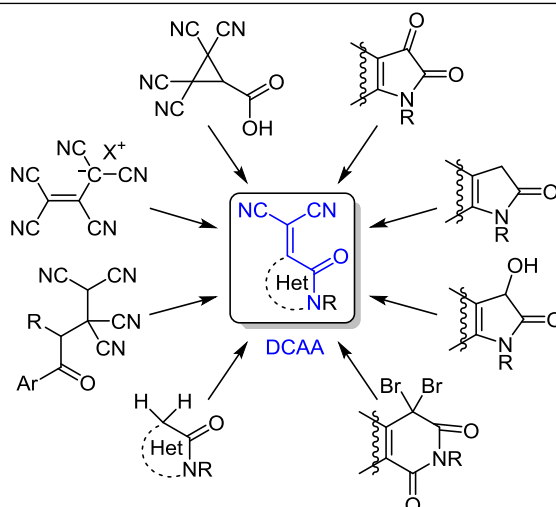


## Синтез гетероциклических соединений, содержащих 3,3-дицианоакриламидный фрагмент

Михаил Ю. Беликов<sup>1\*</sup>, Ангелина Г. Миловидова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова,  
Московский пр., 15, Чебоксары 428015, Россия; e-mail: belikovmil@mail.ru

Поступило 5.10.2020  
Принято 30.10.2020



В обзоре обобщены данные за 2005–2020 гг. по методам синтеза гетероциклов, содержащих 3,3-дицианоакриламидный фрагмент. Рассмотрена группа реакций, базирующаяся на введении илиденмалонитрильного фрагмента в уже имеющийся 2-оксосодержащий азгетероцикл. Описан ряд процессов, в ходе которых происходит одновременное формирование как азгетероцикла, так и 3,3-дицианоакриламидного фрагмента.

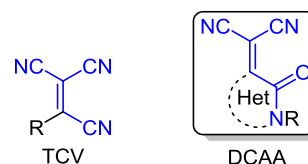
**Ключевые слова:** азгетероциклы, 3,3-дицианоакриламидный фрагмент, илиденмалонитрильный фрагмент, полициано-содержащие соединения.

Исследования цианосодержащих гетероциклов с несколькими электроакцепторными заместителями являются актуальными в связи широкими возможностями практического применения таких структур.<sup>1</sup> Сопряженные полинитрильные акцепторы повышают реакционную способность молекул и придают им уникальные физико-химические характеристики. Так, например, варьирование полинитрильного акцептора позволяет влиять на нелинейно-оптические,<sup>2–4</sup> флуоресцентные,<sup>5</sup> фотохромные<sup>6</sup> и другие свойства молекул.

Одной из важных групп соединений с полинитрильным акцептором являются хорошо изученные трициановинильные (tricyanovinyl, TCV) производные (рис. 1).<sup>7–11</sup> Соединения с данным фрагментом известны, например, в качестве органических тонкопленочных транзисторов,<sup>7</sup> компонентов оптоэлектронных устройств,<sup>8</sup> ферромагнетиков,<sup>9</sup> структур с нелинейно-оптическими

свойствами.<sup>10,11</sup> Недостатком TCV структур является ограниченная возможность варьирования в них только заместителя R.

Анализируя литературные данные, мы обратили внимание на возрастание научного интереса в последние годы к менее распространенным и, как следствие, менее изученным аналогам TCV структур, а именно к гетероциклическим соединениям с 3,3-дицианоакриламидным (3,3-dicyanoacrylamide, DCAA) фрагментом (рис. 1).



**Рисунок 1.** Структуры TCV производных и содержащих DCAA фрагмент гетероциклов.

Сравнивая TCV и DCAA структуры, необходимо отметить их очевидное сходство: в положениях 1 и 2 винильной составляющей имеются электроноакцепторные группы. Важнейшим отличительным фактором является присутствие в DCAA акцепторе карбоксамидной группы, позволяющей включать данный фрагмент в структуры различных гетероциклических систем, что невозможно для TCV аналогов. Как следствие, DCAA структуры являются более гибкими в плане направленного варьирования их практически значимых свойств за счет более широких возможностей для химической функционализации.

