



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИХ О-, И S-НУКЛЕОФИЛОВ В РЕАКЦИЯХ С 4-НИТРОФТАЛОНИТРИЛОМ И 4-БРОМ-5-НИТРОФТАЛОНИТРИЛОМ

И. Г. Абрамов, В. Л. Баклагин, Е. С. Макарова, Д. Э. Клейкова

Абрамов И.Г., д-р хим. наук, профессор; Макарова Е.С., ассистент, аспирант; Баклагин В.Л., инженер, аспирант; Клейкова Д.Э., студент

Институт химии и химической технологии, Ярославский государственный технический университет, Московский пр., 88, Ярославль, Российская Федерация, 150023

E-mail: abramovig@ystu.ru

---

### Ключевые слова:

4-нитрофталонитрил, 4-бром-5-нитрофталонитрил, активированное ароматическое нуклеофильное замещение, замещённые орто-дикарбонитрилы, гетероциклические фенолы, гетероциклические тиолы

На основе  $S_NAr$ -реакции между 4-нитрофталонитрилом, 4-бром-5-нитрофталонитрилом и фенолами (тиолами), содержащими различные по своей природе гетероциклические системы, разработан метод синтеза не описанных в литературе моно- и дизамещённых орто-дикарбонитрилов, содержащих 5- и 6-членные гетероциклические фрагменты.

---

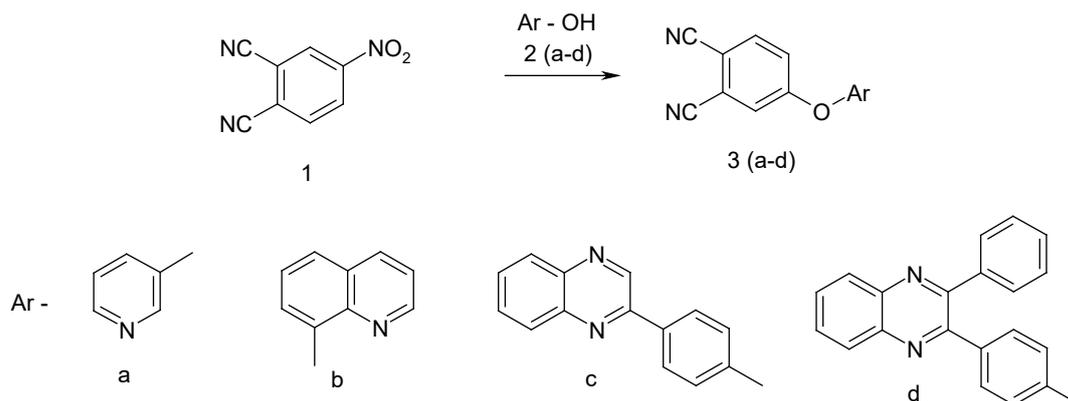
Реакция активированного ароматического нуклеофильного замещения ( $S_NAr$ -реакция) является одной из самых распространённых и хорошо изученных химиками [1]. В научной литературе описано много примеров реакций замещения атома галогена и/или нитрогруппы в активированных электроноакцепторными группами ароматических системах, протекавших под действием моно- и бифункциональных О-, S-, N-нуклеофилов [2-6].

Следует отметить, что замещённые орто-дикарбонитрилы являются прекурсорами для получения фталоцианинов [7-9], гексазоцикланов [10] и ряда других соединений, содержащих ангидридные, имидные, изоиндолиновые и тетразольные фрагменты, находящих широкое применение при производстве красителей, полиэфиримидов, фармацевтических препаратов и биологически активных соединений [11-17].

