

## Синтез и аннелирование с пиридиновым циклом пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрилов

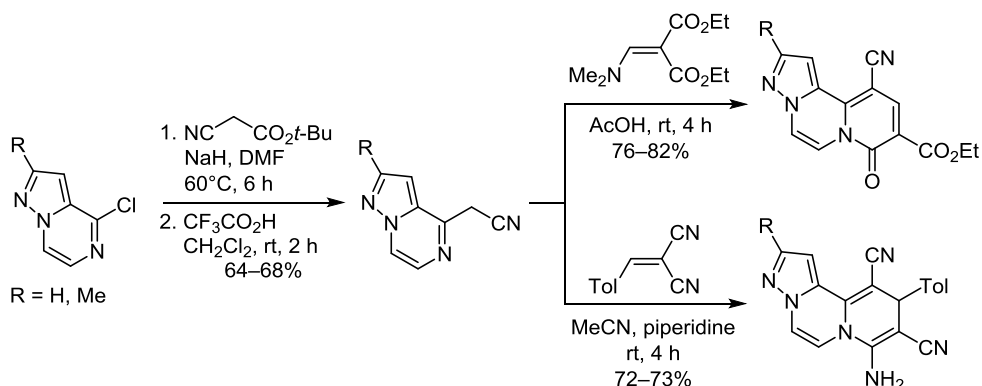
Назар М. Цизорик<sup>1</sup>, Евгений В. Гринишин<sup>1,2\*</sup>, Анна Р. Мусийчук<sup>1</sup>,  
Андрей В. Больбут<sup>1,3</sup>, Михаил В. Вовк<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт органической химии НАН Украины,  
ул. Мурманская, 5, Киев 02094, Украина; e-mail: mvovk@ioch.kiev.ua

<sup>2</sup> Национальный университет "Киево-Могилянская академия",  
ул. Григория Сковороды, 2, Киев 04655, Украина  
e-mail: yevhenii.hrynyshyn@ukma.edu.ua

<sup>3</sup> НПО "Енамин",  
ул. Красноткацкая, 78, Киев 02094, Украина; e-mail: bolbut@ukr.net

Поступило 1.07.2019  
Принято 9.08.2019



Реакцией 4-хлорпиразоло[1,5-*a*]пиразинов с *tert*-бутилцианацетатом, которая протекает через промежуточное образование *tert*-бутил[циано(пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4(5*H*)-илиден)этианоатов], синтезированы пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрилы, используемые для получения производных новой гетероциклической системы пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразина.

**Ключевые слова:** пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрилы, пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразины, 4-хлорпиразоло[1,5-*a*]пиразины, аннелирование.

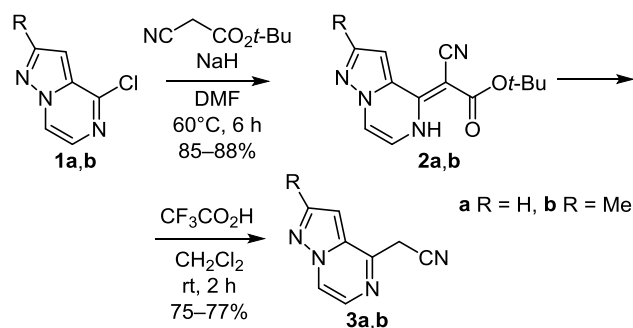
2-Азагетарилацетонитрилы представляют собой ценные синтетические блоки, которые используются при конструировании разнообразных конденсированных и линейно функционализированных гетероциклических структур с комплексом практических свойств. В настоящее время наиболее исследованными в их ряду являются производные 2-пиридил-, 2-хиназолинил- и 1-изохинолинилацетонитрилов. В частности, 2-пиридил-ацетонитрилы оказались весьма полезными для получения азаиндолов,<sup>1</sup> пиразоло[1,5-*a*]пиридинов,<sup>2</sup> 2-азастильбенов,<sup>3</sup> пирролопиррольных цианиновых красителей,<sup>4,5</sup> фторпирамового гаптена,<sup>6</sup> агонистов грелина<sup>7</sup> и антибактериальных агентов.<sup>8</sup> 2-(4-Оксохиназолинил)-ацетонитрилы нашли применение в синтезе производных пирроло[1,2-*a*]хиназолина,<sup>9</sup> пиразоло[1,5-*a*]-