До настоящего обзора в литературе отсутствовали систематизированные данные, описывающие способы построения DCAA структур. О необходимости такой систематизации свидетельствуют примеры выявленных практически полезных свойств содержащих DCAA гетероциклов. Например, DCAA фрагменты в комбинации с производными изатина<sup>12</sup> или тиено[3,2-*b*]пиррола<sup>12,13</sup> рассматриваются как перспективные нефуллереновые акцепторы для солнечных элементов, тогда как содержащие бисDCAA структуры исследуются в качестве воздухоустойчивых органических полевых транзисторов *n*-типа.<sup>14–16</sup> Также полисопряженные пирроло[2,3-*b*]пиридины<sup>17</sup> описаны в качестве полупроводниковых материалов, а DCAA пирролы проявляют твердотельную флуоресценцию.<sup>18</sup> Кроме того, гетероциклы с DCAA фрагментом являются биологически активными соединениями, проявляя противоопухолевую<sup>19</sup> и противомикробную<sup>20,21</sup> активность, а также оказывая ингибирующее воздействие на каспазы 3/7.<sup>22,23</sup>

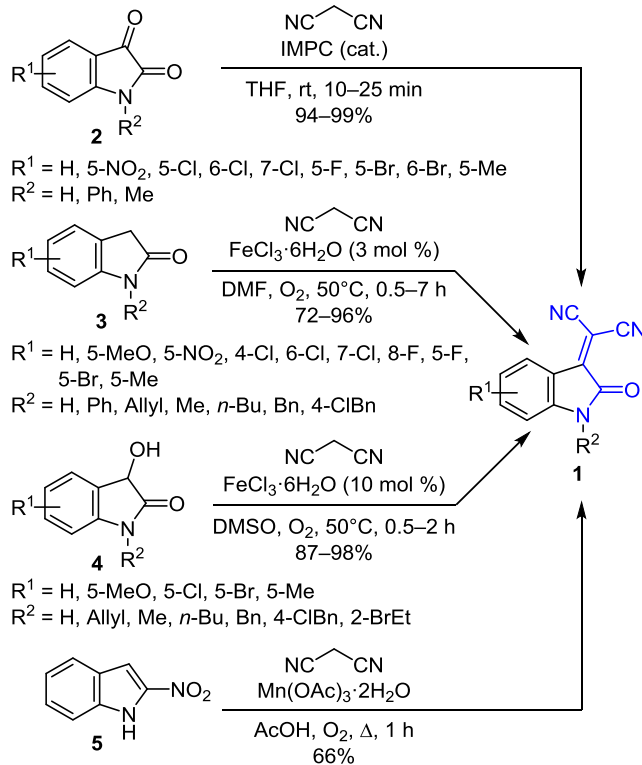
Целью данного обзора является обобщение информации об известных методах синтеза азагетероциклов с DCAA фрагментом.

### Синтезы на основе 2-оксо(нитро)замещенных азагетероциклов и малонитрила

В последние годы интенсивно проводятся исследования в области синтеза соединений с DCAA фрагментом в составе изатинового цикла.<sup>24–26</sup> Описано значительное число методов получения содержащих DCAA гетероциклов **1** с широким набором заместителей при фенильном фрагменте и при атоме N гетероцикла, также представлены разнообразные условия протекания реакций.<sup>24–26</sup> Например, практически количественные выходы продуктов **1** обеспечиваются взаимодействием изатинов **2** с малонитрилами в присутствии 1,3,5-триазинпиперазинового (IMPC) катализатора (схема 1).

Превращения **2**→**1** является самым распространенным методом синтеза производных изатина **1**, благодаря доступности исходных дикарбонильных соединений **2**. В литературе представлен ряд альтернативных подходов для получения продуктов **1**. Так, имеются примеры превращений родственных индолов **3** с группой CH<sub>2</sub> вместо кетонного фрагмента.<sup>27</sup> Образование содержащих DCAA изатинов **1** происходит в ходе окислительной конденсации индолов **3** с малонитрилом в присутствии O<sub>2</sub> и FeCl<sub>3</sub> в качестве катализатора при умеренном нагревании (схема 1). Производные 3-гидроксииндолов **4** также взаимодействуют с малонитрилом в присутствии O<sub>2</sub> воздуха с образованием изатинов **1**.<sup>28</sup> Имеется единичное упоминание синтеза незамещенного продукта **1**, полученного в ходе реакции 2-нитроиндола (**5**) с малонитрилом в присутствии кристаллогидрата Mn(OAc)<sub>3</sub>.<sup>29</sup> Представленные на схеме 1 методы синтеза дополняют друг друга, что позволяет получать изатины **1** с разнообразными заместителями при наиболее эффективных условиях протекания реакции для конкретного субстрата.