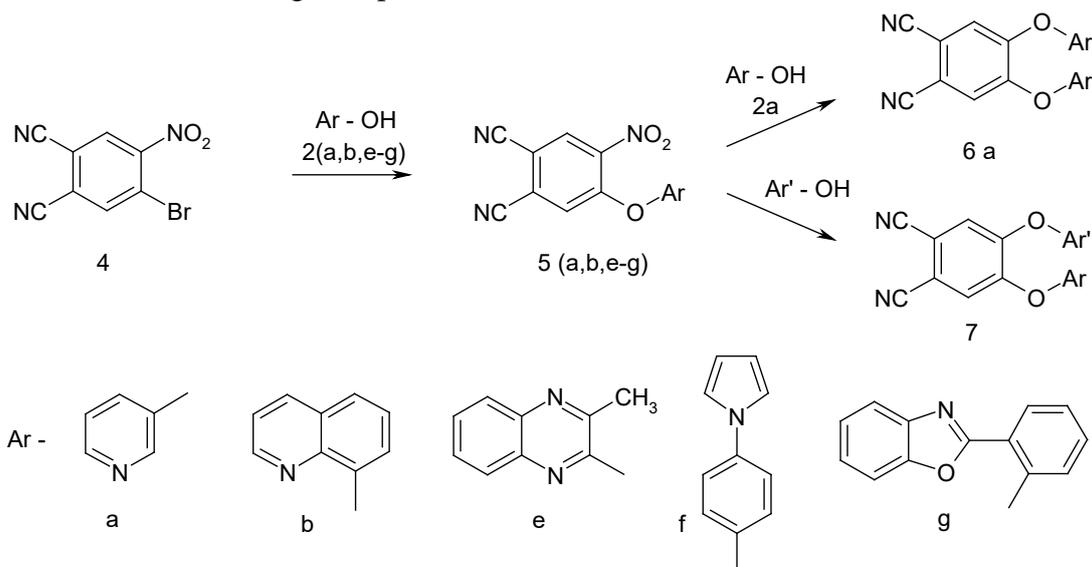
Новые возможности этой реакции, рассматриваемые на примере взаимодействия 4-нитрофталонитрила (4-НФН) и 4-бром-5-нитрофталонитрила (БНФН) с рядом азотсодержащих гетероциклических О-, и S-нуклеофилов, приводящие к получению неописанных в литературе соединений, обсуждаются в данной работе. Оба указанных субстрата содержат большое количество электроноакцепторных групп. Согласно общепринятым представлениям [1], такая конфигурация заместителей в бензольном кольце снижает электронную плотность в рассматриваемых ароматических системах субстратов и облегчает нуклеофильную атаку протонодонорными нуклеофилами на атомы углерода, связанные с нуклеофугами, и приводит, в свою очередь, к образованию относительно устойчивых интермедиатов.



Нами были использованы два подхода к проведению указанных реакций 4-НФН **1** с *o*- и *S*-нуклеофилами. Для сильноокислых фенолов **2a**, содержащих электроноакцепторные заместители лучшие результаты достигнуты при проведении реакции в безводном ДМФА. Для слабоокислых реагентов **2 (b-d)** лучше использовать бинарный растворитель ДМФА-Н<sub>2</sub>O. В обоих случаях в качестве депротонирующего агента, в присутствии которого *in situ* генерировался реакционноспособный нуклеофильный комплекс, использовался К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> как доступный и обеспечивающий сравнительно высокую скорость процесса. Реакция 4-НФН с тиофенолами протекает ещё легче [18].



БНФН **4** по сравнению с 4-НФН **1** является ещё более реакционноспособным субстратом в *S<sub>N</sub>Ar*-реакции, благодаря высокой мобильности атома брома [2]. Это предположение было подтверждено на практике при проведении реакции с пиридин-3-олом **2a**, хинолин-8-олом **2b** и другими реагентами **2(e-g)**. Как и ожидалось, реакция замещения атома брома гетероциклическими *O*-нуклеофилами **2(a, b, e-g)** успешно протекала в безводном ДМФА уже при комнатной температуре и приводила к образованию продуктов монозамещения **5(a, b, e-g)** с хорошим выходом.



