

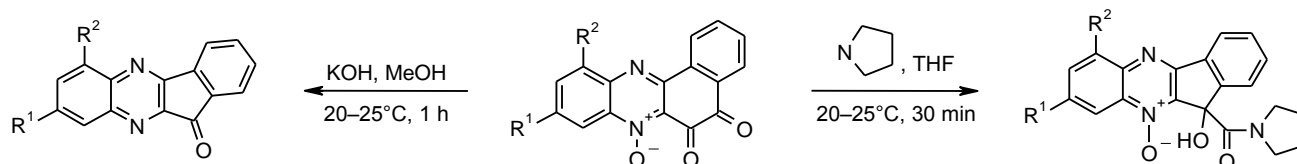
О реакциях 7-оксидов бензо[*a*]феназин-5,6-дионов с метанольным раствором щелочи и пирролидином

Леонид М. Горностаев^{1*}, Татьяна А. Руковец², Елена В. Арнольд¹,
Татьяна И. Лаврикова¹, Юлия Г. Халявина¹, Ирина С. Крюковская²

¹ Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, ул. Ады Лебедевой, 89, Красноярск 660049, Россия; e-mail: gornostaev@kspu.ru

² Красноярский государственный медицинский университет им. профессора В. Ф. Войно-Ясенецкого, ул. Партизана Железняка, 1, Красноярск 660021, Россия; e-mail: tatyana_xim@mail.ru

Поступило 31.12.2014
Принято 19.01.2015



7-Оксиды бензо[*a*]феназин-5,6-дионов при обработке метанольным раствором щелочи превращаются в 11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-оны, а при обработке пирролидином – в 11-гидрокси-11-(пирролидин-1-карбонил)-11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-10-оксиды.

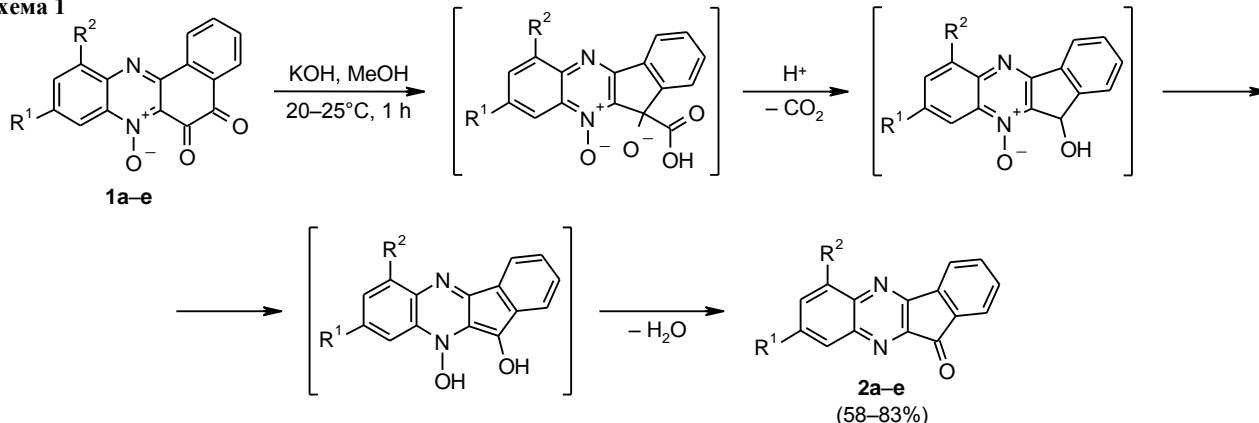
Ключевые слова: 7-оксиды бензо[*a*]феназин-5,6-дионов, 11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-оны, бензильная перегруппировка.

N-Оксиды и диоксиды феназинов привлекают внимание исследователей как вещества, проявляющие различные виды биологической активности. Известно, что феназин-*N*-оксид обладает антибактериальной активностью,¹ а его гидроксильные и амидные производные проявляют противоопухолевое действие.^{2,3} Также недавно 5,10-диоксиды феназина были идентифицированы как пролекарства для противоопухолевой терапии благодаря цитотоксическим свойствам.^{4,5}

Поэтому изучение химических свойств *N*-оксидов феназинов представляет интерес.

Нами найдено, что 7-оксиды бензо[*a*]феназин-5,6-дионов **1a–e** при обработке метанольным раствором гидроксида калия при 20–25 °C превращаются в 11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-оны **2a–e**. Реакция сопровождается выделением CO₂, сужением орто-хиноидного цикла и дезоксигенированием *N*-оксидного фрагмента (схема 1).

