

# РЕАКЦИИ (4E)-3-АРИЛАМИНО-4-(ГИДРОКСИИМИНО)-НАФТАЛИН-1(4H)-ОНОВ И (4E)-2-[АРИЛАМИНО-(АЛКИЛАМИНО)]-4-(ГИДРОКСИИМИНО)НАФТАЛИН-1(4H)-ОНОВ С 2,2-ДИГИДРОКСИ-1,3-ИНДАНДИОНОМ

© 2021 г. Л. М. Горностаев<sup>a, b, \*</sup>, Д. С. Руденко<sup>a, b</sup>, Т. А. Руковец<sup>a, b, \*\*</sup>, О. И. Фоминых<sup>a</sup>, Ю. Г. Ромашкова<sup>a</sup>, Ю. В. Гатиллов<sup>c, \*\*\*</sup>, В. Н. Сильников<sup>d, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> ФГБОУ ВО «Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева»,  
Россия, 660049 Красноярск, ул. А. Лебедевой, 89  
\*e-mail: gornostaev@kspu.ru

<sup>b</sup> ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого»,  
Россия, 660022 Красноярск, ул. Партизана Железняка, 1  
\*\*e-mail: tatyana\_xim@mail.ru

<sup>c</sup> ФГБУН «Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН»,  
Россия, 630090 Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 9  
\*\*\*e-mail: gatilov@nioch.nsc.ru

<sup>d</sup> ФГБУН «Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН»,  
Россия, 630090 Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 8  
\*\*\*\*e-mail: v.silnikov@mail.ru

Поступила в редакцию 09.11.2020 г.

После доработки 12.11.2020 г.

Принята к публикации 15.11.2020 г.

Реакции 3-ариламино-1,4-нафтохинон-4-оксимов с 2,2-дигидрокси-1,3-индандионом протекают без участия оксимной группы и приводят к (6E)-5-ариламино-6-гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-4b,5-дигидробензо[*f*]индено[1,2-*b*]индол-11,12(6H,11bH)-диолам. Реакции 2-ариламино(алкиламино)-1,4-нафтохинон-4-оксимов с 2,2-дигидрокси-1,3-индандионом протекают с участием оксимной группы и при этом образуются 6-[ариламино(алкиламино)]-6b,11b-дигидрокси-5,7-диоксо-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксиды.

**Ключевые слова:** монооксимы 1,4-нафтохинонов, 2,2-дигидрокси-1,3-индандион

**DOI:** 10.31857/S0514749221020051

## ВВЕДЕНИЕ

Аминонафтохиноны и их азотистые гетероциклические производные проявляют высокую противоопухолевую активность [1–6]. Так, нафтотриазолы **I**, триазол-*N*-оксиды **II** и их оксииминопроизводные **III**, получаемые на основе 2-амино-1,4-нафтохинонов, проявляют противоопухолевые свойства (рис. 1).

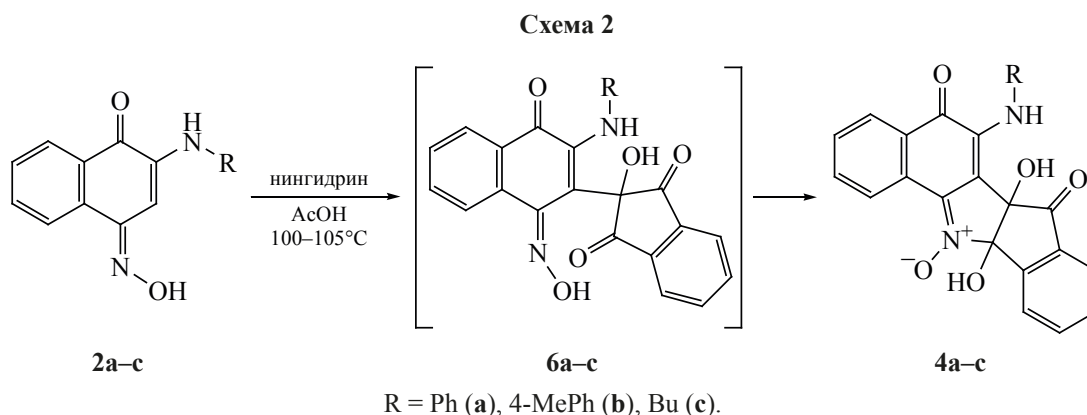
Высокие антипролиферативные свойства проявляют 2-(1-алкил-3-гидрокси-4,9-диоксо-4,9-дигидро-1*H*-бензо[*f*]индол-2-ил)бензамиды [7], по-