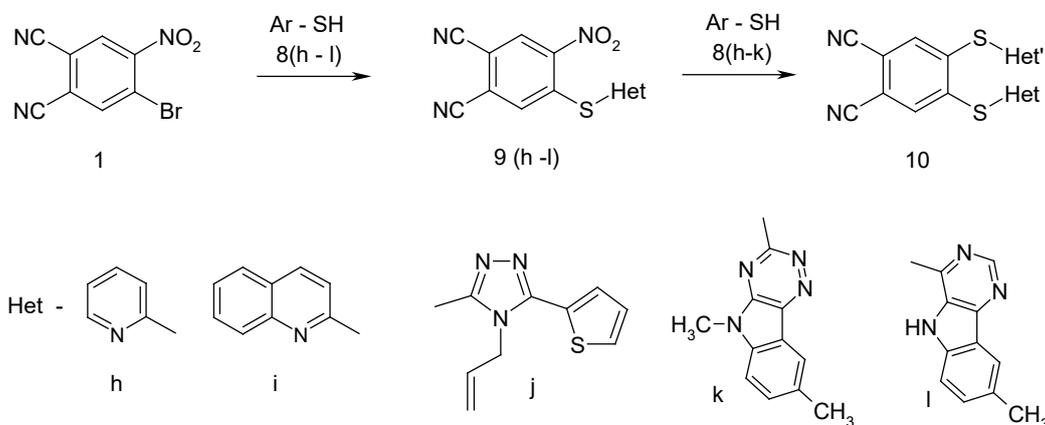
Синтезированные 4-гетерилокси-5-нитрофталонитрилы **5(a,b, e-g)** содержат всё ещё активированную нитрогруппу, способную при более высокой температуре также вступать в реакции нуклеофильного замещения с образованием соответствующих симметричных дигетерилдиоксифталонитрилов, например, **6a** или любой другой



несимметричной комбинации заместителей в продукте **7**. Для достижения этой цели достаточно в конце реакции к реакционной массе добавить эквимольные количества соответствующего фенола и карбоната калия и продолжить перемешивание при более высокой температуре.

При проведении реакции замещения атома брома в БНФН **4** в качестве реагента, генерирующего *in situ* *S*-нуклеофил, были использованы различные замещённые гетероциклические соединения, содержащие меркаптогруппу **8(h-l)**. Установлено, что при проведении данных  $S_NAr$ -реакций в молекуле БНФН **4** в первую очередь также замещается атом брома с образованием соответствующих 4-гетерил-5-нитротифталонитрилов **9(h-k)**. При комнатной температуре в бинарном растворителе ДМФА-Н<sub>2</sub>O данная реакция протекала в течение нескольких минут. Выход целевых продуктов составил 79–93 %.

При использовании в качестве реагента 8-метил-5*H*-пиримидо[5,4-*b*]индол-4-тиола **8l**, содержащего два реакционных *S*- и *N*-нуклеофильных центра, получить в чистом виде продукт монозамещения **9l** не удалось. Это объясняется тем, что в молекуле соединения **8l** после депротонизации оба реакционных центра (тиольный и иминный) в выбранных условиях проведения реакции способны вступать в  $S_NAr$ -реакции с БНФН **1** и замещать атом брома. По данным ЯМР <sup>1</sup>H спектроскопии продукт, выделенный после реакции, содержал смесь двух соединений **11l** и **12l** в соотношении 1 : 3, что наглядно подтверждает различную активность *S*- и *N*-нуклеофильных центров.

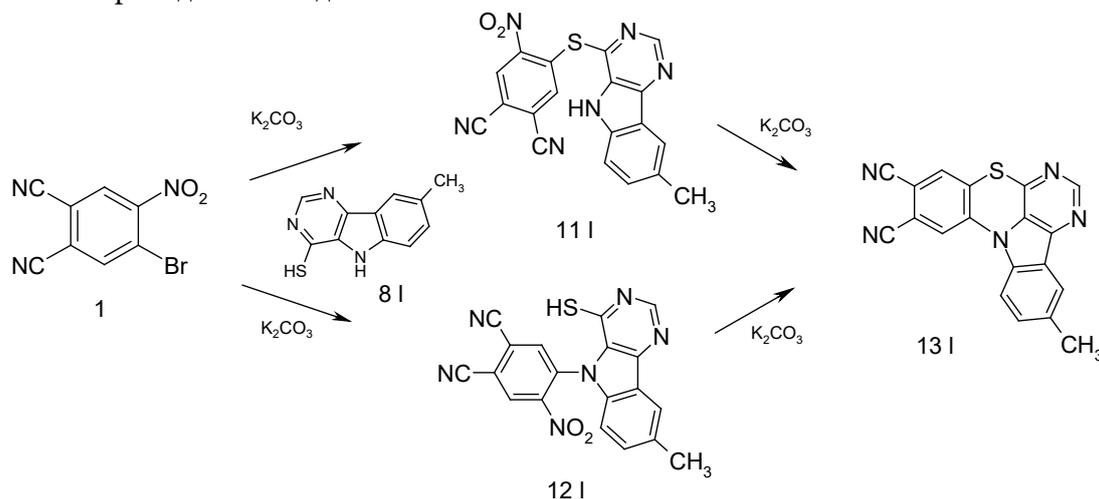


Выявленный недостаток последней реакции можно с успехом преодолеть, если конечной целью синтеза является получение продукта дизамещения – 3-метил-8-тиа-5,7-12*b*-триазабензо[*a*]ацеантрилене-10,11-дикарбонитрила **13l**.