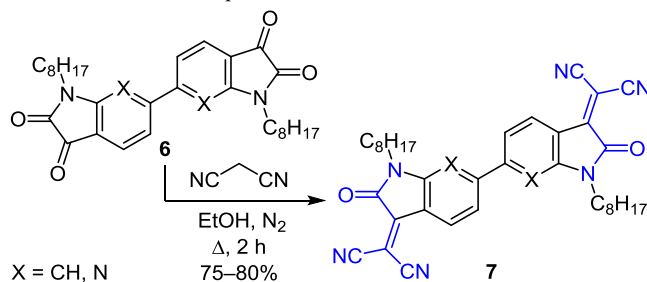
**Схема 1.** Различные методы получения содержащих DCAA изатинов **1**



нитрилом в присутствии O<sub>2</sub> и FeCl<sub>3</sub> в качестве катализатора при умеренном нагревании (схема 1). Производные 3-гидроксииндолов **4** также взаимодействуют с малонитрилом в присутствии O<sub>2</sub> воздуха с образованием изатинов **1**.<sup>28</sup> Имеется единичное упоминание синтеза незамещенного продукта **1**, полученного в ходе реакции 2-нитроиндола (**5**) с малонитрилом в присутствии кристаллогидрата Mn(OAc)<sub>3</sub>.<sup>29</sup> Представленные на схеме 1 методы синтеза дополняют друг друга, что позволяет получать изатины **1** с разнообразными заместителями при наиболее эффективных условиях протекания реакции для конкретного субстрата.

Возможности синтеза содержащих DCAA структур на основе дикарбонильных соединений показаны на примере получения разнообразных бисконденсированных гетероциклов с DCAA фрагментом.<sup>12–17,30</sup> Так, данный подход использован для построения производных бис(изатинов) **7** в ходе реакции конденсации Кнёвенагеля гетероциклов **6** с малонитрилом в инертной атмосфере при кипячении в EtOH (схема 2).<sup>14</sup>

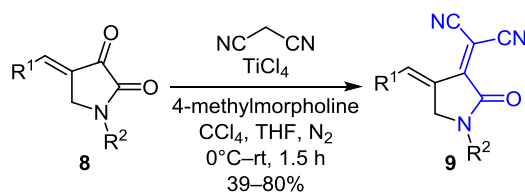
**Схема 2.** Синтез гетероциклов **7**



Из-за практической значимости бисDCAA структур<sup>12–17</sup> для ковалентного связывания двух DCAA фрагментов используют разнообразные и достаточно сложные "мостики", содержащие спироочлененные, конденсированные карбо- и гетероциклы в различном их сочетании, причем "мостики" для связывания располагаются как в структуре гетероцикла,<sup>12–17</sup> так и при атоме азота.<sup>30</sup>

Известно, что пирролидоны **8**, имеющие экзоциклическую двойную связь в положении 4, образуют соединения с DCAA фрагментом **9** при взаимодействии с малонитрилом в инертной атмосфере в присутствии  $TiCl_4$  при охлаждении (схема 3).<sup>31</sup> Полученные структуры **9** являются удобными субстратами для реакции [4+2]-циклоприсоединения благодаря наличию *цис*-1,3-бутадиенового фрагмента.<sup>31</sup>

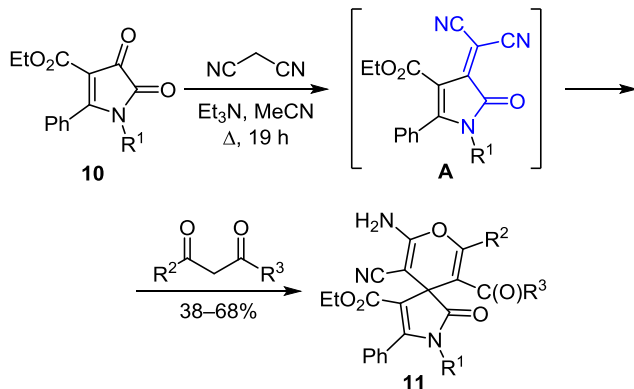
Схема 3. Получение содержащих DCAA азгетероциклов **9**



$R^1 = Ph, 2-C_6H_4, 3-C_6H_4, 4-C_6H_4, 2-MeOC_6H_4, 3-MeOC_6H_4, 4-MeOC_6H_4, 4-MeC_6H_4, 4-BrC_6H_4, 2-thienyl, 2-styryl, 1-naphthyl;$   
 $R^2 = Bn, 4-MeOC_6H_4, t-Bu$

