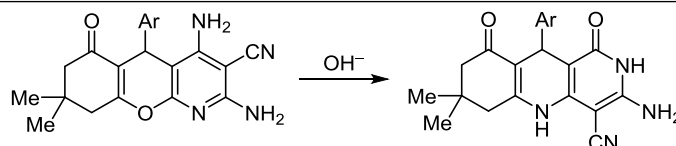


## Перегруппировка 3-циано-5*H*-хромено[2,3-*b*]пиридинов в производные 1,6-нафтиридина

Анастасия Ю. Алексеева<sup>1</sup>, Иван Н. Бардасов<sup>1</sup>,  
Наталья Л. Малышкина<sup>1</sup>, Олег В. Ершов<sup>1\*</sup>

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

Поступило 27.05.2017  
Принято 21.08.2017



В сообщении описана перегруппировка замещенных 5*H*-хромено[2,3-*b*]пиридинов в основной среде. В результате реализации механизма ANRORC и вращения пиридинового цикла происходит образование производных 1,6-нафтиридина с высокими выходами.

**Ключевые слова:** 1,6-нафтиридины, механизм ANRORC, каскадные реакции.

Перегруппировки – это, пожалуй, самый элегантный класс реакций в органической химии. Путь от исходного вещества к продукту реакции, осуществляющийся через разрыв и образование нескольких химических связей, проходит зачастую без потерь. Но перегруппировки не только удовлетворяют эстетические потребности ученых, они являются незаменимыми инструментами для проведения органического синтеза. Различные типы перегруппировок позволяют проводить операции увеличения (перегруппировка Бекмана)<sup>1</sup> и уменьшения размера цикла (перегруппировки Фаворского и Рамберга–Бэклунда)<sup>2</sup> и изменения гетероатома в цикле (аза-перегруппировка Пейна).<sup>3</sup>

В литературе можно встретить множество примеров перегруппировки 4*H*-пиранов в производные пиридин-2-она с использованием различных кислот в качестве катализаторов,<sup>4</sup> а также при действии гидросиламина,<sup>5</sup> иода,<sup>6</sup> ацетата аммония,<sup>7</sup> аминов<sup>8</sup> и т. д. С одной стороны, все описанные перегруппировки с участием 4*H*-пиранов в производные пиридин-2-она достаточно однотипны, и в литературе крайне редко можно найти примеры с участием поликонденсированных соединений.<sup>7а,8</sup> С другой стороны, данные перегруппировки протекают по предсказуемому пути, поэтому во многих случаях они используются для направленного получения биологически активных соединений и их прекурсоров.<sup>6</sup>

В данной работе нами предлагается изучение особенностей перегруппировки синтезированных нами ранее 5*H*-хромено[2,3-*b*]пиридинов<sup>9</sup> **1** в производные 1,6-нафтиридина. Известно, что некоторые 1,6-нафти-

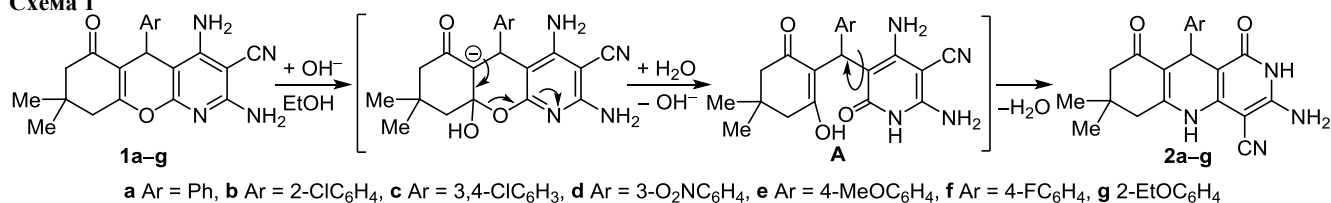
ридины, а также их бензо- и гетероаннелированные производные проявляют антипролиферативную<sup>10</sup> и противоопухолевую<sup>11</sup> активность, обладают свойствами ингибиторов HCV,<sup>12</sup> HCMV<sup>13</sup> и потенциальных агентов в борьбе с болезнью Альцгеймера.<sup>14</sup>

Исходные для перегруппировки 5*H*-хромено[2,3-*b*]пиридины нами были получены в результате трехкомпонентной реакции димедона, ароматических альдегидов и димера малонитрила. Попытки осуществить перегруппировку соединений **1** в кислой среде не привели к желаемым результатам, и из реакционной смеси были выделены лишь исходные соединения. При длительном же кипячении соединений **1** в спиртовых растворах гидроксида калия или натрия нами были выделены 3-амино-10-арил-7,7-диметил-1,9-диоксо-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрилы **2а–г** (схема 1).