В этом случае при проведении реакции при более высокой температуре и двукратном избытке карбоната калия в самом начале происходила депротонизация тиольной и иминной групп **8l** с образованием *in situ* соответствующих *S*- и *N*-нуклеофильных центров. Данные реагенты на первой стадии синтеза целевого соединения, вступая с разной скоростью в гетерофазную реакцию межмолекулярного нуклеофильного замещения атома брома в БНФН **4**, образовывали продукты монозамещения **11l** и **12l** соответственно. В этих, только что получившихся, соединениях содержалась достаточно подвижная нитрогруппа, которую внутримолекулярно атаковал оставшийся в реагенте реакционный центр (вторая стадия), что приводило к замыканию цикла и формированию тиазиновой системы. В выбранных условиях трансформация соединения **11l** в **13l** могла



протекать через внутримолекулярную аниотропную перегруппировку Смэйлса, аналогичную описанной в работе [19]. Преимуществом данного синтеза является то, что независимо от того, по какому направлению протекает рассматриваемая реакция, целевое соединение **13I** имеет одно и то же строение. Кроме того, образующийся в ходе реакции продукт **13I** был мало растворим в ДМФА и выпадал из реакционной смеси, что не требовало проведения его дополнительной очистки.



Таким образом, используя 4-НФН, БНФН и различные монофункциональные *O*-, *S*-гетероциклические нуклеофилы становится возможным осуществить синтез широкого круга не описанных в литературе *орто*-дикарбонитрилов, содержащих разнообразные по своей природе 5- и 6-членные гетероциклические системы.

### Экспериментальная часть

ИК-спектры записывали на ИК-Фурье спектрометре «Perkin Elmer RX-1» с длиной волны 700–4000 см<sup>-1</sup> (суспензия в вазелиновом масле).

Спектры <sup>1</sup>H NMR регистрировали на приборе «Bruker DRX-500» для 5%-ных растворов образцов в ДМСО-d<sup>6</sup> при 30 °С. В качестве эталона для отсчета химических сдвигов использовали сигналы остаточных протонов растворителя в протонных спектрах (δ<sub>H</sub> 2.50 м.д.) или сигнал ДМСО-d<sup>6</sup> в углеродных спектрах (δ<sub>C</sub> 39.5 м.д.).

Элементные анализы выполнены на С, Н, N-анализаторе «Hewlett-Packard HP-85В».

**4-НФН 1** и **БНФН 4** получали по методике, представленной в работе [2].

Гетероциклические фенолы, тиолы, а также другие реагенты и растворители коммерчески доступные.

**4-(Пиридин-3-илокси)фталонитрил 3a**. В колбу, снабжённую мешалкой, обратным холодильником и термометром загружали 1.73 г (0.01 моль) 4-НФН **1**, (0.01 моль) пиридин-3-ола **2a**, 1.56 г (0.01 моль) K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и 30 см<sup>3</sup> ДМФА. Реакционную массу перемешивали при 80–95 °С в течение 1.5 ч, затем охлаждали до 5–10 °С и выливали в 100 см<sup>3</sup> холодной воды. Образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали водой (3×50 см<sup>3</sup>) и сушили при 70 °С. Целевой продукт получали с выходом 76% от теории.



**4-Гетерилоксифталонитрилы 3(b-d), 4-гетерилокси-5-нитрофталонитрилы 5(a-g), 4-гетерилтио-5-нитрофталонитрилы 9(h-k)** (общая методика). В колбу, снабжённую мешалкой, обратным холодильником и термометром, загружали 0.01 моль 4-НФН **1** (БНФН **4**), 0.01 моль фенола (тиола) **2(a-g)**, **8(h-k)** и 30 см<sup>3</sup> ДМФА. После растворения реагентов при интенсивном перемешивании к реакционной смеси прибавляли раствор 1.56 г (0.01 моль) К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> в 10 см<sup>3</sup> воды. При использовании 4-НФН реакционную массу перемешивали при 60–90 °С в течение 0.5–1.5 ч. В случае использования БНФН реакцию проводили без нагревания – реакционную смесь перемешивали при комнатной температуре 0.5 ч. В обоих случаях по окончании реакции содержимое колбы охлаждали до 5–10 °С. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали 2-пропанолом (50 см<sup>3</sup>), водой (3×50 см<sup>3</sup>) и сушили при 70 °С. Целевые продукты получали с выходом 78–93% от теории.

