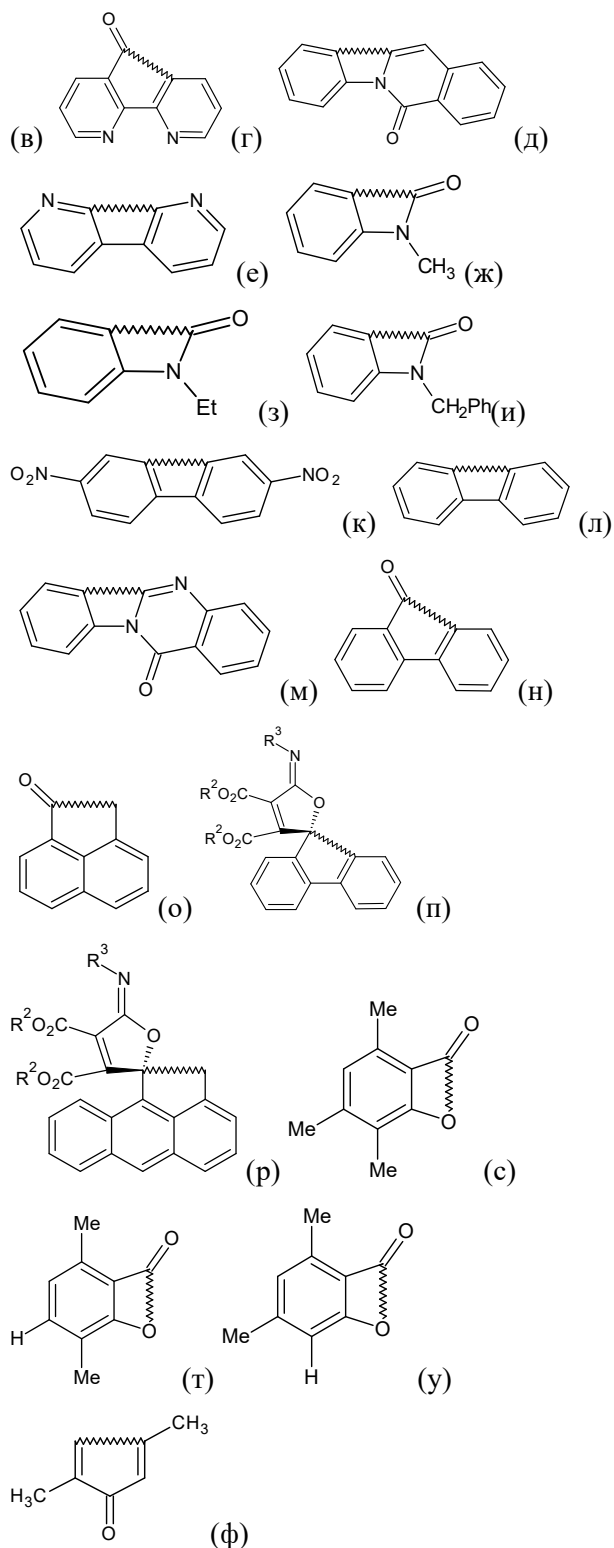
В результате реакции между алкилизоцианидами **1a-д** эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-г** и соединений **23a-ф** были выделены различные замещенные спироиминофураны **24a-ф**. Данная реакция проходит при нагревании в таких растворителях как бензол, дихлорметан, ацетонитрил. Выходы продуктов 60–95 % [13–25].



### 1a-д 2a-г 23a-ф 24a-ф

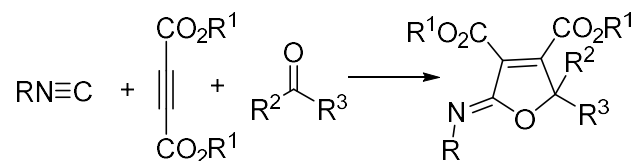
**1:** R<sup>3</sup>=*t*-Bu (а), Cy (б), 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(в), 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu (г), Ph (д); **2:** R<sup>2</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в), *i*-Pr (г).





Таким образом при взаимодействии алкилизоцианидов **1а-д** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-г** в присутствии соединений **25а-с** были выделены представители замещенных иминофуранов **26а-с**. Данные реакции проходили в дихлорметане или бензоле, при комнатной температуре в интервале

1–24 часа. Выходы продуктов составили 66 – 97 % [26-31].



**1 а-д**    **2 а-г**    **25а-с**                    **26 а-с**

**1:** R=*t*-Bu (а), Cy (б), 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(в), 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu (г), Ph (д); **2:** R<sup>1</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в), *i*-Pr (г);

**25, 26:** R<sup>2</sup>=Cl<sub>3</sub>(а) (б) Br-Ph (в) Ph-Ph (г)

MeO-Ph (д) H<sub>3</sub>C-Ph (е) O<sub>2</sub>N-Ph (ж)

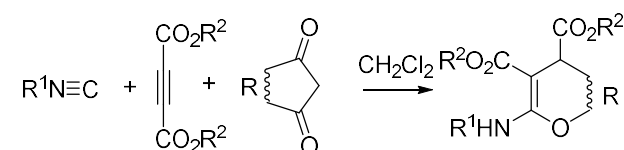
Cl-Ph (з) Ph-Ph (и);

**25, 26:** R<sup>3</sup>=CO<sub>2</sub>Me (к), CO<sub>2</sub>Et (л), -SCN (м), CCl<sub>3</sub> (а), CH<sub>2</sub>Cl (о), CH<sub>3</sub>Br (п), CF<sub>3</sub>(р), CH<sub>3</sub>(с)

### Синтез замещенных пиранов

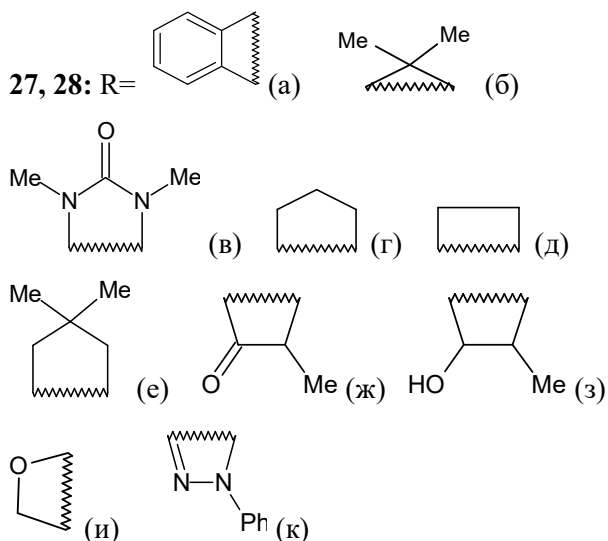
Рассматриваемый нами трехкомпонентный синтез приводит к разнообразным представителям класса замещенных пиранов, синтез которых затруднен или невозможен другими синтетическими методами. При этом реакции протекают в мягких условиях, выходы продуктов высокие.

Так, при взаимодействии алкилизоцианидов **1а-г,е,ж** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии 1,2-дикетонов **27а-к** образуются замещенные 4*H*-пираны **28 а-к**. Данная реакция проходит в дихлорметане при комнатной температуре. Выходы продуктов составили 63–96 % [32–40].

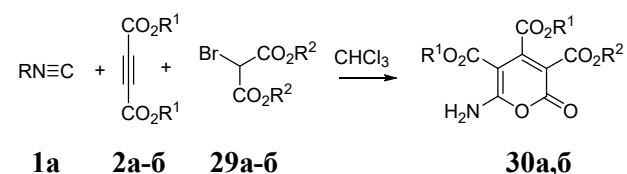


**1а,б,г,е,л,н**    **2а-в**    **27а-к**                    **28 а-к**

1:  $R^1=t\text{-Bu}$  (а),  $Cy$  (б),  $2,6-(Me)_2C_6H_3$ (в),  $1,1,3,3\text{-Me}_4Bu$  (г),  $PhCH_2$  (е),  $2\text{-Morpholinoethyl}$  (ж); **2**:  $R^2= Me$  (а),  $Et$  (б),  $t\text{-Bu}$  (в).

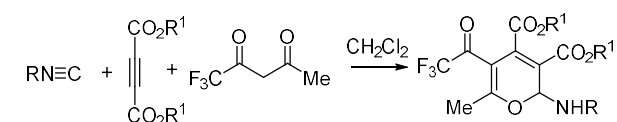


В результате реакции *трет*-бутилизоцианида **1а** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-б** в присутствии сильных СН- кислот, таких как диалкил-2-бромомалонового эфира **29а-б** образуются с высокими выходами 2-*H*-пиран-2-оны **30а,б**. Реакция проходит в хлороформе при комнатной температуре [41].



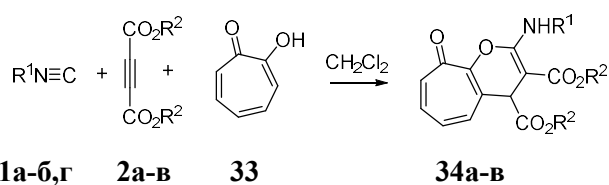
**1**:  $R=t\text{-Bu}$  (а); **2**:  $R^1=Me$  (а),  $Et$  (б); **29**, **30**:  $R^2= Me$  (а),  $Et$  (б)

Также при взаимодействии *трет*-бутилизоцианида **1а** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии 1,1,1-трифторпентан-2,4-диона **31** образуются 4-*H*-пираны **32а-б**. Реакция проходит в дихлорметане при комнатной температуре. Выходы продуктов 83–92 % [42].