Предполагается, что в данном превращении реализуется механизм ANRORC (Addition of the Nucleophile, Ring Opening, and Ring Closure).<sup>15</sup> Нуклеофильным реагентом выступает гидроксид-анион, действие которого приводит к раскрытию пиранового цикла и образованию замещенного пиридона **A**. Вращение последнего заканчивается циклизацией с участием карбонильной и аминной групп с образованием с выходами 80–96% конечных производных 1,6-нафтиридина – соединений **2**.

Строение соединений **2а–г** установлено методами ИК спектроскопии, спектроскопии ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C, масс-спектрометрии, а расположение функциональных групп – данными спектра NOESY соединения **2а**. В спектрах ЯМР <sup>1</sup>H соединений **2а–г** присутствуют

Схема 1



сигналы протонов аминогруппы при 6.64–7.56 м. д., протонов группы NH 1,4-дигидропиридинового и пиридинового фрагментов соответственно при 8.59–8.95 и 10.34–11.33 м. д., протонов 10-CH при 4.73–5.05 м. д., а также сигналы протонов углеводородного фрагмента. Важным для определения строения соединения **2a** является наличие в спектре NOESY корреляционных сигналов протонов аминогруппы (6.74 м. д.) с протоном N–H (10.55 м. д.) и отсутствие таковых с протонами бензольного цикла. Данные ИК спектроскопии, спектроскопии ЯМР <sup>13</sup>C и масс-спектрометрии также согласуются с предложенной структурой.

Таким образом, нами впервые представлен метод получения производных бензо[*b*][1,6]нафтиридина путем перегруппировки 5*H*-хромено[2,3-*b*]пиридинов в основной среде.

### Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на фурье-спектрометре ФСМ-1202 в тонком слое (суспензия в вазелиновом масле). Спектры ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C записаны на спектрометре Bruker DRX-500 (500 и 125 МГц соответственно) в DMSO-*d*<sub>6</sub>, внутренний стандарт ТМС. Время смешения в эксперименте NOESY 1 с. Масс-спектры записаны на приборе Finnigan MAT INCOS 50 (ионизация ЭУ, 70 эВ). Элементный анализ выполнен на СНН-анализаторе vario MICRO cube. Температуры плавления определены на автоматическом приборе OptiMelt MPA100. Контроль за ходом реакций и чистотой синтезированных соединений осуществлен методом ТСХ на пластинах Sorbfil ПТСХ-АФ-А-УФ (элюент EtOAc, проявление УФ облучением, параамида и термическим разложением).

**Синтез соединений 2a–g** (общая методика). Суспензию 1 ммоль соединения **1a–g** в 5 мл (3 ммоль) раствора NaOH или KOH в EtOH кипятят в колбе с обратным холодильником в течение 8 ч. Далее реакционную смесь упаривают, нейтрализуют конц. HCl и добавляют 20 мл H<sub>2</sub>O. Выделившийся осадок отфильтровывают и промывают H<sub>2</sub>O до pH 7. Перекристаллизуют из смеси *i*-PrOH–MeCN, 1:1.