лученные взаимодействием 2-алкиламино-1,4-нафтохинонов с 2,2-дигидрокси-1,3-индандионом (нингидрином) в одном сосуде. В настоящей работе нами изучены реакции (4E)-3-ариламино-4-(гидроксиимино)нафталин-1(4H)-онов **1**, полученных согласно [8], и (4E)-2-[ариламино(алкиламино)]-4-(гидроксиимино)нафталин-1(4H)-онов **2** [9] с нингидрином.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

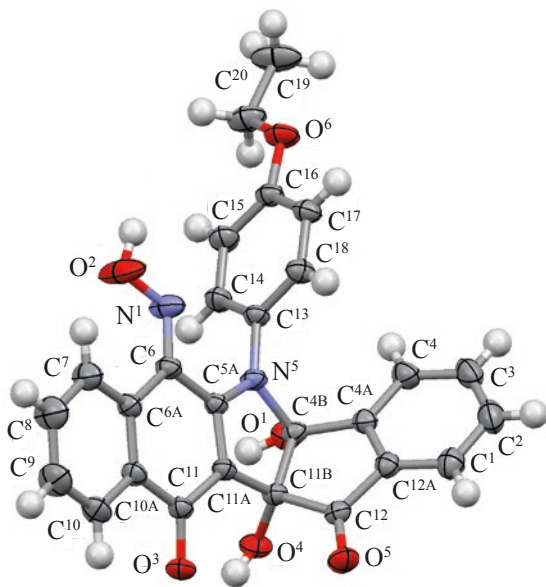
Установлено, что при взаимодействии оксимов **1** с нингидрином образуются (6E)-5-арил-





Элементный анализ выполнен на приборе EURO EA 300 (Италия). Температуры плавления определены на микронагревательном столике Voetius (Германия). Контроль за ходом реакции и чистотой продуктов проводили методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент толуол–ацетон, 5:1). РСА соединений **3c** и **4a** выполнен на дифрактометре Bruker KAPPA Apex II (Англия) ( $\text{MoK}_\alpha$ -излучение, 296 К). Все расчеты выполнены с помощью комплекса программ SHELX-2018 в анизотропном приближении. Атомы водорода OH групп уточнены изотропно, остальные – на модели «наездник». Координаты и геометрические параметры депонированы в Кембриджской базе структурных данных [11].

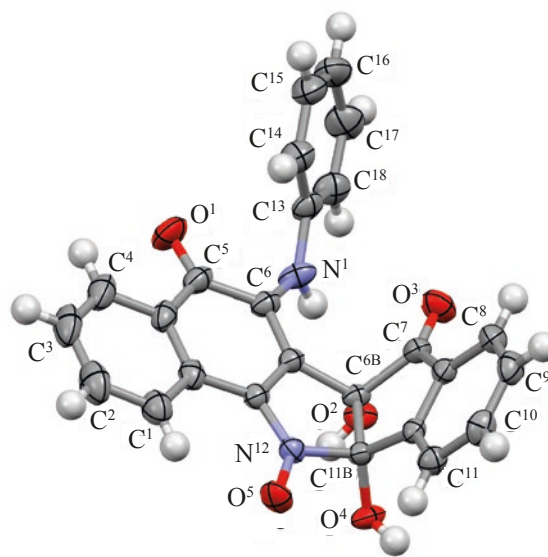
**(6E)-5-Ариламино-6-гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-4b,5-дигидробензо[f]индено[1,2-b]-**



**Рис. 2.** Молекулярная структура соединения **3c** (показаны 50% тепловые эллипсоиды). CCDC 2040185

**индол-11,12(6H,11bH)-дионы 3a–c** (общая методика). К суспензии 2 ммоль соответствующего оксима **1a–c** в 15 мл ледяной уксусной кислоты добавляли 0.36 г (2 ммоль) нингидрина и выдерживали при перемешивании 40–60 мин при 50–60°C. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали этанолом, водой, эфиром. Перекристаллизовывали из этанола.