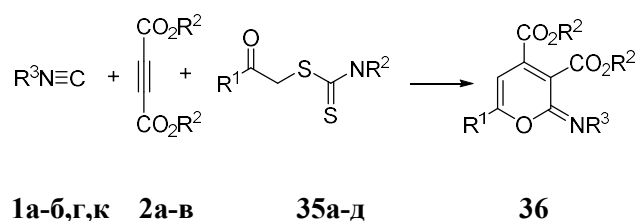
**1а**   **2а-в**   **31**   **32а-б**  
**1**:  $R=t\text{-Bu}$  (а); **2**:  $R^1=Me$  (а),  $Et$  (б),  $t\text{-Bu}$  (в); **32**:  $R=t\text{-Bu}$ ,  $R^1=Me$  (а);  $R=t\text{-Bu}$ ,  $R^1= Et$  (б)

В результате трехкомпонентной реакции алкилизоцианидов **1а-б,г** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии трополона **33** был выделен эфир 2-(алкиламино)-4,9-дигидро-9-оксоциклопента-[b]пиран-3,4-дикарбоновой кислоты **34а-в**. Реакция проходила в дихлорметане при комнатной температуре в течение 24 часов. Выходы продуктов составили 65–86 % [43].



**1**:  $R^1=t\text{-Bu}$  (а),  $Cy$  (б),  $1,1,3,3\text{-Me}_4Bu$  (г); **2**:  $R^2= Me$  (а),  $Et$  (б),  $t\text{-Bu}$  (в); **34**:  $R^1=t\text{-Bu}$ ,  $R^2= Me$  (а);  $R^1= Cy$ ,  $R^2= Me$  (б);  $R^1=t\text{-Bu}$ ,  $R^2= Me$  (в)

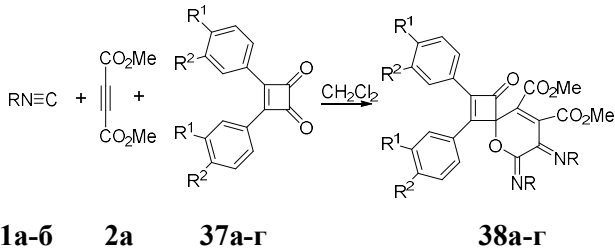
Реакция алкилизоцианидов **1а-б,г,з** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии дитиокарбаматов **35** дает замещенные 2-*H*-пираны **36 а-д** с выходами 83–94 % [44].



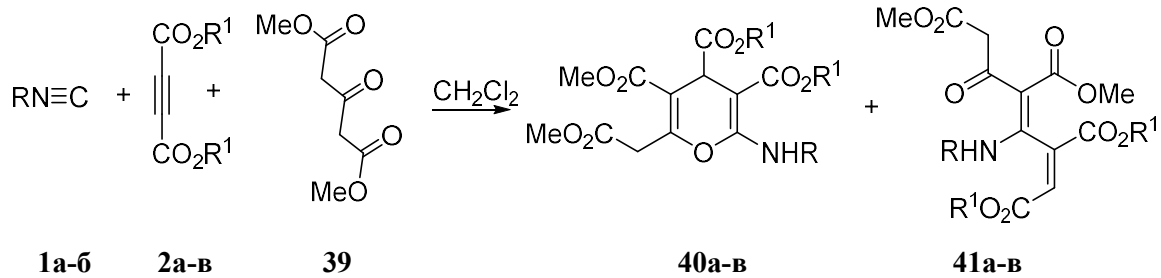
**1**:  $R^3=t\text{-Bu}$  (а),  $Cy$  (б),  $1,1,3,3\text{-Me}_4Bu$  (г),  $CH_2CO_2Et$  (з); **2**:  $R^2= Me$  (а),  $Et$  (б),  $t\text{-Bu}$  (в); **35**, **36**:  $R^1=CO_2Et$  (а),  $Ph$  (б),  $4\text{-Me-Ph}$  (в),  $4\text{-NO}_2Ph$  (г),  $CO_2Et$  (д)

Еще один способ получения замещенных пиранов **38 а-г** основан на взаимодействии алкилизоцианидов **1а-б** с диметилowym эфиром диалкилацетилендикарбоновой кислоты **2а** в

присутствии бис-3,4-(3,4-диметилфенил)-циклобутен-1,2-дионов **37а-г** [45].



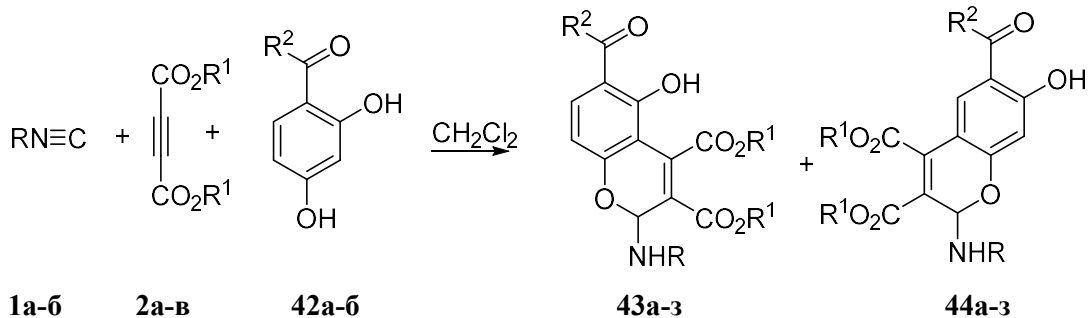
**1:** R= *t*-Bu (а), Cy (б); (а); **37, 38:** R<sup>1</sup>=R<sup>2</sup>=Me (а), R<sup>1</sup>=R<sup>2</sup>=H (б), R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=H (в), R<sup>1</sup>=OMe, R<sup>2</sup>=H (г)



**1:**R= *t*-Bu (а), Cy (б); **2:**R<sup>1</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **40:** R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me (а); R= Cy; R<sup>1</sup>= Et (б); R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=*t*-Bu (в), **41:** R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me (а); R= Cy; R<sup>1</sup>= Et (б); R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=*t*-Bu (в).

Алкилизоцианиды **1а-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии 2,4-дигидроксибензофенонов **42а** или 2,4-дигидроксиацетофенонов **42б** образуют два продукта – диалкиловые эфиры 6-бензоил(ацетил)-2-(алкиламино)-5-гидрокси-4*H*-хромен-3,4-дикарбоновой кислоты **43** и 6-

ацетил-2-(алкиламино)-7-гидрокси-4*H*-хромен-3,4-дикарбоновой кислоты **44**. Реакция проходит в дихлорметане при комнатной температуре [47].

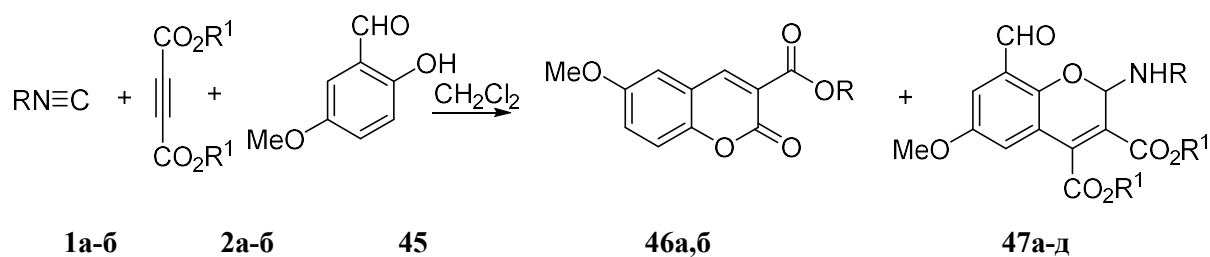


**1:**R= *t*-Bu (а), Cy (б); **2:**R<sup>1</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **42:**R<sup>2</sup>=Me (а), Ph (б); **43,44:** R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=Me (а); R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=Ph (б); R= *t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=*t*-Bu (в); R= Cy, R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=*t*-Bu (г); R= Cy, R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=Me (д); R= Cy, R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=Ph (е); R= Cy, R<sup>1</sup>=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=Ph (ж); R= Cy, R<sup>1</sup>=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=Me (з).

Авторы статьи [48] сообщают, что при взаимодействии алкилизоцианидов **1а-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-б** в присутствии 2-гидрокси-5-

метоксибензальдегида **45** образуется смесь из двух продуктов: 2-оксо-2*H*-хромены **46а,б** и 4*H*-хромены **47а-д**.

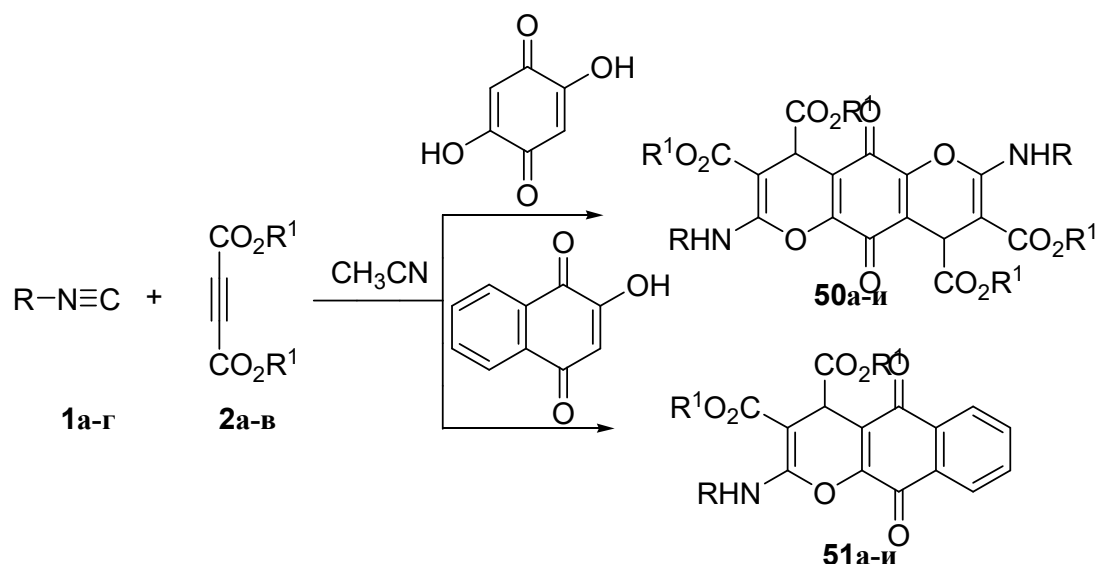




**1, 46:** R = *t*-Bu (а), Cy (б); **2:** R<sup>1</sup> = Me (а), Et (б); **47:** R = *t*-Bu, R<sup>1</sup> = Me (а); R = *t*-Bu; R<sup>1</sup> = Et (б); R = Cy, R<sup>1</sup> = Me (с); R = Cy, R<sup>1</sup> = Et (д).