**4,5-бис-(Пиридин-3-илокси)фталонитрил 6a.** В колбу, снабжённую мешалкой, обратным холодильником и термометром, загружали 2,52 г (0.01 моль БНФН **4**, 1,9 г (0.02 моль) пиридин-3-ола **2a**, 3,12 г (0.01 моль) К<sub>2</sub>СО<sub>3</sub> и 30 см<sup>3</sup> ДМФА. Реакционную массу перемешивали при 90–95 °С в течение 1.5 ч, затем охлаждали до 5–10 °С и выливали в 100 см<sup>3</sup> холодной воды. Образовавшийся осадок отфильтровывали, промывали водой (3×50 см<sup>3</sup>) и сушили при 70 °С. Целевой продукт получали с выходом 78–80 % от теории.

По аналогичной методике, используя соответствующие фенолы и тиолы, могут быть получены симметричные соединения **6(b-g)** и **10**. Для получения несимметричных продуктов реакции **7** и др. можно использовать эту же методику, но вместо БНФН необходимо взять эквимольные количества соединений **5(a-g)** или **9(h-k)** и соответствующих фенолов **2(a-g)** или тиолов **8(h-k)**.

**3a:** Выход 76%,  $T_{пл} = 182–185$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 1250 (C-O-C), 2238 (CN). Найдено, %: С 70.52; Н 3.20; N 18,93. C<sub>15</sub>H<sub>8</sub>N<sub>6</sub>O<sub>2</sub>. Рассчитано, %: С 70.58; Н 3.19; N 19.00. ЯМР <sup>1</sup>H (400 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>,  $\delta$ , м.д.): 7,53 (м, 2H), 7,7 (д, д, 1H), 7,91 (д, 1H), 8,14 (д, 1H), 8,53 (м, 2H).

**3b:** Выход 89,5%,  $T_{пл} = 194–196$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 1251 (C-O-C), 2237 (CN). Найдено, %: С 75.37; Н 3.32; N 15.51. C<sub>17</sub>H<sub>9</sub>N<sub>3</sub>O. Рассчитано, %: С 75,27; Н 3.34; N 15.49. ЯМР <sup>1</sup>H (500 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>,  $\delta$ , м.д.): 7,20 (д, 1H), 7,60 (м, 3H), 7,9 (м, 3H), 8,45 (д, 1H), 8,75 (д, 1H).

**3c:** Выход 93%,  $T_{пл} = 190–193$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 1249 (C-O-C), 2236 (CN). Найдено, %: С 75.81; Н 3.46; N 16,18. C<sub>22</sub>H<sub>12</sub>N<sub>4</sub>O. Рассчитано, %: С 75.85; Н 3.47; N 16.08. ЯМР <sup>1</sup>H (500 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>,  $\delta$ , м.д.): 7,3 (д, 1H), 7,49 (д, 1H), 7,75 (м, 3H), 8,1 (м, 5H), 8,3 (д, 1H), 9,55 (с, 1H).

**3d:** Выход 90%,  $T_{пл} = 202–205$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 1250 (C-O-C), 2238 (CN). Найдено, %: С 70.52; Н 3.20; N 18,93. C<sub>28</sub>H<sub>16</sub>N<sub>4</sub>O. Рассчитано, %: С 70.58; Н 3.19; N 19.00. ЯМР <sup>1</sup>H (500 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>,  $\delta$ , м.д.): 7,12 (д, 2H), 7,5 (м, 9H), 7,85 (д, 2H), 8,1 (м, 3H).