хиназолина,<sup>10</sup> хино[2,1-*b*]хиназолина,<sup>11</sup> пиридо[1,2-*a*]хиназолина.<sup>12</sup> В свою очередь, на основе 1-(3,4-дигидрохинолинил)ацетонитрилов разработаны удобные синтетические подходы к производным пирроло[2,1-*a*]изохинолина<sup>13-17</sup> и пиридо[2,1-*a*]изохинолина.<sup>18-21</sup>

В продолжение ранее выполненных работ<sup>22-24</sup> по аннелированию пиразоло[1,5-*a*]пиразиновых систем и с учетом изложенного выше синтетического потенциала 2-азагетарилацетонитрилов представлялось обоснованным осуществить синтез их новых представителей, содержащих фармакофорный пиразолопиразиновый остов и оценить возможности некоторых реакций аннелирования с их участием. В качестве субстратов для такой цели были выбраны 4-хлорпиразоло[1,5-*a*]пиразины<sup>22</sup> **1a, b**, которые реагируют с *tert*-бутил-

цианацетатом в растворе ДМФА при 60 °С в присутствии NaH с образованием продуктов **2a,b** (схема 1). Последние, согласно данным спектров ЯМР <sup>1</sup>H, в растворе CDCl<sub>3</sub> или ДМСО-*d*<sub>6</sub>, существуют исключительно в 4-илиденовой форме. Отметим, что ранее для продуктов реакции 2-галогенпиридинов<sup>1,25</sup> или 2-хлорхинолинов<sup>5</sup> с *трет*-бутилцианацетатом спектральными методами было зафиксировано наличие двух таутомерных форм – 2-илиденовой и 2-алкильной.

Схема 1



При исследовании деалкоксикарбонилирования *трет*-бутил[циано(пиразоло[1,5-*a*]пирозин-4(5*H*)-илиден)этанов] **2a,b** выявлено, что условия, обычно применяемые для их пиридиновых и хинолиновых аналогов (*p*-TSA в кипящем PhMe<sup>3,6,25,26</sup> или кипящая HCO<sub>2</sub>H<sup>5</sup>) не приемлемы для такой цели, поскольку не содействуют селективному протеканию реакции. В то же время применение CF<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H в растворе CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> при комнатной температуре позволяет провести процесс селективно и с высокими выходами получить пиразоло[1,5-*a*]пирозин-4-илацетонитрилы **3a,b**, в спектрах ЯМР <sup>1</sup>H которых имеются характеристичные сигналы протонов метиленовой группы при 4.16 и 4.12 м. д.

Способность ацетонитрилов **3a,b** выступать в качестве синтетических эквивалентов структур enaminoного типа была исследована на примерах циклоконденсации с типичными акцепторами Михаэля – 2-[(*N,N*-диметил)аминоэтилиден]диэтилмалонатом **4a** и (4-метилбензилиден)пропандинитрилом **4b** (схема 2). Найдено, что такое взаимодействие протекает по схеме аннелирования пиридинового цикла в мягких условиях

и приводит к производным новой гетероциклической системы пиразоло[1,5-*a*]пирозин[2,1-*c*]пирозина – соединениям **5a,b** и **6a,b** с высокофункционализированными пиридиновыми циклами. Учитывая литературные данные,<sup>20,21</sup> достоверно предположить, что этот процесс реализуется через первоначальное образование продуктов присоединения по Михаэлю **A** или **B** с последующей внутримолекулярной циклизацией, сопровождающейся формированием пиридинового цикла.

Таким образом, нами разработан удобный синтетический подход к новому типу производных азатарилуксусных кислот – пиразоло[1,5-*a*]пирозин-4-илацетонитрилам, и показана их эффективность как реагентов для аннелирования пиридинового цикла.