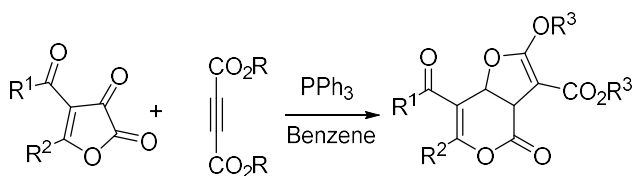
При взаимодействии алкил(арил)-изоцианидов **1a-г** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-в** в присутствии 2,5-дигидроксициклогекса-2,5-диен-1,4-диона **48** либо 2-гидроксинафталин-

1,4-диона **49** образуются бис-4*H*-хромены **50a-и** или 4*H*-бензо[*b*]хромены-3,4-дикарбоновой кислоты **51a-и**. Реакция проходила при комнатной температуре [49].



**1:** R = *t*-Bu (а), Cy (б), 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(в), 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu (г); **2:** R<sup>1</sup> = Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **49, 50:** R = *t*-Bu, R<sup>1</sup> = Me (а); R = *t*-Bu, R<sup>1</sup> = Et (б); R = *t*-Bu, R<sup>1</sup> = *t*-Bu (с); R = Cy, R<sup>1</sup> = *t*-Bu (д); R = 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup> = Cy (е); R = 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup> = *t*-Bu (ж); R = 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup> = *t*-Bu (з); R = 1,1,3,3-Me<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup> = Me (и)

Фуран-2,3-дионы **52a-г** могут вступать в реакции с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-б** в присутствии трифенилфосфина с образованием соединений **53a-д**. Реакция проходит в бензоле в течении 25 минут. Выход продуктов составил 33–51 % [50].

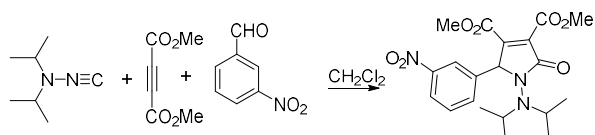
**52a-г****2a-б****53a-д**

**2:** R<sup>3</sup>=Me (а), Et (б); **52:** R<sup>1</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (а), 4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б), 3,4-(MeO)<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>3</sub> (в), EtO (г); R<sup>2</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (а), 4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б), 3,4-(MeO)<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>3</sub> (в), Ph (г); **53:** R<sup>1</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>1</sup>=4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=Me (а); R<sup>1</sup>=3,4-(MeO)<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>1</sup>=4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=Et (б); R<sup>1</sup>=3,4-(MeO)<sub>2</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>1</sup>=4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=Me (в); R<sup>1</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>1</sup>=4-Me-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=Et (г); R<sup>1</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>1</sup>=4-MeO-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, R<sup>3</sup>=Et (д)

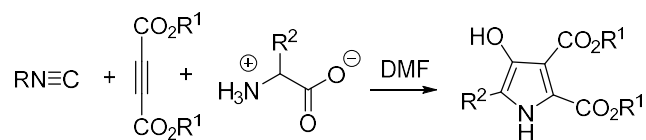
### Синтез замещенных пирролов

Реакции мультикомпонентного синтеза – простой способ получить функционизированные пирролы – важный класс гетероциклических соединений.

В результате реакции диизопропиламиноизоцианида **1и** с диметилловым эфиром ацетилендикарбоновой кислоты **2а** в присутствии 3-нитробензальдегида **54** был получен 2-аминопирролин-2-он **55**. [51].

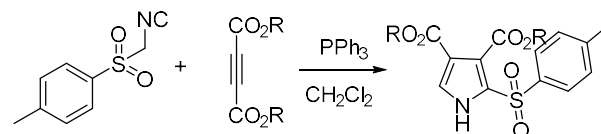
**1и****2а****54****55**

При взаимодействии циклогексилизоцианида **1б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-в** в присутствии соединения **56 а,б** был выделены эфиры 4-гидрокси-1*H*-пиррол-2,3-дикарбоновой кислоты **57a-в**. Реакция проходила в безводном диметилформамиде в течение 24 часов при комнатной температуре. Выходы продуктов составили 70–80 % [52].

**1б****2a-в****56 а,б****57a-в**

**1:** R=Cy (б); **2:** R<sup>1</sup>= Me (а), Et (б), t-Bu (в); **56:** R<sup>2</sup>= Me (а), Et (б); **57:** R=Cy, R<sup>1</sup>= Me, R<sup>2</sup>= Me (а); R=Cy, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>= Me (б); R=Cy, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>= Et (в)

В результате реакции тозилметилизоцианида **58** с диалкиловыми эфирами ацетилендикарбоновых кислот **2a-г** в присутствии трифенилфосфина авторами статьи были выделены замещенные пироллы **59a-г**. Реакция проходила в дихлорметане при комнатной температуре, выходы продуктов составили 50–90 % [53].

**58****2 a-г****59a-г**

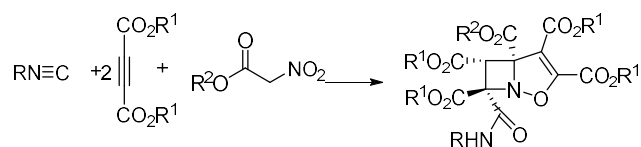
**2, 59:** R= Me (а), Et (б), t-Bu (в), i-Pr (г)

### Другие реакции

По мимо всех выше описанных реакций, изоцианиды совместно с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот способны вступать в реакции с разнообразными соединениями, с образованием соответствующих линейных и циклических структур.

Так в результате взаимодействия эфиров диалкилацетилендикарбоновых кислот **2a-в** с 2-алкилнитроэтаноем **60a-б** в присутствии алкилизоцианидов **1a,г** были выделены соединения **61a-г** – эфиры пентаалкил 7-[(алкиламино)-карбонил]-2-окса-1-азабицикло[3.2.0]гепт-3-ен-3-,4,5,6,7

пентакарбоновой кислоты. Выходы продуктов составили порядка 80–90 % [54].

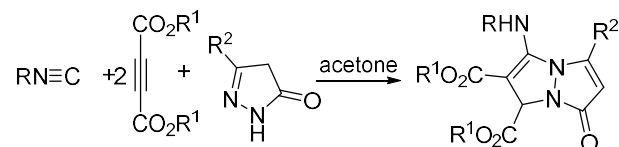


**1а,г 2а-в 60а-б 61а-г**

**1:** R=*t*-Bu (а), (г); **2:** R<sup>1</sup>= Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **60:** R<sup>2</sup>= Me (а), Et (б); **61:** R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Me, R<sup>2</sup>= Me (а); R=1,1,3,3-*Me*<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>= Et (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= *t*-Bu, R<sup>2</sup>= Et (в); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>= Me (г)

При взаимодействии алкилизоцианидов **1а-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-б** в присутствии 2,4-дигидро-3*H*-пиразол-3-онов **62а-б** в соотношении 1:1:1, удалось выделить замещенные 7-оксо-1*H*,7*H*-

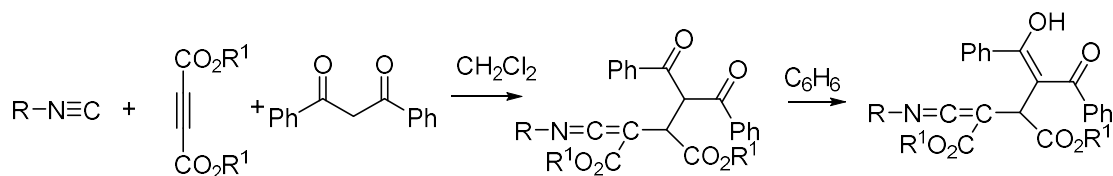
пиразоло[1,2-а]пиразолы **63а-в** с выходами порядка 69–81 % [55].



**1а-б 2а-б 62а-б 63а-в**

**1:** R=*t*-Bu (а), Cy (б); **2:** R<sup>1</sup>= Me (а), Et (б); **62:** R<sup>2</sup>= Me (а), Ph (б); **63:** R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Me, R<sup>2</sup>= Me (а); R=Cy, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>= Me (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Et, R<sup>2</sup>= Et (в)

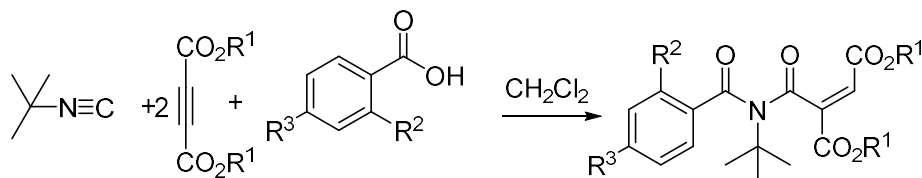
В результате реакции алкилизоцианидов **1а-б** с эфирами диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** в присутствии 1,3-дифенилпропан-1,3-диона **64** были выделены кетенимины **65а-г**, **66а-г** с довольно хорошими выходами [56].