**(6E)-6-Гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-5-фенил-4b,5-дигидробензо[f]индено[1,2-b]-индол-11,12(6H,11bH)-дион (3a).** Выход 0.58 г (68%), коричневые кристаллы, т.пл. 227–229°C. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1717 (C=O), 1622 (C=O), 1582 (C=N). УФ-спектр,  $\lambda_{\text{max}}$ , нм ( $\lg \epsilon$ ): 261 (4.25), 420 (3.67). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м.д.: 6.43 с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 6.46 д.д (2H, H<sup>14,18</sup>,  $J$  5.4, 1.1 Гц), 7.36 т (3H, H<sup>15,16,17</sup>,  $J$  5.9 Гц), 7.46 с (1H, C<sup>4b</sup>OH), 7.50



**Рис. 3.** Молекулярная структура соединения **4a** (показаны 50% тепловые эллипсоиды). CCDC 2040186

д.т (2H, H<sup>3,8</sup>, *J* 5.5, 1.2 Гц), 7.56 д.т (2H, H<sup>2,9</sup>, *J* 4.3, 1.3 Гц), 7.70 д.д (2H, H<sup>1,4</sup>, *J* 6.6, 1.5 Гц), 8.03 д.д (1H, H<sup>10</sup>, *J* 7.4, 2.3 Гц), 8.49 д.д (1H, H<sup>7</sup>, *J* 7.4, 2.2 Гц), 13.14 с (N–OH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 84.08 (C<sup>11b</sup>), 97.77 (C<sup>4b</sup>), 111.17 (C<sup>11a</sup>), 123.29 (C<sup>1</sup>), 125.33 (C<sup>4</sup>), 125.78 (C<sup>7</sup>), 127.00 (C<sup>16</sup>), 127.12 (C<sup>10a</sup>), 128.85 (2C<sup>14,18</sup>), 130.21 (C<sup>9</sup>), 130.30 (C<sup>8</sup>), 130.63 (2C<sup>15,17</sup>), 131.23 (2C<sup>2,3</sup>), 132.76 (C<sup>6a</sup>), 135.00 (C<sup>12a</sup>), 135.02 (C<sup>10</sup>), 139.81 (C<sup>4a</sup>), 140.45 (C<sup>13</sup>), 147.17 (C<sup>6</sup>), 154.63 (C<sup>5a</sup>), 176.99 (C<sup>11</sup>), 197.31 (C<sup>12</sup>). Масс-спектр, *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 424 (13) [M]<sup>+</sup>, 407 (78), 363 (67), 247 (39), 104 (30). Найдено, %: C 70.26; H 3.69; N 6.23. C<sub>25</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Вычислено, %: C 70.75; H 3.77; N 6.60. *M* 424.40.

**(6E)-6-Гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-5-(4-метоксифенил)-4b,5-дигидробензо[*f*]индено[1,2-*b*]индол-11,12(6H,11bH)-дион (3b).** Выход 0.62 г (76%), желтые кристаллы, т.пл. 230–232°C. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1709 (C=O), 1624 (C=O), 1583 (C=N). УФ-спектр, λ<sub>max</sub>, нм (lg ε): 284 (4.37), 431 (3.70). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 3.80 с (3H, CH<sub>3</sub>), 6.56 д.д (1H, H<sup>14</sup>, *J* 8.3, 2.5 Гц), 6.80 уш.с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 6.87–7.18 м (3H, H<sup>15,17,18</sup>), 7.35 с (1H, C<sup>4b</sup>OH), 7.49–7.56 м (4H, H<sup>2,3,8,9</sup>), 7.71 д.д (2H, H<sup>1,4</sup>, *J* 8.6, 1.7 Гц), 8.02 д.д (1H, H<sup>10</sup>, *J* 9.2, 2.4 Гц), 8.49 д.д (1H, H<sup>7</sup>, *J* 9.2, 2.1 Гц), 13.11 с (N–OH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 55.50 (CH<sub>3</sub>), 83.87 (C<sup>11b</sup>), 97.51 (C<sup>4b</sup>), 110.26 (C<sup>11a</sup>), 113.90 (2C<sup>15,17</sup>), 123.27 (C<sup>1</sup>), 125.27 (C<sup>4</sup>), 125.91 (C<sup>7</sup>), 127.14 (C<sup>10a</sup>), 130.19 (C<sup>9</sup>), 130.25 (C<sup>8</sup>), 130.56 (2C<sup>14,18</sup>), 131.11 (2C<sup>2,3</sup>), 132.84 (C<sup>6a</sup>), 133.55 (C<sup>13</sup>), 135.03 (C<sup>12a</sup>), 135.06 (C<sup>10</sup>), 139.89 (C<sup>4a</sup>), 147.27 (C<sup>6</sup>), 154.66 (C<sup>5a</sup>), 158.18 (C<sup>16</sup>), 176.80 (C<sup>11</sup>), 197.37 (C<sup>12</sup>). Масс-спектр (HR-MS): *m/z* 454.1154 [M]<sup>+</sup>. C<sub>26</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. [M]<sup>+</sup> 454.1159. Масс-спектр (LR-MS), *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 454 (7) [M]<sup>+</sup>, 439 (25), 438 (79), 437 (34), 423 (27), 421 (25), 420 (27), 393 (28), 294 (100), 292 (24), 278 (40), 277 (90), 276 (34), 263 (26), 262 (23), 246 (38), 130 (52), 104 (68), 102 (25), 76 (53), 50 (21). Найдено, %: C 68.43; H 4.34; N 6.16. C<sub>26</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Вычислено, %: C 68.72; H 3.96; N 6.16. *M* 454.43.