Также в ряде публикаций содержащие DCAA пиррольные структуры указываются в качестве промежуточных соединений в синтезе спирогетероциклов.<sup>32–34</sup> Например, трехкомпонентное взаимодействие пиррол-2,3-дионов **10** с малонитрилом и  $\beta$ -дикарбонильными соединениями приводит к образованию спиранов **11** через стадию формирования DCAA пирролов **A** (схема 4).<sup>32</sup> Превращение близких аналогов пирролов **A**, отличающихся наличием группы  $CH_3$  в положении C-4 пиррольного цикла и при  $R^1 = H$ , также описано в литературе.<sup>35</sup> Данный результат<sup>35</sup> подтверждает, что образование аналогов спироциклов **11** происходит через содержащие DCAA пирролы **A**.

Схема 4. Трехкомпонентный синтез спирогетероциклов **11** с промежуточным образованием содержащих DCAA пирролов **A**

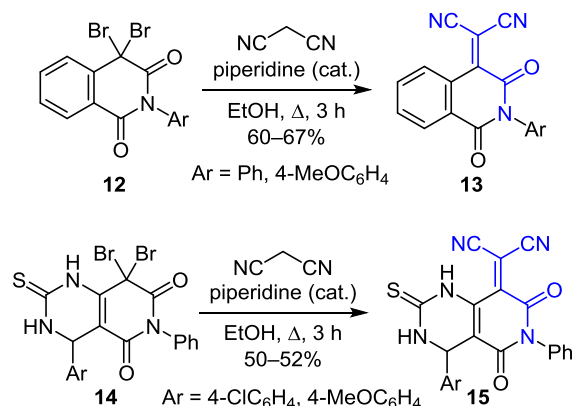


$R^1 = Bn, 4-MeC_6H_4, Me, Ph; R^2 = Me, Ph; R^3 = Me, OMe, OEt$

## Геминальные дибромиды в синтезе DCAA структур в составе шестичленных гетероциклов

Синтез соединений, в которых DCAA фрагмент входит в структуру шестичленных конденсированных гетероциклов, основан на использовании геминальных дибромидов.<sup>36,37</sup> При кипячении галогенидов **12** и **14** с малонитрилом в присутствии пиперидина образуются производные изохинолина **13** и пиридо[4,3-*d*]-пиримидина **15** (схема 5). Соединения **13** и **15** использовались в качестве исходных веществ при синтезе спиропроизводных, проявляющих антимикробную активность.<sup>36,37</sup>

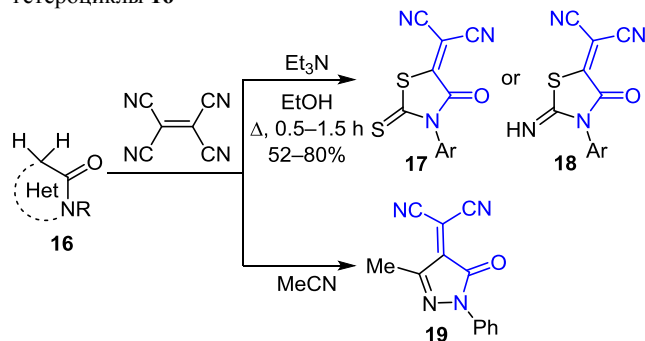
Схема 5. Синтез конденсированных содержащих DCAA гетероциклов **13** и **15**



## Синтезы с использованием тетрацианоэтилена в качестве источника илденмалонитрильного фрагмента

В литературе представлены также альтернативные методы введения DCAA фрагмента в структуру азгетероцикла без использования малонитрила. Гетероциклы **16**, содержащие в структуре активированное метиленовое звено в  $\alpha$ -положении к лактамному карбонилу, взаимодействуют с тетрацианоэтиленом при нагревании с образованием содержащих DCAA пятичленных гетероциклов с двумя гетероатомами: производных 1,3-тиазолов **17**<sup>21</sup> и **18**,<sup>38</sup> а также производного пиразолона **19**<sup>39</sup> (схема 6).