**1а-б 2а-в 64 65а-г 66а-г**

**1:** R=*t*-Bu (а), Cy (б); **2:** R<sup>1</sup>= Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **65,66:** R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Me (а); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Et (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Bu (в); R=Cy, R<sup>1</sup>= Bu (г)

Трехкомпонентный синтез на основе изоцианидов может протекать так же в присутствии ароматических карбоновых кислот **67а-б**, помимо кислоты в реакцию вступает также *трет*-бутилизоцианид **1а** и

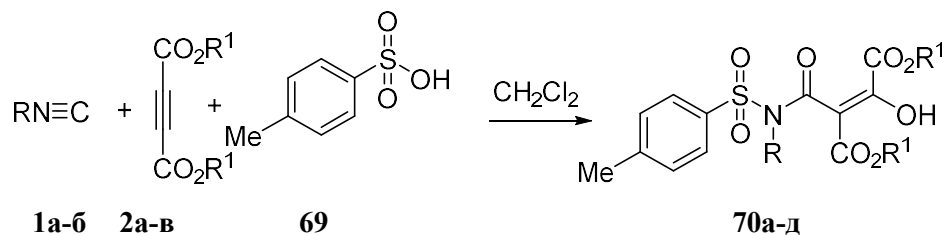


**1а 2а-г 67а-б 68а-з**

**2:** R<sup>1</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в), *i*-Pr (г); **67:** R<sup>2</sup>=H (а), OCOMe (б); R<sup>3</sup>=H (а), NO<sub>2</sub> (б); **68:** R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H (а); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H (б); R<sup>1</sup>=*i*-Pr, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H (в); R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H (г); R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>=H (д); R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>=H, R<sup>3</sup>= NO<sub>2</sub> (е); R<sup>1</sup>=Et, R<sup>2</sup>= OCOMe, R<sup>3</sup>= NO<sub>2</sub> (ж); R<sup>1</sup>= *t*-Bu, R<sup>2</sup>= OCOMe, R<sup>3</sup>= NO<sub>2</sub> (з)

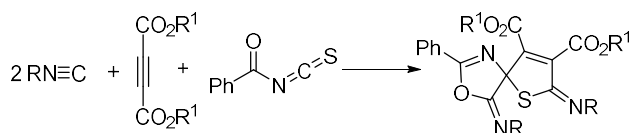
эфиры диалкил ацетилендикарбоновых кислот **2а-г** и образуются производные диалкил (*E*)-2-[[бензоил(*трет*-бутил)амино]карбонил]-2-бутендиоата **68а-з** [57].

Помимо ароматических карбоновых кислот, данный тип реакций может протекать и в присутствии ароматических сульфокислот. Реакция между алкилизоцианидом **1а-б** с



**1**: R=*t*-Bu (а), Cy (б); **2**: R<sup>1</sup>=Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **70**: R=Cy, R<sup>1</sup>=Me (а); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Me (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>=Et (в); R=, R<sup>1</sup>=*t*-Bu (д)

Отмечено, что алкил(арил)изоцианиды **1а,в,г** реагируют с бензоилизоотиоцианатом **71** в присутствии эфиров диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-в** или дибензоилацетилена с получением замещенных бис[алкил(арил)имино]-2-фенил-1-аза-спиро[4.4]нона-1,8-диен-8,9-дикарбоновых кислот **72а-и** [59].

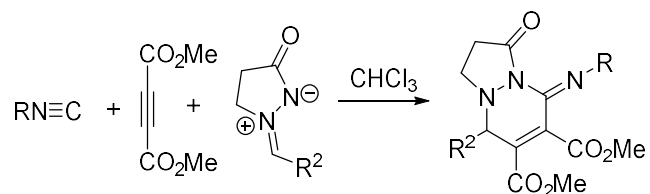


**1**: R=*t*-Bu (а), 2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(в), 1,3,3-Ме<sub>4</sub>Bu (г); **2**: R<sup>1</sup>= Me (а), Et (б), (в); **72**: R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Me (а); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= Et (б); R=*t*-Bu, R<sup>1</sup>= *i*-Pr (в); R=2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>= Me (г); R=2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>= Et (д); R=2,6-(Me)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>= *i*-Pr (е); R=1,3,3-Ме<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup>= Me (ж); R=1,3,3-Ме<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup>= Et (з); R=1,3,3-Ме<sub>4</sub>Bu, R<sup>1</sup>= *i*-Pr (и)

Недавно было обнаружено, что цвителионные интермедиаты, полученные от алкилизоцианидов и эфиров диалкилацетилендикарбоновых кислот, могут вступать в реакцию с 1,3-диполярофилами. Благодаря этому был найден новый и удобный способ синтеза 5-имино-2,3,5,8-тетрагидро-

алкиловыми эфирами ацетилендикарбоновой кислоты **2 а-в** в присутствии *p*-метилбензолсульфокислоты **69** приводит к продукту **70 а-д** [58].

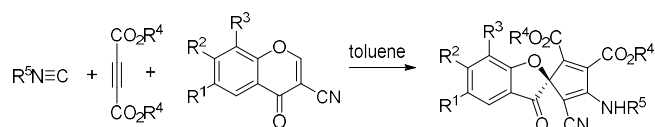
пиразолло[1,2-а]пиридазин-1-онов и пиразоло[1,2-а]пиридазиновых систем. Соединения **74а-л** были получены по реакции между алкилизоцианидами **1а-б** с диметилowym эфиром ацетилендикарбоновой кислоты **2а** и 1,3-диполярофилами **73а-з**. Реакция проходила в хлороформе в течение 12 часов [60].



**1**: R=*t*-Bu (а), Cy (б); **73**: R<sup>2</sup>= Ph (а), 4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б), 4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (в), 4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (г), 3-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (д), 3-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (е), 4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (ж), 4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (з); **74**: R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>= Ph (а); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (б); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (в); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-O<sub>2</sub>NC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (г); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=3-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (д); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=3-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (е); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (ж); R=Cy, R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (з); R=*t*-Bu, R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (и); R=Cy, R<sup>2</sup>=4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (к); R=Cy, R<sup>2</sup>=3-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (л)

Алкилизоцианиды **1а-б** могут вступать в реакции с замещенными 3-цианохромонами **75** в присутствии эфиров диалкилацетилендикарбоновых кислот **2а-б** и образуются

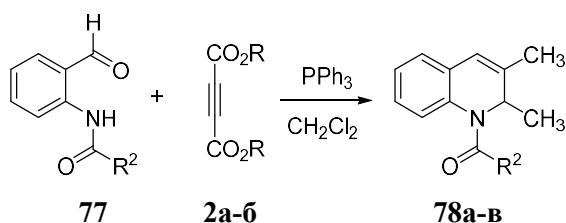
замещенные спиробензофураноциклопентадиены **76а-в** [61].



**1а-б**   **2а-б**   **75а-в**   **76 а-в**

**1:** R<sup>5</sup>=*t*-Bu (а), Cy (б); **2:** R<sup>4</sup>= Me (а), Et (б); **75:** R<sup>1</sup>=H (а), Me (б), Cl (в); R<sup>2</sup>= H (а), Me (б); R<sup>3</sup>=H (а), Cl (в); **76:** R<sup>1</sup>=H, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=H, R<sup>4</sup>= Me, R<sup>5</sup>=*t*-Bu (а); R<sup>1</sup>=H, R<sup>2</sup>= H, R<sup>3</sup>=H, R<sup>4</sup>= Me, R<sup>5</sup>=Cy (б); R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>= Me, R<sup>3</sup>=H, R<sup>4</sup>= Me, R<sup>5</sup>=*t*-Bu (в); R<sup>1</sup>=Me, R<sup>2</sup>= Cl, R<sup>3</sup>=Cl, R<sup>4</sup>= Me, R<sup>5</sup>=*t*-Bu (г); R<sup>1</sup>=Cl, R<sup>2</sup>= Cl, R<sup>3</sup>=H, R<sup>4</sup>= Me, R<sup>5</sup>=Cy (д)

При взаимодействии 2'-формилацетанилида **77** с диалкиловыми эфирами ацетилендикарбоновых кислот **2а-б** в присутствии трифенилфосфина образуются диалкиловые эфиры 1,2-дигидрохиолин-2,3-дикарбоновых кислот **78а-в** [62].



**1:** R= Me (а), Et (б), *t*-Bu (в); **2:** R<sup>2</sup>= Me (а), Ph (б); **78:** R= Me, R<sup>2</sup>= Me (а); R= Et, R<sup>2</sup>= Ph (б); R= Me, R<sup>2</sup>= Ph (в)

### Заключение

Таким образом, МКР в настоящее время – отдельное направление исследования, открывающее доступ к разнообразным гетероциклическим структурам, в том числе обладающим полезными свойствами. Важное место в этом классе реакций занимает трехкомпонентный синтез на основе эфиров ацетилендикарбоновой кислоты, карбонильных соединений и различных нуклеофилов (изоцианиды, трифенилфосфин).

Как видно из обзора, образование тех или иных соединений зависит от характера нуклеофила; реакции, как правило, протекают быстро, они атомэкономичные, просты по исполнению; а варьированием заместителей можно создать большие библиотеки органических соединений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ-17-43-590653.*

### Библиографический список

1. Dömling A., Ugi I. Multicomponent Reactions with Isocyanides / *Angew. Chem. Internat. Ed. Eng.*, 2000. Vol.18. № 39. P.3168–3210.
2. Winterfeldt E., Schumann D., Dillinger H. J. Struktur und Reaction des 2:1-Adduktes aus Acetylendicarbonester und Isonitrilen / *Chem. Ber.*, 1969. №102. P. 1656–1664.
3. Yavari I., Nasiri F., Moradi L., Djahaniani H. A simple approach to the synthesis of dialkyl 5-*tert*-butylamino-[2,2']bifuranyl-3,4-dicarboxylates / *Tetrahedron Lett.*, 2004. № 45. P. 7099–7101.
4. Mosslemin M. H., Anary-Abbasinejad M., Anaraki-Ardakani H. Reaction between Isocyanides, Dialkyl Acetylenedicarboxylates and 2-Hydroxy-1-aryl-2-(arylamino)ethanones: One-Pot Synthesis of Highly Functionalized 2-Aminofurans / *Synlett*, 2009. № 16. P. 2676–2678.
5. Alizadeh A., Rostamnia S., Hu M. L. A Novel Four-Component Reaction for the Synthesis of 2,5-Diaminofuran Derivatives / *Synlett*, 2006. № 10. P. 1592–1594.
6. Alizadeh A., Oskueyan Q., Rostamnia S. Synthesis of Nicotinamide and Isonicotinamide Derivatives via