**6a:** Выход 74%,  $T_{пл} = 188–190$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 1253 (C-O-C), 2236 (CN). Найдено, %: С 68.77; Н 3.20; N 17,77. C<sub>18</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Рассчитано, %: С, 68.79; Н, 3.21; N, 17.83. ЯМР <sup>1</sup>H (500 МГц, ДМСО-d<sub>6</sub>,  $\delta$ , м.д.): 7,48 (т, 2H), 7,56 (д, 2H), 7,94 (с, 2H), 8,39 (с, 2H), 8,47 (д, 2H)

**5b:** Выход 92%,  $T_{пл} = 190–192$  °С. ИК ( $\nu_{max}$ , oil): 2236 (CN), 1350, 1540 (NO<sub>2</sub>); 1020, 1250 (C-O-C). Найдено, %: С 64.49; Н 2.55; N 17.75. C<sub>17</sub>H<sub>9</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub>. Рассчитано, %: С 64.56; Н



2.55; N 17.71. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 7,41–7,58 (м, 6H, J=22), 7,95 (с, 1H), 8,84 (с, 1H).

**5e:** Выход 72%,  $T_{\text{пл}} = 232\text{--}234$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2235 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ); 1020, 1250 (C-O-C). Найдено, %: C 70.52; H 3.20; N 18,93.  $\text{C}_{17}\text{H}_9\text{N}_5\text{O}_3$ . Рассчитано, %: C 61.63; H 2.74; N 21.14. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 2,78 (с, 3H), 7,65 (д, 1H), 7,75 (м, 2H), 8,05 (д, 1H), 8,67 (с, 1H), 9,05 (с, 1H).

**5f:** Выход 76%,  $T_{\text{пл}} = 223\text{--}224$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2238 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ); 1020, 1250 (C-O-C). Найдено, %: C 65.43; H 3.02; N 16,99.  $\text{C}_{18}\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_3$ . Рассчитано, %: C, 65.45; H, 3.05; N, 16.96. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 6,28 (д, 2H), 7,35 (д, 2H), 7,4 (т, 2H), 7,72 (д, 2H), 7,98 (с, 1H), 8,95 (с, 1H).

**5g:** Выход 80%,  $T_{\text{пл}} = 217\text{--}219$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2238 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ); 1020, 1250 (C-O-C). Найдено, %: C 65.94; H 2.62; N 14,69.  $\text{C}_{21}\text{H}_{10}\text{N}_4\text{O}_4$ . Рассчитано, %: C, 65.97; H, 2.64; N, 14.65. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 7,4 (м, 2H), 7,65 (м, 3H), 7,79 (с, 1H), 7,82 (т, 2H), 8,38 (д, 1H), 8,98 (с, 1H).

**9h:** Выход 77 %,  $T_{\text{пл}} = 206\text{--}208$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2235 (CN), 1350, 1550 ( $\text{NO}_2$ ). Найдено, %: C 55.29; H 2.13; N 19,89; S, 11.32.  $\text{C}_{13}\text{H}_6\text{N}_4\text{O}_2\text{S}$ . Рассчитано, %: C, 55.32; H, 2.14; N, 19.85; S, 11.36. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 7,5 (т, 1H), 7,73 (д, 1H), 7,95 (т, 1H), 8,18 (с, 1H), 8,6 (д, 1H), 8,98 (с, 1H).

**9i:** Выход 81%,  $T_{\text{пл}} = 228\text{--}230$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2238 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ). Найдено, %: C 61.40; H 2.40; N 16,87; S, 9.63.  $\text{C}_{17}\text{H}_8\text{N}_4\text{O}_2\text{S}$ . Рассчитано, %: C, 61.44; H, 2.43; N, 16.86; S, 9.65. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 7,68 (т, 1H), 7,71 (д, 1H), 7,81 (т, 1H), 7,87 (д, 1H), 8,04 (д, 1H), 8,45 (д, 1H), 8,55 (с, 1H), 9,02 (с, 1H).

**9j:** Выход 73%,  $T_{\text{пл}} = 184\text{--}187$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2230 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ). Найдено, %: C 51.75; H 2.55; N 21,35; S, 16.30.  $\text{C}_{17}\text{H}_{10}\text{N}_6\text{O}_2\text{S}_2$ . Рассчитано, %: C, 51.77; H, 2.56; N, 21.31; S, 16.26. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 4,65 (д, 1H), 4,80 (д, 2H), 5,15 (д, 1H), 6,00 (м, 1H), 7,25 (т, 1H), 7,60 (д, 1H), 7,85 (д, 1H), 7,90 (с, 2H)