Схема 6. Введение DCAA фрагмента в пятичленные гетероциклы **16**

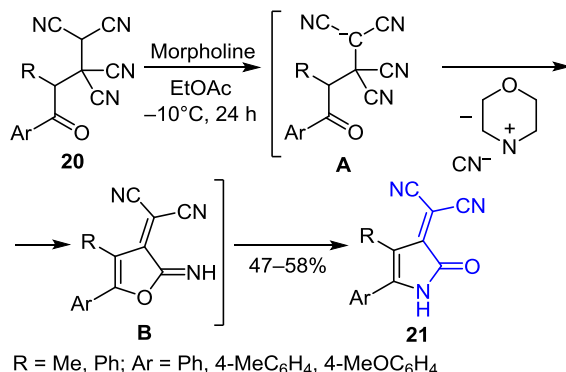


$Ar = 4-(SO_2NH_2)C_6H_4, 4-(SO_2NHPy-2)C_6H_4$

### Синтезы DCAA структур на основе полицианосодержащих соединений

Особенностью использования полинитрильных субстратов является возможность одностадийного построения целевых соединений с DCAA фрагментом без промежуточного синтеза гетероциклов.<sup>40–44</sup> Данные процессы достаточно сложны и требуют обсуждения возможных промежуточных продуктов реакций. Так, описано превращение 4-оксобутан-1,1,2,2-тетракарбонитрилов **20** под действием морфолина при охлаждении в EtOAc с образованием содержащих DCAA пирролов **21** (схема 7).<sup>40</sup>

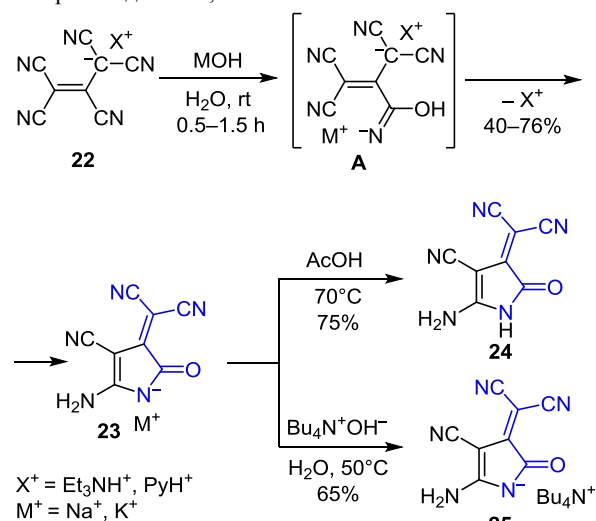
Схема 7. Применение 4-оксобутан-1,1,2,2-тетракарбонитрилов **20** в синтезе DCAA пирролов **21**



Согласно литературным данным,<sup>40</sup> процесс образования пирролов **21** протекает через начальное образование солей морфолина **A** с последующим элиминированием цианид-аниона и гетероциклизацией с участием енольной гидроксильной группы и группы CN с образованием иминофурана **B**. Далее в ходе иминолактон-лактамовой перегруппировки интермедиата **B** образуются производные пиррола **21**. Отметим, что соединения **21** были использованы в процессах ANRORC для синтеза труднодоступных производных изоникотинамида.<sup>41</sup>

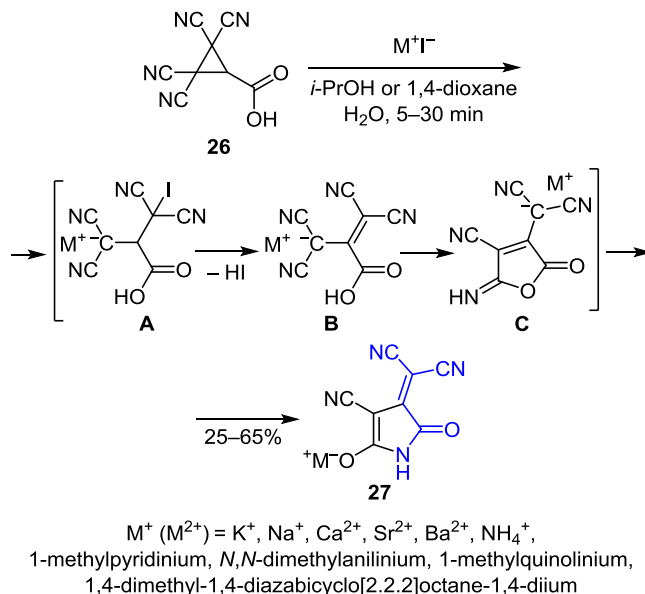
Описано также получение производных пиррола с DCAA фрагментом, содержащих в структуре дополнительную цианогруппу в положении С-4.<sup>42</sup> Так, органические соли 1,1,2,3,3-пентацианопропена **22** под действием водных растворов гидроксидов различных щелочных металлов образуют ряд пиррольных солей **23**, содержащих группу NH<sub>2</sub> в положении С-5 (схема 8). Согласно представленной схеме, процесс протекает через стадию присоединения гидроксид-аниона к группе 2-CN исходного соединения **22** с образованием интермедиата **A**, иминофрагмент которого атакует группу CN с образованием соли **23**. Далее соли **23** под воздействием AcOH образуют пиррол **24** с незамещенной группой NH. Также показана возможность замены катиона металла в солях **23** на тетрабутиламмонийный фрагмент с образованием соединения **25**. Пирролы **23** зарекомендовали себя как перспективные субстраты в синтезе солей изоникотиновой кислоты.<sup>42</sup>