- Multicomponent Reaction of Alkyl Isocyanides and Acetylenic Compounds in the Presence of Nicotinic or Isonicotinic Acid / *Synthesis*, 2007. № 17. P. 2637–2640.
7. *Hazeri N., Maghsoodlou M. T., Habibi-Khorassani S. M., Marandi G., Khandan-Barani K., Ziyaadini M., Aminkhani A.* Synthesis of novel 2-pyridyl- substituted 2,5-dihydro-2-imino- and 2-amino- furan derivatives via a three component condensation of alkyl isocyanides and acetylenic esters with di-(2-pyridyl) ketone or 2-pyridinecarboxaldehyde / *Arkivoc*, 2007. P.173-179.
8. *Alizadeh A., Oskueyan Q., Rostamnia S., Ghanbari-Niaki A., Mohebbi A. R.* Synthesis of Bis(aminofuryl)bicinchoninic Amides by a One-Pot Three-Component Reaction of Isocyanides, Acetylenic Esters, and Bicinchoninic Acid / *Synthesis*, 2008. №18. P. 2929-2932.
9. *Terzidis M. A., Stephanidou-Stephanatou J., Tsoleridis C. A.* One-Pot Synthesis of Chromenylfurandicarboxylates and Cyclopenta[b]chromenedicarboxylates Involving Zwitterionic Intermediates. A DFT Investigation on the Regioselectivity of the Reaction/*J. Org. Chem.*, 2010. №75. P. 1948-1955.
10. *Yavari I., Mokhtarporiyani-Sanandaj A., Moradi L., Mirzaei A.* Reaction of benzoyl chlorides with Huisgen's zwitterions: synthesis of functionalized 2,5-dihydro-1*H*-pyrroles and tetrasubstituted furans / *Tetrahedron*, 2008. №64. P. 5221-5225.
11. *Vijay N., J.Somarajan N, Vinod A. U., P. Rath N.* Triphenylphosphine promoted addition of dimethyl acylenedicarboxylate to 1,2-benzoquinones: facile synthesis of novel  $\gamma$ -spirolactones / *J. Chem. Soc., Perkin Trans.*, 1997 №1. P. 3129-3130.
12. *Esmaili A. A., Nasseri M. A., Vesalipoor H., Bijanzadeh H. R.* Triphenylphosphine promoted addition of acetylenic esters to benzofuran-2,3-dione: one-pot synthesis of Novel  $\gamma$ -Spirolactones / *ARKIVOC*, 2008 P. 343-349.
13. *Maghsoodlou M. T., Hazeri N., Habibi-Khorassani S. M., Ziyaadini M., Marandi G., Khandan-Barani K., Ebrahimi P., Gharati F. R., Sobolev A., Makha M.* Diastereoselective Synthesis of  $\gamma$ -Dispiroiminolactone Bearing Naphthalene or Bipyridine Pendant Groups / *J. Het. Chem.*, 2009. №46. P. 843-848.
14. *Maghsoodlou M. T., Hazeri N., Habibi-Khorassani S. M., Marandi G., Nassiri M.* 1,8-Diazafloren-9-one with Alkyl and Aryl Isocyanides in the Presence of Acetylenic Esters: A Facile Synthesis of  $\gamma$ -Spiroiminolactones / *J. Het. Chem.*, 2006. Vol.43. P.481-484.
15. *Esmaeile A. A., Darbanian M.* Reaction Between alkyl isocyanides and dialkyl acylenedicarboxylates in the presence of *N*-alkyl isatins: convenient synthesis of  $\gamma$ -spiroiminolactones / *Tetrahedron*, 2003. №59. P. 5545-5548.
16. *Maghsoodlou M. T., Hazeri N., Habibi-Khorasani S. M., Heydrari R., Marandi G., Nassiri M.* Reaction of Alkyl and Aryl Isocyanides with Floren-9-ones in the Presence of Acetylenic Esters: Preparation of  $\gamma$ -Spiroiminolactones / *Synth. Commun.*, 2005. №35. P. 2569-2574.
17. *Ghadari R., Hajishaabanha F., Mahyari M., Shaabani A., Khavasi H. R.* An unexpected route toward the synthesis of spiro-

- benzo[b]acridine-furan derivatives / Tetrahedron Lett., 2012. №53. P. 4018-4021.
18. *Aziian J., Karimi A. R., Mohammadi A. A., Mohammadizadeh M. R.* Three component synthesis of some  $\gamma$ -Spiroiminolactones under microwave-assisted solvent-free conditions / Heterocycl., 2004. Vol. 63. №10. P. 2225-2229.
19. *Maghsoodlou M. T., Habibi-Khorassani S. M., Hazeri N., Heydari R., Marandi G., Nassiri M.* The new  $\gamma$ -spiroiminolactone synthesis by reaction between alkyl or aryl isocyanides and 1,10-phenanthroline-5,6-dione in the presence of acetylenic esters / J. Chem. Res., 2006. P.220-222.
20. *Aziian J., Karimi A. R., Mohammadi A. A.* Synthesis of some novel  $\gamma$ -spiroiminolactones from reaction of cyclohexyl isocyanide and dialkyl acetylene dicarboxylates with 1-benzylisatin and tryptanthrine / Synth. Commun., 2003. Vol. 33. №3. P. 387-391.
21. *Nair V., Vinod A. U., Nair J. S., Sreekanth A. R., Rath N. P.* The reaction of cyclohexyl isocyanide and dimethyl acetylenedicarboxylate with *o*- and *p*-quinones: a novel synthesis of iminolactones / Tetrahedron Lett., 2000. №41. P. 6675-6679.
22. *Esmaeili A. A., Vesalipoor H.* Reaction of Isocyanides, Diakyl Acetylenedicarboxylates, and  $\alpha$ -KetoLactones: Unexpected Participation of an Esters Carbonyl Group in the Isocyanide-Based Three-Component Reaction / Synthesis, 2009. №10. P.1635-1638.
23. *Azizian J., Karimi A. R., Mohammadi A. A.* Synthesis of Some Novel  $\gamma$ -Spiroiminolactones from Reaction of Cyclohexyl Isocyanide and Dialkyl Acetylene Dicarboxylates with 1-Benzylisatin and Tryptanthrine / Synth. Commun., 2003. Vol. 33. №3. P. 387-391.
24. *Maghsoodlou M. T., Hazeri N., Habibi-Khorassani S. M., Marandi G., Nassiri M.*  $\gamma$ -Spiroiminolactones synthesis by reaction of acetylenic esters and dicarbonyl compounds in the presence of aryl isocyanide / Synth. Commun., 2005. №35. P. 2771-2777.
25. *Hazeri N., Maghsoodlou M. T., Habibi-Khorassani S. M., Ziyaadini M., Marandi G., Khandan-Barani K., Bijanzadeh H. R.*  $\gamma$ -Dispiro-iminolactone synthesis by three component reaction between alkyl isocyanides and acetylenic esters with  $\alpha$ -dicarbonyl compounds / ARKIVOC, 2007. №13. P. 34-40.
26. *Sarvary A., Shaabani S., Shaabani A., Ng S. W.* Synthesis of functionalized iminolactones via an isocyanide-based three-component reaction / Tetrahedron, 2011. №67. P. 3624-3630.
27. *Ramazani A., Rezaei A., Mahyari A. T., Rouhani M., Khoobi M.* Three-Component Reaction of an Isocyanide and a Dialkyl Acetylenedicarboxylate with a Phenacyl Halide in the Presence of Water: An Efficient Method for the One-Pot Synthesis of  $\gamma$ -Iminolactone Derivatives / Helv. Chim. Acta, 2010. Vol.93. P. 2033-2036.
28. *Esmaeili A. A., Zendegani H.* Three-component reactions involving zwitterionic intermediates for the construction of heterocyclic systems: one pot synthesis of highly functionalized  $\gamma$ -iminolactones / Tetrahedron, 2005. №61. P. 4031-4034.
29. *Yavari I., Sabbaghan M., Hossaini Z.* Efficient synthesis of functionalized 2,5-dihydrofurans and 1,5-dihydro-2H-pyrrol-2-ones by reaction of isocyanides with activated acetylenes in the

- presence of hexachloroacetone / *Monatsh. Chem.*, 2008. №139. P. 625-628.
30. *Hossaini Z., Hamadi H., Charati F. R., Khoobi M., Shaftee A.* Isocyanide-Based Three-Component Synthesis of Functionalized 5-Alkylimino-2,5-dihydrofuran-3,4-dicarboxylate and Their Conversion to Substituted Furanones / *J. Het. Chem.*, 2011. Vol.48. P.626-633.
31. *Asghari S., Khabbazi-Habibi A.* Reactivity of Various  $\alpha$ -halo ketones in One-Pot Synthesis of  $\gamma$ -Iminolactones / *Synth. Commun.*, 2012. №42. P. 2894-2906.
32. *Shaabani A., Soleimani E., Sarvary A., Rezayan A. H.* A simple and efficient approach to the synthesis of 4*H*-furo[3,4-*b*]pyrans via a three-component reaction of isocyanides / *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, 2008. №18. P. 3968-3970.
33. *Yavari I., Adib M., Sayahi M. H.* Reaction between isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of 3-methylcyclopentane-1,2,4-trione. One-Pot diastereoselective synthesis of tetrahydrocyclopenta[*b*]pyran derivatives / *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, 2002. P. 2343-2346.
34. *Cao H., Zhong H., Lin Y., Yang L.* DABSO-catalyzed C-C bond formation reaction between electron-deficient alkynes and 1,3-dicarbonyl compounds / *Tetrahedron*, 2012. №68. P. 4042-4047.
35. *Kabiri R., Hazeri N., Habibi-Khorassani S. M., et. al.* Synthesis, dynamic  $^1\text{H}$  NMR and theoretical study of aryl-nitrogen single bond rotational energy barriers in highly functionalized 4*H*-chromenes / *ARKIVOC*, 2008. №17. P.12-19.
36. *Maghsoodlou M. T., Yavari I., Nassiri F., Djahaniani H., Razmjoo Z.* Reaction Between Alkyl Isocyanides and Cyclic 1,3-Diketones: A Convenient Synthesis of Functionalized 4*H*-Pyrans / *Monatsh. Chem.*, 2003. №134. P. 1585-1591.
37. *Yavari I., Sirouspour M., Souri S.* Three-component synthesis of functionalized 5-oxo-4,5-dihydroindeno[1,2-*b*]pyrans / *Mol. Divers.*, 2006. №10. P. 265-270.
38. *Bayat M., Shiraz N. Z., Asayesh S. S.* One-Pot Synthesis of Functionalized Fused 4*H*-Pyran Systems / *J. Het. Chem.*, 2010. Vol.47. P.857-860.
39. *Teimouri M. B., Bazhrang R., Eslamimanesh V., Nouri A.* Reaction between isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of strong CH-acids: one-pot synthesis of highly functionalized annulated 4*H*-pyrans / *Tetrahedron*, 2006. №62. P. 3016-3020.
40. *Shaabani A., Sarvary A., Rezayan A. H., Keshipour S.* Synthesis of pyrano[2,3-*c*]pyrazole derivatives via a multicomponent reaction of isocyanides / *Tetrahedron*, 2009. №65. P. 3492-3495.
41. *Yavari I., Esmaili A. A., Asghari S., Bijanzadeh H. R.* A New and Efficient One-pot Synthesis of Trialkyl 6-*tert*-Butylamino-2*H*-pyran-2-one-3,4,5-tricarboxylates / *J. Chem. Res.*, 1999. P.368-369.
42. *Асгару С., Заты М., Сафурпу С.* Хемоселективный синтез диалкиловых эфиров 2-(трет-бутиламино)-6-метил-5-трифторацетил-4*H*-пиран-3,4-дикарбоновой кислоты / *Известия Академии наук. Серия химическая*, 2004. №8. С. 1695-1696.
43. *Azizian J., Ramazani A., Haji M.* Synthesis of Dialkyl 2-(Alkylamino)-4,9-dihydro-9-oxo-