**3-Амино-7,7-диметил-1,9-диоксо-10-фенил-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2a)**. Выход 90%, светло-желтый осадок, т. пл. 231–232 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1622 (C=O), 2200 (C≡N), 3283–3437 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м. д. (*J*, Гц): 0.86 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.04 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.99 (1H, д, *J* = 15.5, CH<sub>2</sub>); 2.18 (1H, д, *J* = 16.1, CH<sub>2</sub>); 2.49 (1H, д, *J* = 17.3, CH<sub>2</sub>C(O)); 2.62 (1H, д, *J* = 17.0, CH<sub>2</sub>C(O)), 4.80 (1H, с, 10-CH); 6.74 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.02–7.06 (1H, м, H Ph); 7.14–7.16 (4H, м, H Ph); 8.74 (1H, с, 5-NH); 10.55 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м. д.: 26.5 (CH<sub>3</sub>); 29.2 (CH<sub>3</sub>); 32.0 (C-7); 33.0 (C-6); 39.8

(C-10); 50.2 (C-8); 62.1 (C-4); 97.7, 111.0 (C-9a,10a); 115.7 (CN); 125.6 (C Ph); 127.6 (2C Ph); 144.2, 147.1, 150.5, 155.2, 160.1 (C Ph, C-1,3,4a,5a); 194.4 (C-9). Масс-спектр, *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 360 [M]<sup>+</sup> (2), 57 (100). Найдено, %: C 69.90; H 5.66; N 15.49. C<sub>21</sub>H<sub>20</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 69.98; H 5.59; N 15.55.

**3-Амино-7,7-диметил-1,9-диоксо-10-(2-хлорфенил)-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2b)**. Выход 92%, светло-желтый осадок, т. пл. 265–266 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1641 (C=O), 2206 (C≡N), 3204–3347 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м. д. (*J*, Гц): 0.85 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.00 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.91 (1H, д, *J* = 16.4, CH<sub>2</sub>); 2.15 (1H, д, *J* = 16.1, CH<sub>2</sub>); 2.48 (1H, д, *J* = 17.0, CH<sub>2</sub>C(O)); 2.57 (1H, д, *J* = 16.8, CH<sub>2</sub>C(O)); 5.05 (1H, с, 10-CH); 6.77 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.04 (1H, т. д, *J* = 7.6, *J* = 1.7, H Ar); 7.13 (1H, т. д, *J* = 7.5, *J* = 1.3, H Ar); 7.18 (1H, д. д, *J* = 7.9, *J* = 1.3, H Ar); 7.26 (1H, д. д, *J* = 7.7, *J* = 1.7, H Ar); 8.76 (1H, с, 5-NH); 10.44 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м. д.: 26.4 (CH<sub>3</sub>); 29.3 (CH<sub>3</sub>); 31.9 (C-7); 33.2 (C-6); 39.8 (C-10); 50.2 (C-8); 59.8 (C-4); 96.8, 110.0 (C-9a,10a); 115.7 (CN); 126.2 (C Ar); 127.0 (C Ar); 129.1 (C Ar); 132.3 (C Ar); 132.6 (C Ar); 144.0, 144.5, 150.8, 155.3, 159.9 (C Ar, C-1,3,4a,5a); 194.1 (C-9). Масс-спектр, *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 396 [M]<sup>+</sup> (4), 394 [M]<sup>+</sup> (10), 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl]<sup>+</sup> (100). Найдено, %: C 63.95; H 4.99; N 14.02. C<sub>21</sub>H<sub>19</sub>ClN<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 63.88; H 4.85; N 14.19.

**3-Амино-7,7-диметил-1,9-диоксо-10-(3,4-дихлорфенил)-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2c)**. Выход 96%, светло-желтый осадок, т. пл. 234–235 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1640 (C=O), 2204 (C≡N), 3216–3370 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м. д. (*J*, Гц): 0.86 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.01 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.99 (1H, д, *J* = 15.8, CH<sub>2</sub>); 2.19 (1H, д, *J* = 16.0, CH<sub>2</sub>); 2.47 (1H, д, *J* = 17.1, CH<sub>2</sub>C(O)); 2.61 (1H, д, *J* = 17.6, CH<sub>2</sub>C(O)); 4.77 (1H, с, CHAr); 7.09 (1H, д. д, *J* = 8.4, *J* = 2.1, H Ar); 7.31 (1H, д, *J* = 2.0, H Ar); 7.41 (1H, д, *J* = 8.3, H Ar); 7.56 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 8.70 (1H, с, 5-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м. д.: 26.5 (CH<sub>3</sub>); 29.2 (CH<sub>3</sub>); 32.0 (C-7); 33.1 (C-6); 39.8 (C-10); 50.1 (C-8); 60.6 (C-4); 96.1, 109.9 (C-10a,9a); 116.6 (CN); 127.8 (C Ar); 128.0 (C Ar); 129.5 (C Ar); 129.8 (C Ar); 129.9 (2C Ar); 144.2, 148.5, 151.4, 157.6 (C-1,3,4a,5a); 194.3 (C-9). Масс-спектр, *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>3</sub>Cl<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (10), 57 (100). Найдено, %: C 58.89; H 4.32; N 12.98. C<sub>21</sub>H<sub>18</sub>Cl<sub>2</sub>N<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 58.75; H 4.23; N 13.05.