**(6E)-6-Гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-5-(4-этоксифенил)-4b,5-дигидробензо[*f*]индено[1,2-*b*]индол-11,12(6H,11bH)-дион (3c).** Выход 0.78 г (83%), желтые кристаллы, т.пл. 220–221°C. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1705 (C=O), 1611 (C=O), 1580 (C=N). УФ-спектр, λ<sub>max</sub>, нм (lg ε): 283 (4.55), 430

(3.92). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 1.37 т (3H, CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>, *J* 5.5 Гц), 4.05 к (2H, CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>, *J* 5.5 Гц), 6.37 с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 6.53 д (1H, H<sup>14</sup>, *J* 5.4 Гц), 6.64–7.04 м (3H, H<sup>15,17,18</sup>), 7.37 с (1H, C<sup>4b</sup>OH), 7.50–7.56 м (4H, H<sup>2,3,8,9</sup>), 7.69 д (2H, H<sup>1,4</sup>, *J* 6.4 Гц), 8.02 д.д (1H, H<sup>10</sup>, *J* 7.3, 2.2 Гц), 8.48 д.д (1H, H<sup>7</sup>, *J* 7.1, 1.9 Гц), 13.10 с (N–OH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 15.02 (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>), 63.42 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>), 83.86 (C<sup>11b</sup>), 97.50 (C<sup>4b</sup>), 110.21 (C<sup>11a</sup>), 114.28 (2C<sup>15,17</sup>), 123.26 (C<sup>1</sup>), 125.26 (C<sup>4</sup>), 125.91 (C<sup>7</sup>), 127.13 (C<sup>10a</sup>), 130.20 (C<sup>9</sup>), 130.24 (C<sup>8</sup>), 130.55 (2C<sup>14,18</sup>), 131.10 (2C<sup>2,3</sup>), 132.69 (C<sup>6a</sup>), 132.84 (C<sup>13</sup>), 135.02 (C<sup>12a</sup>), 135.05 (C<sup>10</sup>), 139.88 (C<sup>4a</sup>), 147.26 (C<sup>6</sup>), 154.65 (C<sup>5a</sup>), 157.52 (C<sup>16</sup>), 176.77 (C<sup>11</sup>), 197.37 (C<sup>12</sup>). Масс-спектр, *m/z* (*I*<sub>отн.</sub>, %): 468 (13) [M]<sup>+</sup>, 451 (100), 407 (84), 379 (85), 306 (97), 291 (98), 277 (55), 263 (99), 233 (61), 205 (69), 104 (62). Найдено, %: C 69.18; H 4.80; N 5.89. C<sub>27</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Вычислено, %: C 69.23; H 4.27; N 5.98. *M* 468.46.