- cyclohepta[b]pyran-3,4-dicarboxylates* / *Helv. Chim. Acta*, 2011. Vol.94. P. 371-374.
44. *Khalilzadeh M. A., Hossaini Z., Baradarani M. M., Hasannia A. A novel isocyanide-based three-component: a facile synthesis of substituted 2H-pyran-3,4-dicarboxylates* / *Tetrahedron*, 2010. №66. P. 8464-8467.
45. *Nair V., Menon R. S., Deepthi A., Devi B. R., Biju A. T. One-pot, four-component reaction of isocyanides, dimethyl acetylenedicarboxylate, and cyclobutene-1,2-diones: a synthesis of novel spiroheterocycles* / *Tetrahedron Lett.*, 2005. №46. P. 1337-1339.
46. *Nasiri F., Nazem F., Pourdavaie K. Chemo- and stereoselective reaction between alkyl isocyanides and dimethyl 1,3-acetylenedicarboxylate in the presence of acetylenic esters* / *Mol. Divers.*, 2007. №11. P. 101-105.
47. *Baharfar R., Vahdat S. M., Ahmadian M., Taghizadeh M. J. An efficient multicomponent transformation of alkyl isocyanides, dialkyl acetylenedicarboxylates, and 2,4-dihydroxybenzophenones or 2,4-dihydroxyacetophenones into 2-amino-4H-chromene derivatives* / *Monatsh. Chem.*, 2010. №141. P. 213-218.
48. *Yavari I., Djahanian H., Nasiri F. Synthesis of Coumarines and 4H-Chromenes through the Reaction of tert-Butyl Isocyanide and Dialkyl Acetylenedicarboxylates in Presence of 2-Hydroxybenzaldehydes* / *Synthesis*, 2004. №5. P. 679-682.
49. *Shaabani A., Ghadari R., Sarvary A., Rezayan A. H. Synthesis of Highly Functionalized Bis(4H-chromene) and 4H-Benzo[g]chromene Derivatives via an Isocyanide-Based Pseudo-Five-Component Reaction* / *J. Org. Chem.*, 2009. Vol.74. №11. P. 4372-4374.
50. *Nair V., Mathen J. S., Viji S., et. al. Diisopropylaminoisocyanide and DMAD in multiple component reactions (MCRs): novel synthesis of substituted 1-amino-3-pyrrolin-2-ones by reaction with aldehydes and dicarbonyl compounds* / *Tetrahedron*, 2002. №58. P. 8113-8118.
51. *Koca I., Yildirim I., Sahin E. Multicomponent Reactions of Furan-2,3-diones: Synthesis and Characterizations of Furo[3,2-c]pyran-4-ones* / *Helvetica Chimica Acta*, 2010. Vol. 93. P. 1336-1343.
52. *Alizadeh A., Hosseinpour R., Rostamnia S. Synthesis of 4-hydroxy-1H-pyrrole-2,3-dicarboxylic acid derivatives: unusual coupling of acetylenic esters and  $\alpha$ -amino acids in the presence of cyclohexyl isocyanide or N,N-dicyclohexylcarbodiimide* / *Synthesis*, 2008. P. 2462-2466.
53. *Yavari I., Moradi L. One-Pot Synthesis of Pentaalkyl 7-[(Alkylamino)carbonyl]-2-oxa-1-azabicyclo[3.2.0]hept-3-ene-3,4,5,6,7-pentacarboxylate* / *Helv. Chim. Acta*, 2006. Vol.89. P. 1942-1946.
54. *Alizadeh A., Masrouri H., Rostamnia S., Movahedi F. One-Step Synthesis of Dialkyl 2-[(4-Methylphenyl)sulfonyl]-1H-pyrrole-3,4-dicarboxylates by Reaction of Acetylenedicarboxylates with "Tosylmethyl Isocyanide" (TsMIC) and Triphenylphosphine* / *Helv. Chim. Acta*, 2006. Vol.89. P. 923-926.
55. *Adib M., Sayahi M. H., Aghaaliakbari B., Bijanzadeh H. R. Reaction between isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of 2,4-dihydro-3H-pyrazol-3-ones. One-Pot synthesis of highly functionalized 7-oxo-1H,7H-pyrazolo[1,2-a]-pyrazoles* / *Tetrahedron*, 2005. №61. P. 3963-3966.

56. Yavari I., Davar-Panah M., Heydari M., et. al. Facile Route to Highly Functionalized Ketene-imines / *Monatsh. Chem.*, 1996. №127. P. 963-966.
57. Alizadeh A., Rostamnia S., Zhu L. G. Reaction between *tert*-butyl isocyanide, dialkyl acetylenedicarboxylates, and aromatic carboxylic acids: an efficient method for the synthesis of dialkyl (E)-2-[(benzoyl(*tert*-butyl)amino)carbonyl]-2-butenedioate derivatives / *Tetrahedron*, 2006. №62. P. 5641-5644.
58. Alizadeh A., Rostamnia S., Esmaili A. A. Synthesis of Functionalized Sulfonamides via Multicomponent Reaction of Alkyl Isocyanide and Dialkyl Acetylenedicarboxylate with 4-Methylbenzenesulfonic Acid Monohydrate / *Synthesis*, 2007. №5. P. 709-712.
59. Yavari I., Djahaniani H. One-step synthesis of substituted 4,7-bis[alkyl(aryl)imino]-3-oxa-6-thia-1-azaspiro[4.4]nona-1,8-dienes / *Tetrahedron Lett.*, 2005. №46. P. 7491-7493.
60. Fan M. J., Xie Y. X., Wu L. Y., et. al. One-Pot, Three-Component Synthesis of 5-Imino-2,3,5,8-tetrahydro-pyrazolo[1,2-a]pyridazin-1-one Derivatives / *Synthesis*, 2009. №10. P. 1689-1693.
61. Zarganes-Tzitzikas T., Terzidis M. A., Stephanidou-Stephanatou J., et. al. One-Pot Synthesis of Functionalized Spirobenzofuranones via MCR involving 3-Cyanochromones / *J. Org. Chem.*, 2011. Vol.76. P. 9008-9014.
62. Yavari I., Ramazani A., Esmaili A. A. One-step Synthesis of Dialkyl 1,2-Dihydroquinoline-2,3-dicarboxylates. A Vinyltriphenylphosphonium Salt Mediated Intramolecular Wittig Reaction / *J. Chem. Research.*, 1997. P. 208-209.

## References

- Dömling, A., Ugi, I. (2000), "Multicomponent Reactions with Isocyanides", *Angewandte Chemie Internat. Ed. Eng.*, Vol.18, no. 39, pp.3168-3210.
- Winterfeldt, E., Schumann, D., Dillinger, H. J. (1969), "Struktur und Reaction des 2:1-Adduktes aus Acetylenedicarboxyester und Isocyanid", *Chem. Ber.*, no. 102, pp. 1656-1664.
- Yavari, I., Nasiri, F., Moradi, L., Djahaniani, H. (2004), "A Simple approach to the synthesis of dialkyl 5-*tert*-butylamino-[2,2']bifuranyl-3,4-dicarboxylates", *Tetrahedron Lett.*, no. 45, pp. 7099-7101.
- Mosslemin, M. H., Anary-Abbasinejad, M., Anaraki-Ardakan, H. (2009), "Reaction between Isocyanides, Dialkyl Acetylenedicarboxylates and 2-Hydroxy-1-aryl-2-(arylamino)ethanones: One-Pot Synthesis of Highly Functionalized 2-Aminofurans", *Synlett*, no. 16, pp. 2676-2678.
- Alizadeh, A., Rostamnia, S., Hu M. L. (2006), "A Novel Four-Component Reaction for the Synthesis of 2,5-Diaminofuran Derivatives", *Synlett*, no. 10, pp. 1592-1594.
- Alizadeh, A., Oskueyan Q., Rostamnia, S. (2007), "Synthesis of Nicotinamide and Isonicotinamide Derivatives via Multicomponent Reaction of Alkyl Isocyanides and Acetylenic Compounds in the Presence of Nicotinic or Isonicotinic Acid", *Synthesis*, no. 17, pp. 2637-2640.
- Hazeri, N., Maghsoodlou M. T., Habibi-Khorassani, S. M., Marandi G., Khandan-Barani, K., Ziyaadini, M., Aminkhani, A. (2007), "Synthesis of novel 2-pyridyl-substituted 2,5-dihydro-2-imino- and 2-amino-