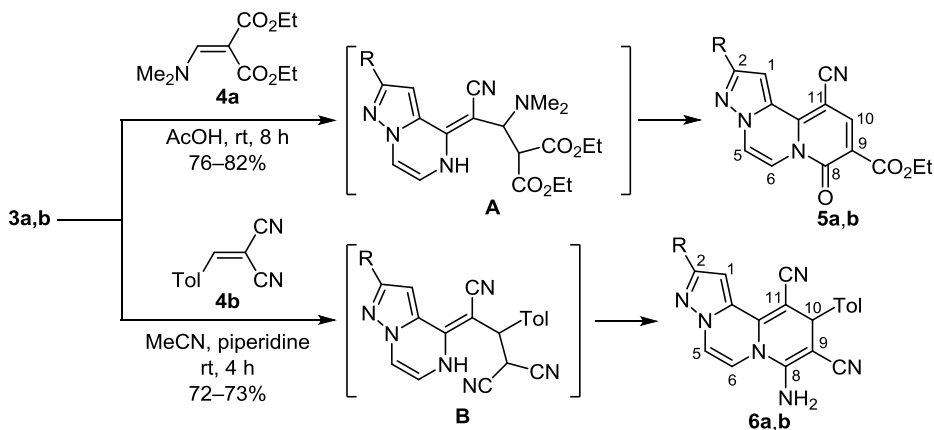
### Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на приборе Bruker Vertex 70 в таблетках KBr. Спектры ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C записаны на спектрометре Varian VXR-400 (400 и 126 МГц соответственно) в импульсном фурье-режиме в CDCl<sub>3</sub> (соединения **2a,b**, **3a,b**) или в ДМСО-*d*<sub>6</sub> (остальные соединения и спектр ЯМР <sup>1</sup>H соединений **2a,b**), внутренний стандарт ТМС. Масс-спектры записаны на приборе Agilent LC/MSD SL (колонок Zorbax SB-C18, 4.6×15 мм, 1.8 мкм (PN 82(c)75-932)), растворитель ДМСО, ионизация электрораспылением при атмосферном давлении. Элементный анализ выполнен на приборе PerkinElmer CHN-Analyzer серии 2400. Температуры плавления определены на столике Кофлера и не исправлены.

**Синтез соединений 2a,b** (общая методика). К суспензии 2.6 г (65 ммоль) 60% NaH в 30 мл ДМФА добавляют 5.5 г (39 ммоль) *трет*-бутилцианацетата в 15 мл ДМФА и перемешивают при комнатной температуре в течение 30 мин. К реакционной смеси добавляют 32 ммоль 4-хлорпиразолопирозина **1a,b** и нагревают при 60 °С в течение 6 ч. Растворитель отгоняют при пониженном давлении, к твердому остатку добавляют 25 мл H<sub>2</sub>O и перемешивают в течение 30 мин. Образовавшийся осадок отфильтровывают, промывают 20 мл H<sub>2</sub>O, сушат на воздухе и кристаллизуют из EtOH.

**трет**-Бутил[циано(пиразоло[1,5-*a*]пирозин-4(5*H*)-илиден)этанов] (**2a**). Выход 7.26 г (88%), белый порошок, т. пл. 143–144 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1727

Схема 2



(C=O), 2223 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц):  $\text{CDCl}_3$ : 1.58 (9H, с, C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>); 6.84 (1H, д, д,  $^3J_{6-7} = ^3J_{6-\text{NH}} = 5.6$ , H-6); 7.64 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-7); 7.86 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-3); 7.95 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-2); 13.04 (1H, уш. с, NH); ДМСО- $d_6$ : 1.51 (9H, с, C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>); 7.33 (1H, д, д,  $^3J_{6-7} = ^3J_{6-\text{NH}} = 5.6$ , H-6); 7.63 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-3); 8.04 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-7); 8.10 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-2); 12.73 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 28.5; 65.8; 81.5; 106.6; 115.0; 117.2; 119.9; 130.2; 142.1; 148.4; 168.3. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 259 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 60.27; H 5.53; N 21.48. C<sub>13</sub>H<sub>14</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 60.45; H 5.46; N 21.69.