**6-[Ариламино(алкиламино)]-6b,11b-дигидрокси-5,7-диоксо-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксиды 4a–с (общая методика).** Соответствующий (4E)-2-[ариламино(алкиламино)]-4-(гидроксиимино)нафталин-1(4H)-он **2a–с** (5 ммоль) с 0.89 г (5 ммоль) нингидрина в 30 мл ледяной уксусной кислоты нагревали в течение 1.5–2 ч при 100–105°C. Затем в горячую реакционную массу прибавляли 100 мл воды и нагревали до кипения, после охлаждали до 25°C. Выпавший осадок отфильтровывали, промывали водным спиртом (1:1), этанолом.

**6b,11b-Дигидрокси-5,7-диоксо-6-фениламино-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксид (4a).** Выход 1.75 г (83%), темно-красные кристаллы, т.пл. 237–239°C. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 3051–3184 (O–H), 3360 (NH), 1727 (C=O), 1632 (C=O), 1378 (N–O). УФ-спектр, λ<sub>max</sub>, нм (lg ε): 230 (4.60), 261 (4.48), 392 (3.89), 499 (3.87). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м.д.: 6.86 д (2H, H<sup>14,18</sup>, *J* 7.8 Гц), 6.94 т (1H, H<sup>16</sup>, *J* 7.3 Гц), 7.23 т (2H, H<sup>15,17</sup>, *J* 7.8 Гц), 7.41 с (1H, C<sup>6b</sup>OH), 7.68 т (1H, H<sup>9</sup>, *J* 7.6 Гц), 7.74 т (1H, H<sup>3</sup>, *J* 7.4 Гц), 7.79 т (1H, H<sup>10</sup>, *J* 7.5 Гц), 7.83 д (1H, H<sup>8</sup>, *J* 7.7 Гц), 7.87 с (1H, NH), 7.95 т (1H, H<sup>2</sup>, *J* 7.4 Гц), 8.08 д (1H, H<sup>11</sup>, *J* 7.6 Гц), 8.18 д (1H, H<sup>4</sup>, *J* 7.8 Гц), 8.88 с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 9.14 д (1H, H<sup>1</sup>, *J* 7.9 Гц). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ, м.д.: 79.30 (C<sup>6b</sup>), 101.28 (C<sup>11b</sup>), 119.29 (2C<sup>14,18</sup>), 121.14 (C<sup>16</sup>), 124.02 (C<sup>12b</sup>), 124.07 (C<sup>8</sup>), 124.09 (C<sup>6a</sup>), 124.33 (C<sup>3</sup>), 126.27 (C<sup>2</sup>),

127.22 (C<sup>11</sup>), 128.36 (2C<sup>15,17</sup>), 130.85 (C<sup>4a</sup>), 131.17 (C<sup>10</sup>), 132.08 (C<sup>9</sup>), 132.14 (C<sup>11a</sup>), 132.55 (C<sup>7a</sup>), 133.34 (C<sup>4</sup>), 133.85 (C<sup>13</sup>), 137.05 (C<sup>1</sup>), 142.83 (C<sup>6</sup>), 147.19 (C<sup>12a</sup>), 178.12 (C<sup>5</sup>), 198.22 (C<sup>7</sup>). Масс-спектр (HR-MS),  $m/z$ : 424.1058 [M]<sup>+</sup>. C<sub>25</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. [M]<sup>+</sup> 424.1054. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 425 (30) [M + 1]<sup>+</sup>, 424 (100) [M]<sup>+</sup>, 408 (62), 407 (65), 390 (25), 276 (26), 275 (47), 261 (60), 260 (64), 204 (31), 130 (39), 105 (26), 77 (53), 45 (85). Найдено, %: С 70.73; Н 3.58; N 6.42. C<sub>25</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Вычислено, %: С 70.75; Н 3.77; N 6.60. М 424.40.