**9k:** Выход 93%,  $T_{\text{пл}} = >300$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2230 (CN), 1350, 1540 ( $\text{NO}_2$ ). Найдено, %: C 55.79; H 2.34; N 25,36; S, 8.26.  $\text{C}_{18}\text{H}_9\text{N}_7\text{O}_2\text{S}$ . Рассчитано, %: C, 55.81; H, 2.34; N, 25.31; S, 8.28. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 3,80 (с, 3H), 7,57 (м, 2H), 7,85 (д, 1H), 8,45 (д, 1H), 8,75 (с, 1H), 9,05 (с, 1H)

**13l:** Выход 86%,  $T_{\text{пл}} = >300$  °С. ИК ( $\nu_{\text{max}}$ , oil): 2230 (CN). Найдено, %: C 67.09; H 2.68; N 20,58; S 9.47.  $\text{C}_{19}\text{H}_9\text{N}_5\text{S}$ . Рассчитано, %: C 67.24; H, 2.67; N 20.64; S, 9.45. ЯМР  $^1\text{H}$  (500 МГц, ДМСО- $d_6$ ,  $\delta$ , м.д.): 2,45 (с, 3H), 7,60 (д, 1H, J=8.1), 8,00 (с, 1H), 8,10 (с, 1H), 8,40 (д, 2H, J=8,3), 8,60 (с, 1H).

## Литература

1. **Terrier F.** Nucleophilic aromatic displacement: the influence of the nitro group, VSH Publishers, New York, 1991.
2. **Abramov I.G., Dorogov M.V., Smirnov A.V., Ivanovskii S.A., Abramova M.B., Plachtinsky V.V.** The differing reactivity of the bromo and nitro groups in 4-bromo-5-nitrophthalonitrile towards nucleophilic attack. *Mendeleev Commun.* 2000. V. 2. P. 78-80. DOI: 10.1070/MC2000v010n02ABEH001147.
3. **Chirkova Z.V., Filimonov S.I., Abramov I.G.** Synthesis of Functional Derivatives of Benzofuran-5,6-dicarboxylic Acids. *Russian Journal of General Chemistry.* 2019. V. 89. Iss. 6. P. 1307-1309. DOI: 10.1134/S1070363219060276.