**3-Амино-7,7-диметил-10-(3-нитрофенил)-1,9-диоксо-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2d)**. Выход 80%, светло-желтый осадок, т. пл. 268–269 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1640 (C=O), 2205 (C≡N), 3203–3340 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м. д. (*J*, Гц): 0.86 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.02 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 2.00 (1H, д, *J* = 15.9, CH<sub>2</sub>); 2.21 (1H, д, *J* = 16.1, CH<sub>2</sub>); 2.54 (1H, д, *J* = 17.9, CH<sub>2</sub>C(O)); 2.66 (1H, д, *J* = 17.5, CH<sub>2</sub>C(O));

4.89 (1H, с, 10-CH); 6.86 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.50 (1H, т,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.62 (1H, т,  $J = 3.8$ , H Ar); 7.94–7.98 (2H, м, H Ar); 8.95 (1H, с, 5-NH); 10.68 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 26.7 (CH<sub>3</sub>); 29.3 (CH<sub>3</sub>); 32.4 (C-7); 34.1 (C-6); 40.2 (C-10); 50.5 (C-8); 60.2 (C-4); 91.4, 109.1 (C-9a,10a); 115.8 (CN); 121.2 (C Ar); 122.4 (C Ar); 129.6 (C Ar); 134.8 (C Ar); 142.9 (C Ar); 147.7, 149.4, 151.7, 154.7, 162.5 (C Ar, C-1,3,4a,5a); 194.8 (C-9). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>]<sup>+</sup> (9), 61 (100). Найдено, %: C 62.41; H 4.88; N 17.01. C<sub>21</sub>H<sub>19</sub>N<sub>5</sub>O<sub>4</sub>. Вычислено, %: C 62.22; H 4.72; N 17.27.

**3-Амино-7,7-диметил-10-(4-метоксифенил)-1,9-диоксо-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2e).** Выход 95%, светло-желтый осадок, т. пл. 258–259 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1625 (C=O), 2208 (C≡N), 3212, 3303, 3450 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 0.87 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.01 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.98 (1H, д,  $J = 15.9$ , CH<sub>2</sub>); 2.17 (1H, д,  $J = 16.1$ , CH<sub>2</sub>); 2.48 (1H, д,  $J = 17.0$ , CH<sub>2</sub>C(O)); 2.60 (1H, д,  $J = 17.1$ , CH<sub>2</sub>C(O)); 3.66 (3H, с, OCH<sub>3</sub>); 4.73 (1H, с, 10-CH); 6.71 (2H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 6.72 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.05 (2H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 8.71 (1H, с, 5-NH); 10.52 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 26.6 (CH<sub>3</sub>); 29.3 (CH<sub>3</sub>); 32.0 (C-7); 32.1 (C-6); 39.8 (C-10); 50.3 (C-8); 54.9 (OCH<sub>3</sub>); 60.9 (C-4); 98.0, 111.2 (C-9a,10a); 113.0 (C Ar); 115.7 (CN); 128.5 (C Ar); 139.4, 143.9, 150.3, 155.1, 157.3, 160.1 (2C Ar, C-1,3,4a,5a); 194.4 (C-9). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OCH<sub>3</sub>]<sup>+</sup> (15), 57 (100). Найдено, %: C 67.78; H 5.75; N 14.22. C<sub>22</sub>H<sub>22</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: C 67.68; H 5.68; N 14.35.