**6b,11b-Дигидрокси-5,7-диоксо-6-(4-метил-фениламино)-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксид (4b).** Выход 1.83 г (84%), темно-красные кристаллы, т.пл. 243–245°C. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3042-3214 (O–H), 3363 (NH), 1724 (C=O), 1634 (C=O), 1375 (N–O). УФ-спектр,  $\lambda_{\text{max}}$ , нм (lg  $\epsilon$ ): 260 (4.47), 290 (4.34), 394 (3.88), 506 (3.85). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м.д.: 2.25 с (3H, CH<sub>3</sub>), 6.77 д (2H, H<sup>14,18</sup>,  $J$  8.2 Гц), 7.03 д (2H, H<sup>15,17</sup>,  $J$  8.2 Гц), 7.37 с (1H, C<sup>6b</sup>OH), 7.68 т (1H, H<sup>9</sup>,  $J$  7.5 Гц), 7.74 т (1H, H<sup>3</sup>,  $J$  7.5 Гц), 7.78 т (1H, H<sup>10</sup>,  $J$  7.4 Гц), 7.77 с (1H, NH), 7.82 д (1H, H<sup>8</sup>,  $J$  7.6 Гц), 7.95 т (1H, H<sup>2</sup>,  $J$  7.2 Гц), 8.06 д (1H, H<sup>11</sup>,  $J$  7.7 Гц), 8.17 д (1H, H<sup>4</sup>,  $J$  7.8 Гц), 8.85 с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 9.14 д (1H, H<sup>1</sup>,  $J$  7.9 Гц). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м.д.: 20.27 (CH<sub>3</sub>), 79.32 (C<sup>6b</sup>), 101.17 (C<sup>11b</sup>), 119.65 (2C<sup>14,18</sup>), 123.00 (C<sup>12b</sup>), 124.00 (C<sup>6a</sup>), 124.02 (C<sup>8</sup>), 124.32 (C<sup>3</sup>), 126.24 (C<sup>2</sup>), 127.17 (C<sup>11</sup>), 128.81 (2C<sup>15,17</sup>), 130.28 (C<sup>16</sup>), 130.85 (C<sup>4a</sup>), 131.12 (C<sup>10</sup>), 132.04 (C<sup>9</sup>), 132.10 (C<sup>11a</sup>), 132.52 (C<sup>7a</sup>), 133.29 (C<sup>4</sup>), 134.18 (C<sup>13</sup>), 137.01 (C<sup>1</sup>), 142.29 (C<sup>6</sup>), 147.19 (C<sup>12a</sup>). Масс-спектр (HR-MS),  $m/z$ : 438.1215. C<sub>26</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. [M]<sup>+</sup> 438.1210. Масс-спектр (LR-MS),  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 438 (33) [M]<sup>+</sup>, 422 (86), 421 (54), 420 (58), 407 (32), 405 (42), 404 (43), 276 (28), 275 (100), 274 (27), 260 (26), 106 (30), 104 (41), 76 (32). Найдено, %: С 71.39; Н 4.91; N 6.12. C<sub>26</sub>H<sub>18</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Вычислено, %: С 71.23; Н 4.11; N 6.39. М 438.43.

**6-Бутиламино-6b,11b-дигидрокси-5,7-диоксо-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксид (4c).** Выход 1.75 г (87%), коричневые кристаллы, т.пл. 202–204°C. ИК спектр,  $\nu$ , см<sup>-1</sup>: 3051-3184 (O–H), 3354 (NH), 1712 (C=O), 1627 (C=O), 1285 (N–O). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H,  $\delta$ , м.д.: 0.93 т (3H, CH<sub>3</sub>,  $J$  7.2 Гц), 1.43 к (2H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J$  7.5 Гц), 1.58 к (2H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J$  7.3 Гц),