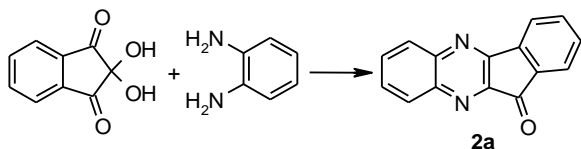
Схема 1



1, 2 **a–d** R² = H, **a, e** R¹ = H, **b** R¹ = Me, **c** R¹ = Cl, **d** R¹ = F, **e** R² = Me

Строение 11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-онов **2a–e**, исследуемых сейчас в связи с их противомикробной, антигипертензивной, противотуберкулезной, противомаларийной, противовоспалительной, противосудорожной, антиВИЧ и противораковой активностью,^{6–8} подтверждено встречным синтезом соединения **2a** из нингидрина и 1,2-диаминобензола^{9,10} (схема 2).

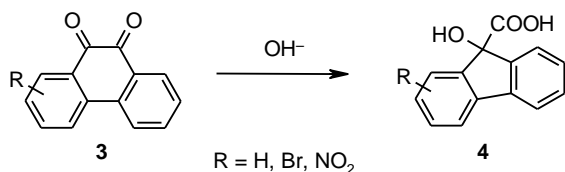
Схема 2



Характерно, что в спектрах ЯМР ¹³C 7-оксидов бензо[*a*]феназин-5,6-дионов **1a–e** сигналы хиноидных атомов углерода находятся в области 171–178 м. д., а в спектрах ЯМР ¹³C 11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-онов **2a–e** сигнал единственного карбонильного атома углерода находится при ~190 м. д., что соответствует литературным данным.¹¹ Наши попытки выделить какие-либо промежуточные продукты реакций **1**→**2** оказались безуспешными. При обработке феназин-*N*-оксидов **1a–e** метанольным раствором КОН при пониженной температуре (0–5 °С), как и при обработке их фенолятом калия в диоксане (при 15–20 °С), образуются лишь соответствующие хиноксалины **2a–e**.

Отличие реакции **1**→**2** от известных случаев бензильной перегруппировки *орто*-хиноидных полициклических соединений, например фенантренхинонов **3**,¹² заключается в том, что главными продуктами взаимодействия фенантренхинонов **3** со щелочами являются производные 9-гидроксифлуорен-9-карбоновой кислоты **4** (схема 3).

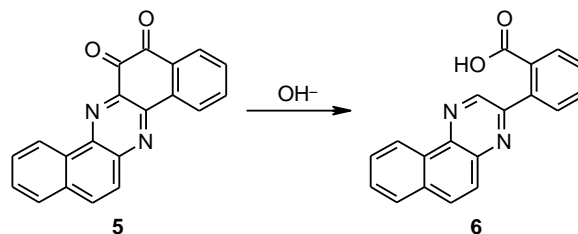
Схема 3



Характерно, что перегруппировка фенантренхинонов в 9-гидроксифлуорен-9-карбоновые кислоты существенно облегчается при наличии электроноакцепторных заместителей в бензоидных циклах фенантренхинонов. Так, незамещенный фенантренхинон изомеризуется в соответствующую гидроксифлуоренкарбоновую кислоту при длительном нагревании при 80 °С, 2- или 4-мононитрофенантренхиноны – при 65 °С, а 2,7- и 4,5-динитрофенантренхиноны – при 15 °С.

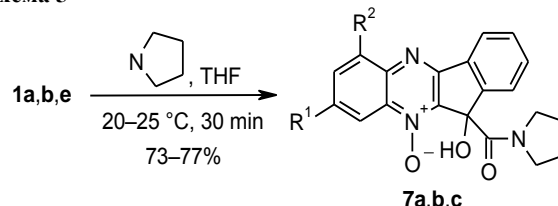
Более близкий аналог 7-оксидов бензо[*a*]феназин-5,6-дионов – дибензофеназиндион **5** – превращается с низким выходом в 2-хиноксалилбензойную кислоту **6** лишь при кипячении с концентрированным раствором NaOH¹³ (схема 4).

Схема 4



Следовательно, наличие *N*-оксидного фрагмента в производных феназиндионов **1a–e** повышает их электрофильную активность и селективность в реакции со щелочами. Повышенная электрофильная активность *N*-оксидов феназиндионов подтверждается также реакцией соединений **1a,b,e** с пирролидином, приводящей к 11-гидрокси-11-(пирролидин-1-илкарбонил)-11*H*-индено[1,2-*b*]хиноксалин-10-оксидам **7a–c** и сохранением *N*-оксидного фрагмента (схема 5). Строение и состав соединений **7a–c** подтверждены физико-химическими методами. Отметим, что данные о расщеплении фенантренхинонов и их диазааналогов под действием аминов в литературе отсутствуют.