**трет-Бутил[циано(2-метилпиразоло[1,5-*a*]пиразин-4(5*H*)-илиден)этанойл] (2b)**. Выход 7.40 г (85%), белый порошок, т. пл. 155–157 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1725 (C=O), 2224 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц):  $\text{CDCl}_3$ : 1.54 (9H, с, C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>); 2.45 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 6.76 (1H, д, д,  $^3J_{6-7} = ^3J_{6-\text{NH}} = 6.0$ , H-6); 7.52 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-7); 7.58 (1H, с, H-3); 12.99 (1H, уш. с, NH); ДМСО- $d_6$ : 1.49 (9H, с, C(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>); 2.38 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 7.24 (1H, д, д,  $^3J_{6-7} = ^3J_{6-\text{NH}} = 6.0$ , H-6); 7.39 (1H, с, H-3); 7.90 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-7); 12.99 (1H, уш. с, NH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 13.6; 28.3; 66.9; 82.3; 106.7; 113.5; 114.0; 119.2; 130.9; 148.5; 151.9; 169.6. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 273 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 61.91; H 5.83; N 20.38. C<sub>14</sub>H<sub>16</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 61.75; H 5.92; N 20.58.

**Синтез соединений 3a,b** (общая методика). К раствору 25 ммоль соединения **2a,b** в 70 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> при комнатной температуре добавляют 70 мл CF<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H и перемешивают в течение 2 ч. Из реакционной смеси отгоняют растворители, к остатку добавляют 40 мл МТБЭ, образовавшийся осадок отфильтровывают, сушат на воздухе и кристаллизуют из EtOH.

**Пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрил (3a)**. Выход 3.04 г (77%), белый порошок, т. пл. 106–107 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 2220 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 4.16 (2H, с, CH<sub>2</sub>); 6.89 (1H, д,  $J = 1.6$ , H-3); 7.84 (1H, д,  $J = 4.8$ , H-6); 8.08 (1H, д,  $J = 1.6$ , H-2); 8.39 (1H, д,  $J = 4.8$ , H-7). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 25.1; 98.9; 114.9; 121.9; 128.4; 133.9; 142.5; 145.1. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 159 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 60.62; H 3.93; N 35.45. C<sub>8</sub>H<sub>6</sub>N<sub>4</sub>. Вычислено, %: C 60.75; H 3.82; N 35.42.

**(2-Метилпиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-ил)ацетонитрил (3b)**. Выход 3.23 г (75%), белый порошок, т. пл. 135–136 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 2223 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 2.54 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 4.12 (2H, с, CH<sub>2</sub>); 6.67 (1H, с, H-3); 7.77 (1H, д,  $J = 4.8$ , H-6); 8.27 (1H, д,  $J = 4.8$ , H-7). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 13.9; 25.0; 97.6; 115.0; 121.4; 127.5; 134.9; 143.8; 156.0. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 173 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 62.93; H 4.73; N 32.43. C<sub>9</sub>H<sub>8</sub>N<sub>4</sub>. Вычислено, %: C 62.78; H 4.68; N 32.54.

**Синтез соединений 5a,b** (общая методика). К раствору 2 ммоль пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрила **3a,b** в 10 мл AcOH добавляют 610 мг (2.85 ммоль) соединения **4a** и перемешивают при комнатной температуре в течение 8 ч. Образовавшийся осадок отфильтровывают, промывают 5 мл Et<sub>2</sub>O, сушат на воздухе и кристаллизуют из смеси ДМФА–EtOH, 1:1.

**Этил-8-оксо-11-циано-8*H*-пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразин-9-карбоксилат (5a)**. Выход 462 мг (82%), белый порошок, т. пл. 207–209 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1694, 1726 (C=O), 2215 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.31 (3H, т,  $J = 7.0$ , CH<sub>3</sub>); 4.28 (2H, к,  $J = 7.0$ , CH<sub>2</sub>O); 7.87 (1H, д,  $J = 2.5$ , H-1); 8.35 (1H, д,  $J = 2.5$ , H-2); 8.41 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-6); 8.54 (1H, с, H-10); 8.62 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-5). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 14.6; 61.4; 83.3; 107.2; 112.0; 113.3; 117.9; 119.7; 130.8; 141.6; 143.8; 145.7; 154.1; 163.3. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 283 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 59.69; H 3.67; N 20.05. C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: C 59.57; H 3.57; N 19.85.