3.76 квинтет (2H, CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>,  $J$  6.8 Гц), 6.02 т (1H, NH,  $J$  6.1 Гц), 7.03 с (1H, C<sup>6b</sup>OH), 7.62 т (1H, H<sup>9</sup>,  $J$  7.6 Гц), 7.70 т (1H, H<sup>3</sup>,  $J$  7.5 Гц), 7.73 т (1H, H<sup>10</sup>,  $J$  7.5 Гц), 7.82 д (1H, H<sup>8</sup>,  $J$  7.6 Гц), 7.90 т (1H, H<sup>2</sup>,  $J$  7.2 Гц), 8.07 д (1H, H<sup>11</sup>,  $J$  7.6 Гц), 8.14 д (1H, H<sup>4</sup>,  $J$  8.0 Гц), 8.58 с (1H, C<sup>11b</sup>OH), 9.17 д (1H, H<sup>1</sup>,  $J$  7.6 Гц). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C,  $\delta$ , м.д.: 13.75 (CH<sub>3</sub>), 19.49 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 33.02 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 44.69 (CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>), 79.69 (C<sup>6b</sup>), 100.23 (C<sup>11b</sup>), 111.69 (C<sup>6a</sup>), 123.74 (C<sup>8</sup>), 124.01 (C<sup>12b</sup>), 124.34 (C<sup>3</sup>), 126.13 (C<sup>2</sup>), 126.87 (C<sup>11</sup>), 130.24 (C<sup>4a</sup>), 130.76 (C<sup>10</sup>), 131.75 (C<sup>9</sup>), 132.19 (C<sup>11a</sup>), 132.60 (C<sup>7a</sup>), 133.23 (C<sup>4</sup>), 136.61 (C<sup>1</sup>), 138.08 (C<sup>6</sup>), 147.14 (C<sup>12a</sup>), 179.47 (C<sup>5</sup>), 197.23 (C<sup>7</sup>). Масс-спектр (HR-MS),  $m/z$ : 404.1362. C<sub>23</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. [M]<sup>+</sup> 404.1367. Масс-спектр,  $m/z$  ( $I_{\text{отн}}$ , %): 405 (23) [M + 1]<sup>+</sup>, 404 (100) [M]<sup>+</sup>, 389 (10), 388 (42), 387 (35), 370 (11), 369 (19), 332 (9), 331 (32), 327 (22), 315 (15), 314 (9), 300 (10), 198 (12), 130 (16). Найдено, %: С 68.60; Н 4.49; N 6.89. C<sub>23</sub>H<sub>20</sub>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Вычислено, %: С 68.31; Н 4.95; N 6.93. М 404.42.

## ВЫВОДЫ

В результате реакции 3-ариламино-1,4-нафтохинон-4-оксимов и 2-ариламино(алкиламино)-1,4-нафтохинон-4-оксимов с 2,2-дигидрокси-1,3-индандионом получены (6*E*)-5-ариламино-6-гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-4b,5-дигидробензо[*f*]индено[1,2-*b*]индол-11,12(6*H*,11*bH*)-дионы и 6-[ариламино(алкиламино)]-6b,11b-дигидрокси-5,7-диоксо-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксиды соответственно. Присутствие в молекулах (6*E*)-5-ариламино-6-гидроксиимино-4b,11b-дигидрокси-4b,5-дигидробензо[*f*]индено[1,2-*b*]индол-11,12(6*H*,11*bH*)-дионов оксимной группы должно способствовать снижению их кардиотоксичности. Появление *N*-оксидного фрагмента в 6-[ариламино(алкиламино)]-6b,11b-дигидрокси-5,7-диоксо-5,6b,7,11b-тетрагидробензо[*g*]индено[1,2-*b*]индол-12-оксидах может привести к усилению их цитотоксичности.

## ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-33-00663).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tandon V.K., Maurya H.K., Mishra N.N., Shukla P.K. *Eur. J. Med. Chem.* **2009**, *44*, 3130–3137. doi 10.1016/j.ejmech.2009.03.006
2. Zhang J., Redman N., Litke A.P., Zhan J., Chan K.Y., Chang C.-W.T. *Bioorg. Med. Chem.* **2011**, *19*, 498–503. doi 10.1016/j.bmc.2010.11.001
3. Chan K.Y., Zhang J., Chang C.-W.T. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2011**, *21*, 6353–6235. doi 10.1016/j.bmcl.2011.08.107
4. Fosso M.Y., Chan K.Y., Gregory R., Chang C.W. *ACS Combinat. Sci.* **2012**, *14*, 231–235. doi 10.1021/co2002075
5. Beachy Ph.A., Chen J.K., Mann R.K. США. Пат. WO 200533048. *WO. C.A.* **2005**, *142*, 386022.
6. Gornostaev L.M., Tsvetkov V.B., Markova A.A., Lavrikova T.I., Khalyavina Y.G., Kuznetsova A.S., Kaluzhny D.N., Shunayev A.V., Tsvetkova M.V., Glazunova V.A., Chernyshev V.V., Shtil A.A. *Anti-Cancer Agents Med. Chem.* **2017**, *17*, 1814–1823. doi 10.2174/1871520617666170327112216
7. Горностаев Л.М., Фоминых О.И., Руковец Т.А., Лаврикова Т.И., Халявина Ю.Г., Штиль А.А., Шунаев А.В., Дунаев С.Ф., Мурашова Е.В., Чернышев В.В. *ХГС.* **2020**, *56*, 47–54. [Gornostaev L.M., Fominykh O.I., Rukovets T.A., Lavrikova T.I., Khalyavina J.G., Shtil A.A., Dunaev S.F., Murashova E.V., Chernyshev V.V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2020**, *56*, 47–54.] doi 10.1007/s10593-020-02621-8
8. Goldstein H., Grandjean P. *Helv. Chim. Acta.* **1943**, *43*, 468–475.
9. Горностаев Л.М., Руковец Т.А., Арнольд Е.В., Халявина Ю.Г., Гатиллов Ю.В. *ЖОрХ.* **2018**, *54*, 82–89. [Gornostaev T.A., Rukovets E.V., Arnold Yu.G., Khalyavina Yu.V., Gatilov U.V. *Russ. J. Org. Chem.* **2018**, *54*, 78–86.] doi 10.1134/S1070428018010062
10. Горностаев Л.М., Фоминых О.И., Лаврикова Т.И., Халявина Ю.Г., Гатиллов Ю.В., Сташина Г.А. *ЖОрХ.* **2019**, *55*, 1751–1761. [Gornostaev L.M., Fominyh O.I., Lavrikova T.I., Khalyavina Yu.G., Gatilov Yu.V., Stashina G.A. *Russ. Chem. Bull.* **2019**, *68*, 86–91.] doi 10.1007/s11172-019-2420-8
11. Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC), <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures>

# Reactions of (4*E*)-3-Arylamino-4-(hydroxyimino)naphthalen-1(4*H*)-ones and (4*E*)-2-[Arylamino(alkylamino)]-4-(hydroxyimino)naphthalen-1(4*H*)-ones with 2,2-Dihydroxy-1,3-indandion

L. M. Gornostaev<sup>a, b, \*</sup>, D. S. Rudenko<sup>a, b</sup>, T. A. Rukovets<sup>a, b, \*\*</sup>, O. I. Fominykh<sup>a</sup>,  
Yu. G. Romashkova<sup>a</sup>, Yu. V. Gatilov<sup>c, \*\*\*</sup>, and V. N. Silnikov<sup>d, \*\*\*\*</sup>

<sup>a</sup> Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafieva, ul. A. Lebedevoi, 89, Krasnoyarsk, 660049 Russia

\*e-mail: gornostaev@kspu.ru

<sup>b</sup> Krasnoyarsk State Medical University, prof. V.F. Voyno-Yasenetsky, ul. Partisan Zheleznyak, 1, Krasnoyarsk, 660022 Russia

\*\*e-mail: tatyana\_xim@mail.ru

<sup>c</sup> Novosibirsk Institute of Organic Chemistry, N.N. Vorozhtsov SB RAS, prosp. Acad. Lavrentieva, 9, Novosibirsk, 630090 Russia

\*\*\*e-mail: gatilov@nioch.nsc.ru

<sup>d</sup> Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, prosp. Acad. Lavrentieva, 8, Novosibirsk, 630090 Russia

\*\*\*\*e-mail: v.silnikov@mail.ru

Received November 9, 2020; revised November 12, 2020; accepted November 15, 2020

The reactions of 3-arylamino-1,4-naphthoquinone-4-oximes with 2,2-dihydroxy-1,3-indandione proceed without the participation of the oxime group and lead to (6*E*)-5-arylamino-4b,11b-dihydroxy-6-hydroxyimino-4b,5-dihydrobenzo[*f*]indeno[1,2-*b*]indole-11,12(6*H*,11*bH*)-diones. The reactions of 2-arylamino(alkylamino)-1,4-naphthoquinone-4-oximes with 2,2-dihydroxy-1,3-indandione proceed with the participation of the oxime group and lead to 6-[arylamino(alkylamino)]-6b,11b-dihydroxy-5,7-dioxo-5,6b,7,11b-tetrahydrobenzo[*g*]indeno[1,2-*b*]indole 12-oxides.

**Keywords:** monooxime's 1,4-naphthoquinones, 2,2-dihydroxy-1,3-indandione