**3-Амино-7,7-диметил-1,9-диоксо-10-(4-фторфенил)-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2f).** Выход 85%, светло-желтый осадок, т. пл. 260–261 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1661 (C=O), 2200 (C≡N), 3216–3350 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 0.85 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.01 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.98 (1H, д,  $J = 15.9$ , CH<sub>2</sub>); 2.18 (1H, д,  $J = 16.0$ , CH<sub>2</sub>); 2.49 (1H, д,  $J = 16.8$ , CH<sub>2</sub>C(O)); 2.60 (1H, д,  $J = 16.7$ , CH<sub>2</sub>C(O)), 4.80 (1H, с, 10-CH); 6.95 (2H, д,  $J = 8.9$ ,  $J = 8.9$ , H Ar); 6.99 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 7.15 (2H, д,  $J = 8.6$ ,  $J = 5.7$ , H Ar); 8.70 (1H, с, 5-NH); 11.33 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 26.5 (CH<sub>3</sub>); 29.2 (CH<sub>3</sub>); 32.0 (C-7); 32.5 (C-6); 39.8 (C-10); 50.2 (C-8); 60.8 (C-4); 97.3, 110.9 (C-9a,10a); 114.01, 114.2 (C Ar,  $J = 21.0$ ); 116.2 (CN); 129.2, 129.2 (C Ar,  $J = 7.8$ ); 143.5, 144.2, 150.7 (C Ar, C-4a,5a); 156.4, 160.1 (C Ar,  $J = 465.0$ ); 159.4, 161.3 (C-1,3); 194.3 (C-9). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 378 [M]<sup>+</sup> (9), 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>F] (100). Найдено, %: C 66.78; H 5.19; N 14.69. C<sub>21</sub>H<sub>19</sub>FN<sub>4</sub>O<sub>2</sub>. Вычислено, %: C 66.66; H 5.06; N 14.81.

**3-Амино-7,7-диметил-1,9-диоксо-10-(2-этоксифенил)-1,2,5,6,7,8,9,10-октагидробензо[*b*][1,6]нафтиридин-4-карбонитрил (2g).** Выход 93%, светло-желтый осадок, т. пл. 262–263 °С (с разл.). ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 1651 (C=O), 2208 (C≡N), 3296–3443 (NH, NH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д. ( $J$ , Гц): 0.82 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 0.99 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 1.30 (3H, д,  $J = 6.9$ ,  $J = 7.0$ , OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>); 1.87 (1H, д,  $J = 16.2$ , CH<sub>2</sub>); 2.11 (1H, д,  $J = 16.2$ , CH<sub>2</sub>); 2.42 (1H, д,  $J = 17.2$ , CH<sub>2</sub>C(O)); 2.53 (1H, д,  $J = 17.0$ , CH<sub>2</sub>C(O)); 3.78–3.86 (2H, м, OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>); 4.80 (1H, с, 10-CH); 6.64 (2H, с, NH<sub>2</sub>); 6.70 (1H, д,  $J = 7.4$ ,  $J = 7.4$ ,  $J = 0.9$ , H Ar); 6.74 (1H, д,  $J = 8.1$ , H Ar); 6.99 (1H, д,  $J = 7.7$ ,

$J = 7.7$ ,  $J = 1.8$ , H Ar); 7.22 (1H, д,  $J = 7.5$ ,  $J = 1.8$ , H Ar); 8.59 (1H, с, 5-NH); 10.34 (1H, с, 2-NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м. д.: 15.0 (CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>); 26.0 (CH<sub>3</sub>); 29.5 (CH<sub>3</sub>); 31.9 (C-7); 33.4 (C-6); 39.8 (C-10); 50.4 (C-8); 60.6 (C-4); 62.7 (OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>); 96.0, 108.8 (C-9a,10a); 111.3 (C Ar); 115.9 (CN); 118.7 (C Ar); 126.7 (C Ar); 132.7 (C Ar); 132.8 (C Ar); 144.7, 150.6, 155.1, 157.4, 160.1 (C Ar, C-1,3,4a,5a); 194.1 (C-9). Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 283 [M–C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>]<sup>+</sup> (5), 57 (100). Найдено, %: C 68.52; H 6.08; N 13.69. C<sub>23</sub>H<sub>24</sub>N<sub>4</sub>O<sub>3</sub>. Вычислено, %: C 68.30; H 5.98; N 13.85.

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР соединений **2a–g**, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-33-00909 мол\_а).