**Этил-2-метил-8-оксо-11-циано-8*H*-пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразин-9-карбоксилат (5b)**. Выход 450 мг (76%), белый порошок, т. пл. 219–221 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1692, 1723 (C=O), 2217 (C≡N). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.30 (3H, т,  $J = 7.2$ , CH<sub>3</sub>); 2.46 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 4.29 (2H, к,  $J = 7.2$ , CH<sub>2</sub>O); 7.67 (1H, с, H-1); 8.35 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-6); 8.50 (1H, д,  $J = 6.0$ , H-5); 8.55 (1H, с, H-10). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 13.9; 14.3; 61.9; 83.7; 107.6; 110.5; 113.4; 117.0; 118.6; 130.8; 140.3; 145.9; 154.1; 154.2; 163.0. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 297 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 60.92; H 4.17; N 19.05. C<sub>15</sub>H<sub>12</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: C 60.81; H 4.08; N 18.91.

**Синтез соединений 6a,b** (общая методика). К раствору 2 ммоль пиразоло[1,5-*a*]пиразин-4-илацетонитрила **3a,b** в 10 мл MeCN добавляют 336 мг (2 ммоль) соединения **4b**, 2 капли пиперидина и перемешивают при комнатной температуре в течение 4 ч. Образовавшийся осадок отфильтровывают, промывают 5 мл Et<sub>2</sub>O, сушат на воздухе и кристаллизуют из смеси ДМФА–EtOH, 1:2.

**8-Амино-10-(4-метилфенил)-10*H*-пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразин-9,11-дикарбонитрил (6a)**. Выход 476 мг (73%), белый порошок, т. пл. 209–211 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 2230 (C≡N), 3295 (NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 2.28 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 4.47 (1H, с, 10-CH); 6.69 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.13 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-6); 7.16 (2H, д,  $J = 7.6$ , H Ar); 7.20 (2H, д,  $J = 7.6$ , H Ar); 7.27 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-1); 7.54 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-5); 7.87 (1H, д,  $J = 2.0$ , H-2). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 24.2; 40.5; 63.9; 82.2; 105.8; 111.4; 113.3; 120.0; 120.1; 127.2; 130.1; 130.3; 136.2; 137.5; 140.9; 141.8; 149.1. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 327 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 69.68; H 4.41; N 25.91. C<sub>19</sub>H<sub>14</sub>N<sub>6</sub>. Вычислено, %: C 69.92; H 4.32; N 25.75.

**8-Амино-2-метил-10-(4-метилфенил)-10*H*-пиразоло[1,5-*a*]пиридо[2,1-*c*]пиразин-9,11-дикарбонитрил (6b)**. Выход 490 мг (72%), белый порошок, т. пл. 244–246 °С. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 2228 (C≡N), 3290 (NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 2.28 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 2.30 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 4.45 (1H, с, 10-CH); 6.67 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.06 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-6); 7.08 (1H, с, H-1); 7.13 (2H, д,  $J = 7.6$ , H Ar); 7.20 (2H, д,  $J = 7.6$ , H Ar); 7.43 (1H, д,  $J = 5.6$ , H-5). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta$ , м. д.: 13.4; 21.2; 40.5; 63.9; 81.6; 105.2; 111.4; 112.4; 120.1; 120.2; 127.4; 129.9; 130.9; 135.9; 137.4; 140.9; 149.1; 151.0. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 341 [M+H]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 70.70; H 4.82; N 24.48. C<sub>20</sub>H<sub>16</sub>N<sub>6</sub>. Вычислено, %: C 70.57; H 4.74; N 24.69.

Элементный анализ выполнен в аналитической лаборатории Института органической химии НАН Украины.