Схема 8. Применение 1,1,2,3,3-пентацианопропенидов **22** в синтезе содержащих DCAA солей **23** и их производных **24**, **25**



Описан еще один подход к построению ионных производных пиррола с DCAA фрагментом. Так, при взаимодействии 2,2,3,3-тетрацианоциклопропанкарбонической кислоты (**26**) с различными иодидами образуются соли **27**, содержащие как органические, так и неорганические катионы.<sup>43</sup> (схема 9). В последующих работах было показано, что данные соли проявляют твердотельную флуоресценцию.<sup>18</sup>

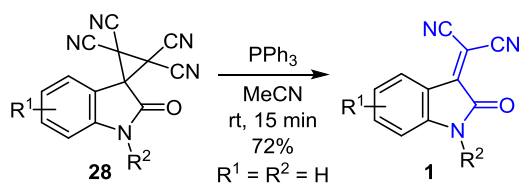
Схема 9. Применение 2,2,3,3-тетрацианоциклопропанкарбонической кислоты (**26**) в синтезе солей пиррольного ряда с DCAA фрагментом **27**



Предполагается,<sup>43</sup> что изначально происходит раскрытие циклопропана с образованием иодида **A**, который после элиминирования HI образует 1,1,3,3-тетрацианопропенид **B**. Завершается процесс циклизации соли **B** в фуран **C** с последующей его перегруппировкой и образованием пирролов **27**.

1,1,2,2-Тетрацианоциклопропан **28** был использован для синтеза содержащего DCAA соединения **1** в присутствии PPh<sub>3</sub> в растворе MeCN (схема 10).<sup>44</sup>

**Схема 10.** Применение 1,1,2,2-тетрацианоциклопропана **28** в синтезе изатина **1**



Представленный на схеме 10 подход имеет больше теоретическое значение, так как используемое в синтезе изатина **1** соединение **28** синтезируется на основе изатинов типа **2**,<sup>44</sup> из которых и так могут быть получены содержащие DCAA соединения **1** (схема 1).

Анализируя представленные на схемах 7–9 методы получения содержащих DCAA гетероциклов при использовании полицианосодержащих соединений **20**, **22** или **26**, мы обратили внимание на схожесть возможных промежуточных структур, а именно 1,1,3,3-тетрацианопренидов **A** (схема 8) и **B** (схема 9), при образовании солей **23** и **27** соответственно. Заместитель в положении 2 упомянутых интермедиатов является определяющим фактором при формировании функциональной группы в положении C-5 пирролов **23** и **27**. Отметим, что при образовании производных пирролов **21** и **27** предполагается осуществление иминолактон-лактаманной перегруппировки<sup>45</sup> иминофурановых производных **B** (схема 7) и **C** (схема 9). Обобщенные данные подчеркивают родственность процессов формирования содержащих DCAA структур **21**, **23** и **27**. Заметим, что присутствие в содержащих DCAA пирролах цианогруппы в положении C-4 повышает кислотность таких соединений, что приводит к возможности выделения солей **23** и **27**.

Таким образом, в настоящем обзоре впервые систематизированы данные по методам синтеза гетероциклов с 3,3-дицианоакриламидным фрагментом. Этот фрагмент может быть введен в структуры пяти- и шестичленных азаетероциклов с одним и более гетероатомом, в том числе конденсированных. Возрастающий научный интерес к представленной в обзоре тематике, а именно появление примеров практического использования и синтеза новых гетероциклов с DCAA фрагментом, свидетельствует о перспективности исследований в данном направлении и несомненном их развитии в будущем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-33-20268 мол\_а\_вед).