- furan derivatives via a three component condensation of alkyl isocyanides and acetylenic esters with di-(2-pyridyl) ketone or 2-pyridinecarboxaldehyde”, *ARKIVOC*, pp.173-179.
8. Alizadeh, A., Oskueyan Q., Rostamnia, S., Ghanbari-Niaki, A., Mohebbi A. R. (2008), “Synthesis of Bis(aminofuryl)bicinchoninic Amides by a One-Pot Three-Component Reaction of Isocyanides, Acetylenic Esters, and Bicinchoninic Acid”, *Synthesis*, no. 18, pp. 2929-2932.
  9. Terzidis, M. A., Stephanidou-Stephanatou, J., Tsoleridis, C. A. (2010), “One-Pot Synthesis of Chromenylfurandicarboxylates and Cyclopenta[b]chromenedicarboxylates Involving Zwitterionic Intermediates. A DFT Investigation on the Regioselectivity of the Reaction”, *J. Org. Chem.*, no 75, pp. 1948-1955.
  10. Yavari, I., Mokhtarporiani-Sanandaj, A., Moradi, L., Mirzaei, A. (2008), “Reaction of benzoyl chlorides with Huisgen’s zwitterions: synthesis of functionalized 2,5-dihydro-1H-pyrroles and tetrasubstituted furans”, *Tetrahedron*, no. 64, pp. 5221-5225.
  11. Vijay, N., J.Somarajan N, Vinod, A. U., P. Rath, N. (1997), “Triphenylphosphine promoted addition of dimethyl acetylenedicarboxylate to 1,2-benzoquinones: facile synthesis of novel  $\gamma$ -spirolactones”, *J. Chem. Soc., Perkin Trans.*, no. №1, pp. 3129-3130.
  12. Esmaili, A. A., Nasser, M. A., Vesalipoor, H., Bijanzadeh, H. R. (2008), “Triphenylphosphine promoted addition of acetylenic esters to benzofuran-2,3-dione: one-pot synthesis of Novel  $\gamma$ -Spirolactones”, *ARKIVOC*, pp. 343-349.
  13. Maghsoodlou, M. T., Hazeri, N., Habibi-Khorassani, S. M., et al. (2009), “Diastereoselective Synthesis of  $\gamma$ -Dispiroiminolactone Bearing Naphthalene or Bipyridine Pendant Groups”, *J. Het. Chem.*, no. 46, pp. 843-848.
  14. Maghsoodlou, M. T., Hazeri, N., Habibi-Khorassani, S. M., Marandi, G., Nassiri, M. (2006), “1,8-Diazafloren-9-one with Alkyl and Aryl Isocyanides in the Presence of Acetylenic Esters: A Facile Synthesis of  $\gamma$ -Spiroiminolactones”, *J. Het. Chem.*, vol.43, pp.481-484.
  15. Esmaeile, A. A., Darbanian, M. (2003), “Reaction between alkyl isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of N-alkyl isatins: convenient synthesis of  $\gamma$ -spiro-iminolactones”, *Tetrahedron*, no. 59, pp. 5545-5548.
  16. Maghsoodlou, M. T., Hazeri, N., Habibi-Khorassani, S. M., Heydrari, R., Marandi, G., Nassiri, M. (2005), “Reaction of Alkyl and Aryl Isocyanides with Floren-9-ones in the Presence of Acetylenic Esters: Preparation of  $\gamma$ -Spiroiminolactones”, *Synth. Commun.*, no 35, pp. 2569-2574.
  17. Ghadari, R., Hajishaabaha, F., Mahyari, M., Shaabani, A., Khavasi, H. R. (2012), “An unexpected route toward the synthesis of spiro-benzo[b]acridine-furan derivatives”, *Tetrahedron Lett.*, no. 53, pp. 4018-4021.
  18. Azian, J., Karimi, A. R., Mohammadi, A. A., Mohammadzadeh, M. R. (2004), “Three component synthesis of some  $\gamma$ -Spiroiminolactones under microwave-assisted solvent-free conditions”, *Heterocyclic*, vol. 63, no. 10, pp. 2225-2229.
  19. Maghsoodlou, M. T., Habibi-Khorassani, S. M., Hazeri, N., Heydari, R., Marandi, G.,

- Nassiri, M. (2006), The new  $\gamma$ -spiroiminolactone synthesis by reaction between alkyl or aryl isocyanides and 1,10-phenanthroline-5,6-dione in the presence of acetylenic esters, *J. Chem. Res.*, pp.220-222.
20. Aziian, J., Karimi, A. R., Mohammadi, A. A. (2003), "Synthesis of some novel  $\gamma$ -spiroiminolactones from reaction of cyclohexyl isocyanide and dialkyl acetylene dicarboxylates with 1-benzylisatin and tryptanthrine", *Synth. Commun.*, vol. 33, no. 3, pp. 387-391.
21. Nair, V., Vinod, A. U., Nair, J. S., Sreekanth, A. R., Rath, N. P. (2000), "The reaction of cyclohexyl isocyanide and dimethyl acetylenedicarboxylate with *o*- and *p*-quinones: a novel synthesis of iminolactones", *Tetrahedron Lett.*, no. 41, pp. 6675-6679.
22. Esmaeili, A. A., Vesalipoor, H. (2009), "Reaction of Isocyanides, Dialkyl Acetylenedicarboxylates, and  $\alpha$ -KetoLactones: Unexpected Participation of an Esters Carbonyl Group in the Isocyanide-Based Three-Component Reaction", *Synthesis*, no. 10, pp.1635-1638.
23. Azizian, J., Karimi, A. R., Mohammadi, A. A. (2003), "Synthesis of Some Novel  $\gamma$ -Spiroiminolactones from Reaction of Cyclohexyl Isocyanide and Dialkyl Acetylene Dicarboxylates with 1-Benzylisatin and Tryptanthrine", *Synth. Commun.*, vol. 33, no. 3, pp. 387-391.
24. Maghsoodlou, M. T., Hazeri, N., Habibi-Khorassani, S. M., Marandi, G., Nassiri, M. (2005), " $\gamma$ -Spiroiminolactones synthesis by reaction of acetylenic esters and dicarbonyl compounds in the presence of aryl isocyanide", *Synth. Commun.*, no. 35, pp. 2771-2777.
25. Hazeri, N., Maghsoodlou, M. T., Habibi-Khorassani, S. M., Ziyaadini, M., Marandi, G., Khandan-Barani, K., Bijanzadeh, H. R. (2007), " $\gamma$ -Dispiroiminolactone synthesis by three component reaction between alkyl isocyanides and acetylenic esters with  $\alpha$ -dicarbonyl compounds", *ARKIVOC*, no. 13, pp. 34-40.
26. Sarvary, A., Shaabani, S., Shaabani, A., Ng S. W. (2011), "Synthesis of functionalized iminolactones via an isocyanide-based three-component reaction", *Tetrahedron*, no. 67, pp. 3624-3630.
27. Ramazani, A., Rezaei, A., Mahyari, A. T., Rouhani, M., Khoobi, M. (2010), "Three-Component Reaction of an Isocyanide and a Dialkyl Acetylenedicarboxylate with a Phenacyl Halide in the Presence of Water: An Efficient Method for the One-Pot Synthesis of  $\gamma$ -Iminolactone Derivatives", *Helvetica Chimica Acta*, vol.93, pp. 2033-2036.
28. Esmaeili, A. A., Zendegani, H. (2005), "Three-component reactions involving zwitterionic intermediates for the construction of heterocyclic systems: one pot synthesis of highly functionalized  $\gamma$ -iminolactones", *Tetrahedron*, no. 61, pp. 4031-4034.
29. Yavari, I., Sabbaghan, M., Hossaini, Z. (2008), "Efficient synthesis of functionalized 2,5-dihydrofurans and 1,5-dihydro-2H-pyrrol-2-ones by reaction of isocyanides with activated acetylenes in the presence of hexachloroacetone", *Monatsh. Chem.*, no. 139, pp. 625-628.
30. Hossaini, Z., Hamadi, H., Charati, F. R., Khoobi, M., Shaftee, A. (2011), "Isocyanide-Based Three-Component Synthesis of Functionalized 5-Alkylimino-2,5-dihydrofuran-3,4-dicarboxylate and Their Conversion to Substituted Furanones", *J. Het. Chem.*, vol.48, pp.626-633.