#### Список литературы

1. Subota, A. I.; Volochnyuk, D. M.; Gorlova, A. O.; Grygorenko, O. O. *Heterocycl. Commun.* **2017**, 23, 449.
2. Nishigaya, Y.; Umei, K.; Yamamoto, E.; Kohno, Y.; Seto, S. *Tetrahedron Lett.* **2014**, 55, 5963.
3. Kokars, V.; Yanishevskii, A.; Kampars, V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2002**, 38, 805. [Химия гетероцикл. соединений **2002**, 912.]
4. Fischer, G. M.; Isomaki-Krondahl, M.; Gottker-Schnetmann, I.; Daltrozzo, E.; Zumbusch, A. *Chem.–Eur. J.* **2009**, 15, 4857.
5. Fischer, G. M.; Klein, M. K.; Daltrozzo, E.; Zumbusch, A. *Eur. J. Org. Chem.* **2011**, 3421.
6. Ceballos-Alcantarilla, E.; Agullo, C.; Abad-Fuentes, A.; Abad-Somovilla, A.; Mercader, J. V. *RSC Adv.* **2015**, 5, 51337.
7. Orr, S. T. M.; Beveridge, R.; Bhattacharya, S. K.; Cameron, K. O.; Coffey, S.; Fernando, D.; Hepworth, D.; Jackson, M. V.; Khot, V.; Kosa, R.; Lapham, K.; Loria, P. M.; McClure, K. F.; Patel, J.; Rose, C.; Saenz, J.; Stock, I. A.; Storer, G.; von Volkenburg, M.; Vrieze, D.; Wang, G.; Xiao, J.; Zhang, Y. *ACS Med. Chem. Lett.* **2015**, 6, 156.
8. Komine, T.; Kojima, A.; Asahina, Y.; Saito, T.; Takano, H.; Shibue, T.; Fukuda, Y. *J. Med. Chem.* **2008**, 51, 6558.
9. Volovenko, Y. M.; Resnyanskaya, E. V. *Mendeleev Commun.* **2002**, 12, 119.
10. Fleischer, J.; Takacs, K.; Hermecz, I. *J. Heterocycl. Chem.* **1997**, 34, 1251.
11. Khilya, O. V.; Volovnenko, T. A.; Turov, A. V.; Volovenko, Yu. M. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2004**, 40, 1063. [Химия гетероцикл. соединений **2004**, 1226.]
12. Abdel Aziz, M. A.; Daboun, H. A.; Abdel Gawad, S. M. *J. Prakt. Chem.* **1990**, 332, 610.
13. Awad, E. M.; Elwan, N. M.; Hassaneen, H. M.; Linden, A.; Heimgartner, H. *Helv. Chim. Acta* **2001**, 84, 1172.
14. Elwan, N. M.; Abdelhadi, H. A.; Abdallah, T. A.; Hassaneen, H. M. *Tetrahedron* **1996**, 52, 3451.
15. Abdallah, T. A.; Dawood, K. M. *Tetrahedron* **2008**, 64, 7890.
16. Abdallah, T. A. *Heterocycles* **2008**, 75, 2779.
17. Tyutin, V. Yu.; Chkanikov, N. D.; Shklyayev, V. S.; Shklyayev, Yu. V.; Kolomiets, A. F.; Fokin, A. V. *Bull. Russ. Acad. Sci., Div. Chem. Sci.* **1992**, 41, 1474. [Изв. АН, Сер. хим. **1992**, 1888.]
18. Abdallah, T. A.; Abdelhadi, H. A.; Hassaneen, H. M.; Hassaneen, H. M. *Molecules* **2002**, 7, 540.
19. Hassaneen, H. M.; Wardkhan, W. W.; Mohammed, Y. Sh. *Heterocycles* **2012**, 85, 2933.
20. Abdallah, T. A.; Hassaneen, H. M.; Abdelhadi, H. A. *Heterocycles* **2009**, 78, 337.
21. Hassaneen, H. M.; Wardkhan, W. W.; Mohammed, Y. Sh. *J. Heterocycl. Chem.* **2017**, 54, 2850.
22. Hrynyshyn, Ye. V.; Tszorik, N. M.; Musiychuk, A. R.; Bol'but, A. V.; Vovk, M. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 1242. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, 53, 1242.]
23. Tszorik, N. M.; Hrynyshyn, Ye. V.; Musiychuk, A. R.; Bol'but, A. V.; Panasenko, N. V.; Vovk, M. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2018**, 54, 710. [Химия гетероцикл. соединений **2018**, 54, 710.]
24. Tszorik, N. M.; Hrynyshyn, Ye. V.; Bol'but, A. V.; Vovk, M. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2018**, 54, 1075. [Химия гетероцикл. соединений **2018**, 54, 1075.]
25. Katz, R. B.; Voyle, M. *Synthesis* **1989**, 314.
26. Farahat, A. A.; Boykin, D. W. *J. Heterocycl. Chem.* **2013**, 50, 585.