### Список литературы

- Deng, G.; Wang, Q.; Yang, M.; Li, B.; Han, T.; Chang, B.; Li, X.; Zhang, X.; Li, Z. *Mini-Rev. Org. Chem.* **2019**, *16*, 208.
- Li, M.; Li, Y.; Zhang, H.; Wang, S.; Ao, Y.; Cui, Z. *J. Mater. Chem. C* **2017**, *5*, 4111.
- Cho, M. J.; Choi, D. H.; Sullivan, P. A.; Akelaitis, A. J. P.; Dalton, L. R. *Prog. Polym. Sci.* **2008**, *33*, 1013.
- Sharipova, S. M.; Kalinin, A. A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, *53*, 36. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, *53*, 36.]
- Redon, S.; Eucat, G.; Ipuay, M.; Jeanneau, E.; Gautier-Luneau, I.; Ibanez, A.; Andraud, C.; Bretonnière, Y. *Dyes Pigm.* **2018**, *156*, 116.
- Belikov, M. Yu.; Ievlev, M. Yu.; Fedoseev, S. V.; Ershov, O. V. *New J. Chem.* **2019**, *43*, 8414.
- Reig, M.; Puigdollers, J.; Velasco, D. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2018**, *20*, 1142.
- Al Garni, S. E.; Darwish, A. A. A. *Phys. Scr.* **2020**, *95*, ID 045806. doi.org/10.1088/1402-4896/ab623e.
- King, J. A., Jr.; Houser, C. L.; Corkill, R. E.; Yee, G. T. *J. Magn. Mater.* **2020**, *497*, 165953.
- Podlesný, J.; Pytela, O.; Klikar, M.; Jelínková, V.; Kityk, I. V.; Ozga, K.; Jedryka, J.; Rudysch, M.; Bureš, F. *Org. Biomol. Chem.* **2019**, *17*, 3623.
- Castro, M. C. R.; Belsley, M.; Raposo, M. M. M. *Dyes Pigm.* **2016**, *131*, 333.
- Zhao, D.; Hu, J.; Liu, Z.; Xiao, B.; Wang, X.; Zhou, E.; Zhang, Q. *Dyes Pigm.* **2018**, *151*, 102.
- Zhao, D.; Hu, J.; Cao, K.; Xiao, B.; Zhou, E.; Zhang, Q. *Dyes Pigm.* **2019**, *162*, 898.
- Dhondge, A. P.; Chen, J.-Y.; Lin, T.; Yen, F.-M.; Li, K.-W.; Hsieh, H.-C.; Kuo, M.-Y. *Org. Lett.* **2018**, *20*, 40.
- Dhondge, A. P.; Tsai, P.-C.; Nien, C.-Y.; Xu, W.-Y.; Chen, P.-M.; Hsu, Y.-H.; Li, K.-W.; Yen, F.-M.; Tseng, S.-L.; Chang, Y.-C.; Chen, H. J. H.; Kuo, M.-Y. *Org. Lett.* **2018**, *20*, 2538.
- Dhondge, A. P.; Huang, Y.-X.; Lin, T.; Hsu, Y.-H.; Tseng, S.-L.; Chang, Y.-C.; Chen, H. J. H.; Kuo, M.-Y. *J. Org. Chem.* **2019**, *84*, 14061.
- Chen, R.; Zhang, G.; Zhou, W. CN Patent 110790776, 2020.
- Tafeenko, V. A.; Gurskiy, S. I. *Cryst. Growth Des.* **2016**, *16*, 940.
- El-Sharief, A. M. Sh.; Ammar, Y. A.; Belal, A.; El-Sharief, M. A. M. Sh.; Mohamed, Y. A.; Mehany, A. B. M.; Elhag Ali, G. A. M.; Ragab, A. *Bioorg. Chem.* **2019**, *85*, 399.
- Salem, M. A.; Ragab, A.; Askar, A. A.; El-Khalafawy, A.; Makhlof, A. H. *Eur. J. Med. Chem.* **2020**, *188*, 111977.
- El-Gaby, M. S. A.; El-Hag Ali, G. A. M.; El-Maghraby, A. A.; Abd El-Rahman, M. T.; Helal, M. H. M. *Eur. J. Med. Chem.* **2009**, *44*, 4148.
- Chu, W.; Rothfuss, J.; d'Avignon, A.; Zeng, C.; Zhou, D.; Hotchkiss, R. S.; Mach, R. H. *J. Med. Chem.* **2007**, *50*, 3751.
- Chu, W.; Rothfuss, J.; Zhou, D.; Mach, R. H. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2011**, *21*, 2192.
- Gupta, N.; Roy, T.; Ghosh, D.; Abdi, S. H. R.; Kureshy, R. I.; Khan, N. H.; Bajaj, H. C. *RSC Adv.* **2015**, *5*, 17843.
- Zaghari, Z.; Azizian, J. *Comb. Chem. High Throughput Screening* **2018**, *21*, 609.
- Demchuk, D. V.; Elinson, M. N.; Nikishin, G. I. *Mendeleev Commun.* **2011**, *21*, 224.
- Tan, Z.-Y.; Wu, K.-X.; Huang, L.-S.; Wu, R.-S.; Du, Z.-Y.; Xu, D.-Z. *Green Chem.* **2020**, *22*, 332.
- Huang, L.-S.; Lai, Y.-H.; Yang, C.; Xu, D.-Z. *Appl. Organomet. Chem.* **2019**, *33*, E4910.
- Androsod, D. A.; Kishbaugh, T. L. S.; Gribble, G. W. *Tetrahedron Lett.* **2008**, *49*, 6621.
- Ghozlan, S. A. S.; Ramadan, M. A.; Abdelmoniem, A. M.; Elwahy, A. H. M.; Abdelhamid, I. A. *Turk. J. Chem.* **2017**, *41*, 410.
- Wu, S.-X.; Gu, B.-Q.; Xu, H.; Zheng, X.; Luo, X.; Deng, W.-P. *Adv. Synth. Catal.* **2019**, *361*, 4302.