### Список литературы

- (a) Saeki, M.; Toyota, M. *Tetrahedron Lett.* **2010**, *51*, 4620. (b) Hutt, O. E.; Doan, T. L.; Georg, G. I. *Org. Lett.* **2013**, *15*, 1602.
- (a) Kozak, J. A.; Dake, G. R. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, *47*, 4221. (b) Nicolaou, K. C.; Sarlah, D.; Wu, T. R.; Zhan, W. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2009**, *48*, 6870. (c) Sánchez-Flores, J.; Pelayo-González, V. G.; Romero-Ávila, M.; Flores-Pérez, B.; Flores-Álamo, M.; Iglesias-Arteaga, M. A. *Steroids* **2013**, *78*, 234.
- (a) Najime, R.; Pilard, S.; Vaultier, M. *Tetrahedron Lett.* **1992**, *33*, 5351. (b) Schomaker, J. M.; Geiser, A. R.; Huang, R.; Borhan, B. *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 3794. (c) Liu, Q.; Marchington, A. P.; Boden, N.; Rayner, C. M. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1997**, 511.
- (a) Bhattacharyya, P.; Pradhan, K.; Paul, S.; Das, A. R. *Tetrahedron Lett.* **2012**, *53*, 4687. (b) Quinteiro, M.; Martín, N.; Seoane, C.; Soto, J. L. *Heterocycles* **1986**, *24*, 1675. (c) Seoane, C.; Soto, J. L.; Morano, P.; Quinteiro, M. *J. Heterocycl. Chem.* **1981**, *18*, 309. (d) Maiti, S.; Mallick, S.; Panja, S. K.; Pal, C.; Bandyopadhyay, C. *Synlett* **2011**, 2001.
- Andina, A. V.; Andin, A. N. *Russ. J. Org. Chem.* **2016**, *52*, 1068. [*Журн. орган. химии* **2016**, *52*, 1073.]
- Buduma, K.; Chinde, S.; Arigari, N. K.; Grover, P.; Srinivas, K. V. N. S.; Kumar, K. J. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2016**, *26*, 2159.
- (a) Al-Omran, F.; Elassar, A.-Z. A.; El-Khair, A. A. *Tetrahedron* **2001**, *57*, 10163. (b) Elassar, A.-Z. A.-A. *Heteroat. Chem.* **2004**, *15*, 293.
- Ibrahim, M. A.; El-Gohary, N. M. *Heterocycles* **2014**, *89*, 413.
- Ershov, O. V.; Melekhin, E. A.; Bardasov, I. N.; Kayukov, Ya. S.; Eremkin, A. V.; Nasakin, O. E. *Russ. J. Org. Chem.* **2006**, *42*, 1380. [*Журн. орган. химии* **2006**, *42*, 1395.]
- Rudys, S.; Ríos-Luci, C.; Pérez-Roth, E.; Cikotaene, I.; Padrón, J. M. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2010**, *20*, 1504.
- (a) Wu, J.-F.; Liu, M.-M.; Huang, S.-X.; Wang, Y. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2015**, *25*, 3251. (b) Ruchelman, A. L.; Singh, S. K.; Ray, A.; Wu, X. H.; Yang, J.-M.; Li, T.-K.; Liu, A.; Liu, L. F.; LaVoie, E. J. *Bioorg. Med. Chem.* **2003**, *11*, 2061.
- Cheng, Y.; Shen, J.; Peng, R.-Z.; Wang, G.-F.; Zuo, J.-P.; Long, Y.-Q. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2016**, *26*, 2900.
- Falardeau, G.; Lachance, H.; St-Pierre, A.; Yannopoulos, C. G.; Drouin, M.; Bédard, J.; Chan, L. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2005**, *15*, 1693.
- Di Pietro, O.; Pérez-Areales, F. J.; Juárez-Jiménez, J.; Espargaró, A.; Clos, M. V.; Pérez, B.; Lavilla, R.; Sabaté, R.; Luque, F. J.; Muñoz-Torrero, D. *Eur. J. Med. Chem.* **2014**, *84*, 107.
- Van der Plas, H. C. *Acc. Chem. Res.* **1978**, *11*, 462.