4. **Filimonov S.I., Chirkova Zh.V., Abramov I.G., Firgang S.I., Stashina G.A., Suponitsky K.Yu.** Synthesis of Novel Substituted 4-Hydroxy-3-oxo-3,4-dihydro-2H-1,4-benzoxazine-6,7-dicarbonitriles. *Heterocycles*. 2011. V. 83. № 4. P. 755-763. DOI: 10.3987/COM-10-12128.
5. **Chirkova Zh.V., Kabanova M.V., Sharunov V.S., Danilova A.S., Abramov I.G., Filimonov S.I., Lufarenko D.V., Soloviev M.E.** New Nitrogen-Containing Five-Membered Heterocyclic ortho - Dicarbonitriles for Preparation of Macroheterocycles. *Macroheterocycles*. 2014. Vol. 7 (3). P. 296-301. DOI: 10.6060/mhcl40378c.
6. **Mikhailova A.I., Znoiko S.A., Maizlish V.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G., Abramova M.B.** Nucleophilic Substitution of 4-Bromo-5-nitrophthalodinitrile: XVII. Synthesis and Properties of Bifunctionally Substituted Metal Phthalocyanines with Aryloxy and Nitro Groups. *Russian Journal of General Chemistry*. 2018. V. 88. Iss. 7. P. 1425-1429. DOI: 10.1134/S1070363218040205.
7. **Tikhomirova T.V., Gruzdeva O.M., Galanin N.E., Shaposhnikov G.P., Abramov I.G.** Phthalocyanines containing macrocyclic and azo chromophores in the molecule. *Russian Journal of General Chemistry*. 2016. V. 86. Iss. 4. P. 848-853. DOI: 10.1134/S1070363216040150.
8. **Makarov D.A., Derkacheva V.M., Kuznetsova N.A., Kaliya O.L., Lukyanets EA.** Octa-3,6-hexoxyphthalocyanines: effect of proration on spectral and photochemical properties. *Macroheterocycles*. 2013. V. 6. P. 371-378. DOI: 10.6060/mhc30951k.
9. **Botnar A., Tikhomirova T., Kazaryan K., Bychkova A., Maizlish V., Abramov I., Vashurin A.** Synthesis and properties of tetrasubstituted phthalocyanines containing cyclohexylphenoxy-groups on the periphery. *Journal of Molecular Structure*. 2021. 130438. DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.130438. DOI: 10.1016/j.molstruc.2021.130438
10. **Siling S.A., Shamshin S.V., Grachev A.B., Tsiganova O.Yu., Yuzhakov V.I., Abramov I.G., Smirnov A.V., Ivanovski S.A.i, Vitukhnovsky A.G., Averjushkin A.S., Bui Chi Lap.** Synthesis and photophysical properties of hexazocyanines-bifluorophores. *Oxidation Commun*. 2000. V. 23. P. 481-494.
11. **Abramov I.G., Karpov R.Z.** Synthesis of 4-heterylamino-5-nitrophthalonitriles based on 4-bromo-5-nitrophthalonitrile. *From Chemistry Towards Technology Step-By-Step*. 2020. V. 1. N 1. P. 62-67. DOI: 10.52957/27821900\_2020\_01\_62. URL: <http://chemintech.ru/index.php/tor/2020tom1n1>
12. **Chirkova Z.V., Kabanova M.V., Filimonov S.I., Abramov I.G., Petzer A., Hitge R., Petzer J.P., Suponitsky K.Y.** Optimization of pyrrolo[3,4-f]indole-5,7-dione and indole-5,6-dicarbonitrile derivatives as inhibitors of monoamine oxidase. *Drug Development Research*. 2019. V. 80. Iss. 7. P. 970-980. DOI: 10.1002/ddr.21576.
13. **Chirkova Zh.V., Kabanova M.V., Filimonov S.I., Abramov I.G., Petzer A., Petzer J.P., Suponitsky K.Yu.** An evaluation of synthetic indole derivatives as inhibitors of monoamine oxidase. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*. 2016. V. 26 (9). P. 2214-2219. DOI: 10.1016/j.bmcl.2016.03.060.
14. **Berezin D.B., Makarov V.V., Znoyko S.A., Mayzlish V.E., Kustov A.V.** Aggregation water soluble octaanionicphthalocyanines behavior and their photoinactivation antimicrobial effect *in vitro*. *Mendeleev Commun*. 2020. V. 30. № 5. P. 621-623. DOI: 10.1016/j.mencom.2020.09.023.
15. **Caterino M., D'Aria F., Kustov A.V., Belykh D.V., Khudyaeva I.S., Starseva O.M., Berezin D.B., Pylina Y.I., Usacheva T. R., Amato J., Giancola C.** Selective binding of a bioactive porphyrin-based photosensitizer to the G-quadruplex from the. *Intern. J. Biol. Macromolecules*. 2020. V. 145. P. 244-251. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.12.152.
16. **Filimonov S.I., Chirkova Zh.V., Abramov I.G., Firgang S.I., Stashina G.A., Suponitsky K.Yu.** Synthesis of 2-oxo- and 2-thioxo-5-(benzofuran-2-yl)-tetrahydropyrimidines. *Mendeleev Commun*. 2011. V. 21. N 6. P. 332-333. DOI: 10.1016/j.mencom.2011.01.019.
17. **Kolesnikov T.I., Orlova A.M., Tsegelskaya A.Y., Cherkaev G.V., Buzin A.I., Kechekyan A.S., Dmitryakov P.V., Belousov S.I., Abramov I.G., Serushkina O.V., Kuznetsov A.A.** Dual-curing propargyl-phthalonitrile imide-based thermoset: Synthesis, characterization and curing behavior. *European Polymer Journal*. 2021. 161 (5). 110865. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2021.110865.
18. **Smirnov A.V., Abramov I.G., Plakhtinskii V.V., Krasovskaya G.G.** 4-(1-Benzotriazolyl)-5-nitrophthalonitrile as a highly active substrate in aromatic nucleophilic substitution reactions. *Mendeleev Commun*. 2002. V. 2. P. 72 - 74. DOI: 10.1070/MC2002v012n02ABEH001538.
19. **Schmidt D.M. Bonvicino G.E.** The Halogen-activated Smiles rearrangement. *J. Org. Chem*. 1984. V. 49 (9). P. 1664-1666. DOI: 10.1021/jo00183a039.

Поступила в редакцию 21.11.2021

Принята к опубликованию 09.12.2021