31. Asghari, S., Khabbazi-Habibi, A. (2012), "Reactivity of Various  $\alpha$ -halo ketones in One-Pot Synthesis of  $\gamma$ -Iminolactones", *Synth. Commun.*, no. 42, pp. 2894-2906.
32. Shaabani, A., Soleimani, E., Sarvary, A., Rezayan, A. H. (2008), "A simple and efficient approach to the synthesis of 4H-furo[3,4-b]pyrans via a three-component reaction of isocyanides", *Bioorg. Med. Chem. Lett.*, no. 18, pp. 3968-3970.
33. Yavari, I., Adib, M., Sayahi, M. H. (2002), "Reaction between isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of 3-methylcyclopentane-1,2,4-trione. One-Pot diastereoselective synthesis of tetrahydrocyclopenta[b]pyran derivatives", *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1*, pp. 2343-2346.
34. Cao, H., Zhong, H., Lin, Y., Yang, L. (2012), "DABSO-catalyzed C-C bond formation reaction between electron-deficient alkynes and 1,3-dicarbonyl compounds", *Tetrahedron*, no. 68, pp. 4042-4047.
35. Kabiri, R., Hazeri, N., Habibi-Khorassani, S. et al. (2008), "Synthesis, dynamic  $^1\text{H}$  NMR and theoretical study of aryl-nitrogen single bond rotational energy barriers in highly functionalized 4H-chromenes", *ARKIVOC*, no. 17, pp. 12-19.
36. Maghsoodlou, M. T., Yavari, I., Nassiri, F., et al. (2003), "Reaction Between Alkyl Isocyanides and Cyclic 1,3-Diketones: A Convenient Synthesis of Functionalized 4H-Pyran", *Monatsh. Chem.*, no. 134, pp. 1585-1591.
37. Yavari, I., Sirouspour, M., Souri S. (2006), "Three-component synthesis of functionalized 5-oxo-4,5-dihydroindeno[1,2-b]pyrans", *Mol. Divers.*, no. 10, pp. 265-270.
38. Bayat, M., Shiraz, N. Z., Asayesh, S. S. (2010), "One-Pot Synthesis of Functionalized Fused 4H-Pyran Systems", *J. Het. Chem.*, vol. 47, pp. 857-860.
39. Teimouri, M. B., Bazhrang, R., Eslamimanesh, V., Nouri, A. (2006), "Reaction between isocyanides and dialkyl acetylenedicarboxylates in the presence of strong CH-acids: one-pot synthesis of highly functionalized annulated 4H-pyran", *Tetrahedron*, no. 62, pp. 3016-3020.
40. Shaabani, A., Sarvary, A., Rezayan, A. H., Keshipour, S. (2009), "Synthesis of pyrano[2,3-c]pyrazole derivatives via a multicomponent reaction of isocyanides", *Tetrahedron*, no. 65, pp. 3492-3495.
41. Yavari, I., Esmaili, A. A., Asghari, S., Bijanzadeh, H. R. (1999), "A New and Efficient One-pot Synthesis of Trialkyl 6-*tert*-Butylamino-2H-pyran-2-one-3,4,5-tricarboxylates", *J. Chem. Res.*, pp. 368-369.
42. Asghari, S., Zaty, M., Safhiri, S. (2004), "Chemoselectivity dialkylated synthesis of esters of 2-(*tert*-butylamino)-6-methyl-5-triisopropylamino-4H-pyran-3,4-dicarboxylic acid", *Russian Chemical Bulletin*, no. 8, pp. 1695-1696.
43. Azizian, J., Ramazani, A., Haji, M. (2011), "Synthesis of Dialkyl 2-(Alkylamino)-4,9-dihydro-9-oxocyclohepta[b]pyran-3,4-dicarboxylates", *Helvetica Chimica Acta*, vol. 94, pp. 371-374.
44. Khalilzadeh, M. A., Hossaini, Z., Baradarani, M. M., Hasannia, A. (2010), "A novel isocyanide-based three-component: a facile synthesis of substituted 2H-pyran-3,4-dicarboxylates", *Tetrahedron*, no. 66, pp. 8464-8467.

45. Nair, V., Menon, R. S., Deepthi, A., et. al. (2005), "One-pot, four-component reaction of isocyanides, dimethyl acetylenedicarboxylate, and cyclobutene-1,2-diones: a synthesis of novel spiroheterocycles", *Tetrahedron Lett.*, no. 46, pp. 1337-1339.
46. Nasiri, F., Nazem, F., Pourdavaie, K. (2007), "Chemo- and stereoselective reaction between alkyl isocyanides and dimethyl 1,3-acetonedicarboxylate in the presence of acetylenic esters", *Mol. Divers.*, no. 11, pp. 101-105.
47. Baharfar, R., Vahdat, S. M., Ahmadian, M., Taghizadeh, M. J. (2010), "An efficient multicomponent transformation of alkyl isocyanides, dialkyl acetylenedicarboxylates, and 2,4-dihydroxybenzophenones or 2,4-dihydroxyacetophenones into 2-amino-4H-chromene derivatives", *Monatsh. Chem.*, no. 141, pp. 213-218.
48. Yavari, I., Djahanian, H., Nasiri, F. (2004), "Synthesis of Coumarines and 4H-Chromenes through the Reaction of tert-Butyl Isocyanide and Dialkyl Acetylenedicarboxylates in Presence of 2-Hydroxybenzaldehydes", *Synthesis*, no. 5, pp. 679-682.
49. Shaabani, A., Ghadari, R., Sarvary, A., et. al. (2009), "Synthesis of Highly Functionalized Bis(4H-chromene) and 4H-Benzo[g]chromene Derivatives via an Iso-cyanide-Based Pseudo-Five-Component Reaction", *J. Org. Chem.*, vol. 74, no. 11, pp. 4372-4374.
50. Nair, V., Mathen, J. S., Viji, S., et. al. (2002), "Diiso-propylaminoisocyanide and DMAD in multiple component reactions (MCRs): novel synthesis of substituted 1-amino-3-pyrrolin-2-ones by reaction with aldehydes and dicarbonyl compounds", *Tetrahedron*, no. 58, pp. 8113-8118.
51. Koca, I., Yildirim, I., Sahin, E. (2010), "Multicomponent Reactions of Furan-2,3-diones: Synthesis and Characterizations of Furo[3,2-c]pyran-4-ones", *Helvetica Chimica Acta*, vol. 93, pp. 1336-1343.
52. Alizadeh, A., Hosseinpour, R., Rostamnia, S. (2008), "Synthesis of 4-hydroxy-1H-pyrrole-2,3-dicarboxylic acid derivatives: unusual coupling of acetylenic esters and  $\alpha$ -amino acids in the presence of cyclohexyl isocyanide or N,N-dicyclohexylcarbodiimide", *Synthesis*, pp. 2462-2466.
53. Yavari, I., Moradi, L. (2006), "One-Pot Synthesis of Pentaalkyl 7-[(Alkyl-amino)-carbonyl]-2-oxa-1-azabicyclo[3.2.0]-hept-3-ene-3,4,5,6,7-pentacarboxylate", *Helvetica Chimica Acta*, vol. 89, pp. 1942-1946.
54. Alizadeh, A., Masrouri, H., Rostamnia, S., Movahedi, F. (2006), "One-Step Synthesis of Dialkyl 2-[(4-Methylphenyl)sulfonyl]-1H-pyrrole-3,4-dicarboxylates by Reaction of Acetylenedicarboxylates with "Tosylmethyl Isocyanide" (TsMIC) and Triphenylphosphine", *Helvetica Chimica Acta*, vol. 89, pp. 923-926.
55. Adib, M., Sayahi, M. H., Aghaaliakbari, B., et. al. (2005), "Reaction between isocyanides and dialkyl acetylene-dicarboxylates in the presence of 2,4-dihydro-3H-pyrazol-3-ones. One-Pot synthesis of highly functionalized 7-oxo-1H,7H-pyrazolo[1,2-a]pyrazoles", *Tetrahedron*, no. 61, pp. 3963-3966.
56. Yavari, I., Davar-Panah, M., Heydari, M., et. al. (1996), "Facile Route to Highly Functionalized Ketenimines", *Monatsh. Chem.*, no. 127, pp. 963-966.
57. Alizadeh, A., Rostamnia, S., Zhu L. G. (2006), "Reaction between tert-butyl isocyanide, dialkyl acetylenedicarboxylates, and aromatic

- carboxylic acids: an efficient method for the synthesis of dialkyl (E)-2-[[benzoyl(tert-butyl)amino]carbonyl]-2-butenedioate derivatives”, *Tetrahedron*, no. 62, pp. 5641-5644.
58. Alizadeh, A., Rostamnia, S., Esmaili, A. A. (2007), “Synthesis of Functionalized Sulfonamides via Multicomponent Reaction of Alkyl Isocyanide and Dialkyl Acetylenedicarboxylate with 4-Methylbenzenesulfonic Acid Monohydrate”, *Synthesis*, no. 5, pp. 709-712.
59. Yavari, I., Djahaniani, H. (2005), “One-step synthesis of substituted 4,7-bis[alkyl(aryl)-imino]-3-oxa-6-thia-1-azaspiro[4.4]nona-1,8-dienes”, *Tetrahedron Lett.*, no. 46, pp. 7491-7493.
60. Fan, M. J., Xie, Y. X., Wu, L. Y., et. al. (2009), “A Novel One-Pot, Three-Component Synthesis of 5-Imino-2,3,5,8-tetrahydropyrazolo[1,2-a]pyridazin-1-one Derivatives”, *Synthesis*, no. 10, pp. 1689-1693.
61. Zarganes-Tzitzikas, T., Terzidis, M. A., Stephanidou-Stephanatou, J., et. al. (2011), “One-Pot Synthesis of Functionalized Spirobezofuranones via MCR involving 3-Cyanochromones”, *J. Org. Chem.*, vol. 76, pp. 9008-9014.
62. Yavari, I., Ramazani, A., Esmaili, A. A. (1997), “One-step Synthesis of Dialkyl 1,2-Dihydroquinoline-2,3-dicarboxylates. A Vinyltriphenylphosphonium Salt Mediated Intramolecular Wittig Reaction”, *J. Chem. Research*, pp. 208-209.

#### Об авторах

Лисовенко Наталья Юрьевна,  
кандидат химических наук, доцент  
кафедры фармакологии и фармации  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет»  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.  
lisovn@mail.ru

Дряхлов Артём Васильевич  
студент,  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный  
национальный исследовательский  
университет»  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15.

#### About the authors

Lisovenko Natalya Yurevna  
Candidate of Chemistry, Associate Professor  
Of the Department of Pharmacology and Pharmacy  
614990, Perm State University.  
15, Bukireva st., Perm, Russia.  
lisovn@mail.ru

Dryahlov Artem Vasil'evich  
student  
614990, Perm State University.  
15, Bukireva st., Perm, Russia.

#### Информация для цитирования

Лисовенко Н.Ю., Дряхлов А.В. Трёхкомпонентный синтез на основе изонитрилов (трифенилфосфина), эфиров ацетилендикарбоновой кислоты и карбонильных соединений как метод построения гетероциклических систем (обзор литературы) // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2017. Т. 7. Вып. 4. С. 406–428. DOI: 10.17072/2223-1838-2017-4-406-428.

Lisovenko N.Yu., Driakhlov A.V. Trekhkomponentnyi sintez na osnove izonitrilov (trifenilfosfina), efirov atsetilendikarbonovoi kisloty i karbonilnykh soedinenii kak metod postroeniia geterotsiklicheskiikh sistem (obzor literatury) [Three-component synthesis based on isonitrile (triphenylphosphine), esters acetylenedicarboxylic acid and carbonyl compounds as a method of constructing heterocyclic systems (review)] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2017. Vol. 7. Issue 4. P. 406–428 (in Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2017-4-406-428.