32. Sabitov, A. A.; Dmitriev, M. V.; Belozeroва, A. I.; Sal'nikova, T. V.; Maslivets, A. N. *Russ. J. Org. Chem.* **2020**, 56, 1217. [Журн. орган. химии **2020**, 56, 1109.]
33. Sal'nikova, T. V.; Dmitriev, M. V.; Bushmeleva, E. V.; Silaichev, P. S.; Maslivets, A. N. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, 54, 564. [Журн. орган. химии **2018**, 54, 564.]
34. Dmitriev, M. V.; Silaichev, P. S.; Maslivets, A. N. *Russ. J. Org. Chem.* **2015**, 51, 74. [Журн. орган. химии **2015**, 51, 77.]
35. Milovidova, A. G.; Belikov, M. Yu.; Ievlev, M. Yu.; Ershov, O. V.; Nasakin, O. E. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, 54, 1790. [Журн. орган. химии **2018**, 54, 1776.]
36. Youssef, M. M.; Amin, M. A. *Molecules* **2010**, 15, 8827.
37. Faty, R. M.; Rashed, M. S.; Youssef, M. M. *Molecules* **2015**, 20, 1842.
38. Aly, M. M. *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.* **2007**, 182, 1497.
39. Burgess, J.; Steel, P. J. *Tetrahedron Lett.* **2006**, 47, 4107.
40. Belikov, M. Yu.; Ievlev, M. Yu.; Milovidova, A. G.; Ershov, O. V. *Russ. J. Org. Chem.* **2017**, 53, 1601. [Журн. орган. химии **2017**, 53, 1565.]
41. Milovidova, A. G.; Belikov, M. Yu.; Ievlev, M. Yu.; Ershov, O. V.; Nasakin, O. E.; Tafeenko, V. A. *Tetrahedron Lett.* **2020**, 61, 151368.
42. Khil, A. M.; Kaminskii, V. A.; Slabko, O. Yu.; Kachanov, A. V.; Gerasimenko, A. V. *J. Heterocycl. Chem.* **2015**, 52, 688.
43. Kayukova, O. V.; Kayukov, Ya. S.; Nikolaev, A. N.; Tafeenko, V. A.; Ershov, O. V.; Nasakin, O. E. *Russ. J. Org. Chem.* **2005**, 41, 523. [Журн. орган. химии **2005**, 41, 535.]
44. Kayukov, Ya. S.; Kayukova O. V.; Kalyagina, E. S.; Bardasov, I. N.; Ershov, O. V.; Nasakin, O. E.; Tafeenko, V. A. *Russ. J. Org. Chem.* **2011**, 47, 392. [Журн. орган. химии **2011**, 47, 400.]
45. Ershov, O. V.; Ievlev, M. Yu. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 948. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 948.]