Схема 5



7a R¹ = R² = H; **b** R¹ = Me, R² = H; **c** R¹ = H, R² = Me

Таким образом, нами обнаружены необычные реакции 7-оксидов бензо[*a*]феназин-5,6-дионов, причем направление их протекания объясняется структурными особенностями исходных веществ, а именно наличием в их молекуле *N*-оксидного фрагмента.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на приборе Shimadzu IRAffinity-1 в таблетках KBr. УФ спектры записаны на спектрофотометре Evolution 300 (кюветы 10 мм) в ацетонитриле. Спектры ЯМР ¹H и ¹³C зарегистрированы на спектрометре Bruker DRX (500 и 125 МГц соответственно) в ДМСО-*d*₆ (соединения **1e**, **2a–e**) или CDCl₃ (соединения **7a–c**), внутренний стандарт ТМС. Отнесение сигналов ядер ¹³C проведено с использованием данных работы.¹¹ Масс-спектры зарегистрированы на приборе Finnigan MAT 8200 (ионизация ЭУ, 70 эВ). Масс-спектры высокого разрешения соединений **1e** и **2e** записаны на приборе Thermo Scientific DFS (прямой ввод, ионизация ЭУ, 70 эВ), соединений **7b,c** – на приборе Bruker microOTOF II при положительной ионизации электрораспылением (напряжение на капилляре 4500 В).¹⁴ Диапазон сканирования масс *m/z* 50–3000. Использовался шприцевой ввод вещества для растворов в ацетонитриле, скорость потока 3 мкл/мин. Газ-распылитель азот (4 л/мин), температура интер-

фейса 180 °С. Элементный анализ выполнен на приборе EURO EA 3000. Температуры плавления определены на микронагревательном столике Voetius. Контроль за ходом реакций и чистотой синтезированных соединений осуществлен методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент толуол–ацетон, 10:1).

Исходные 7-оксиды бензо[*a*]феназин-5,6-дионов **1a–d** получены по описанной методике¹⁵, а оксид **1e** по аналогии. 4-(*o*-Толиламино)-1,2-нафтохинон получен по известной методике.¹⁶

11-Метил-5,6-диоксобензо[*a*]феназин-7-оксид (1e). К раствору 2.63 г (10 ммоль) 4-(*o*-толиламино)-1,2-нафтохинона в 60 мл ледяной уксусной кислоты добавляют в течение 5 мин нитрозилсерную кислоту, приготовленную из 2.50 г (35 ммоль) нитрита натрия и 15 мл конц. серной кислоты. Реакционную смесь перемешивают при 15–20 °С в течение 1 ч, затем выливают при перемешивании в смесь из 200 мл воды и льда. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают водой до нейтральной реакции, высушивают. Выход 2.60 г (90%), красные кристаллы, т. пл. 248 °С (ДМФА). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1356 (N–O), 1672 (C=O). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 2.85 (3H, с, CH₃); 7.50–7.63 (2H, м, H-3,9); 7.90 (1H, д, *J* = 7.2, H-10); 7.96 (1H, т, *J* = 7.8, H-2); 8.11 (1H, д, *J* = 7.8, H-1); 8.31 (1H, д, *J* = 8.6, H-4); 8.85 (1H, д, *J* = 7.9, H-8). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 17.3 (CH₃); 117.4 (C-10); 126.7 (C-8); 128.4 (C-3); 131.1 (C-2); 132.2 (C-9); 132.3 (C-11a); 133.6 (C-12b); 135.0 (C-4a); 135.6 (C-1); 138.3 (C-7a); 139.1 (C-11); 142.5 (C-12a); 149.4 (C-6a); 171.5 (C-5); 177.7 (C-6). Найдено, *m/z*: 290.0684 [M]⁺. C₁₇H₁₀N₂O₃. Вычислено, *m/z*: 290.0686. Найдено, %: C 69.86; H 3.28; N 9.66. C₁₇H₁₀N₂O₃. Вычислено, %: C 70.34; H 3.47; N 9.65.

11H-Индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-он (2a). В раствор 1.0 г (0.018 моль) КОН в 15 мл MeOH вносят 0.8 г (2.9 ммоль) 7-оксида бензо[*a*]феназин-5,6-диона (**1a**) и перемешивают в течение 60 мин при 20–25 °С. Затем к реакционной смеси добавляют 10 мл 5% соляной кислоты. Осадок отфильтровывают, промывают водой, этанолом. Выход 0.56 г (83%), желтые кристаллы, т. пл. 227 °С (толуол) (т. пл. 195–200 °С⁶, т. пл. 222 °С⁷). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1730 (C=O). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 286 (4.54). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 7.71 (1H, т, *J* = 7.2, H-3); 7.83–7.90 (2H, м, H-7,8); 7.88 (1H, д, *J* = 7.2, H-4), 7.92 (1H, т, *J* = 7.2, H-2); 8.08–8.13 (2H, м, H-6,9); 8.17 (1H, д, *J* = 7.2, H-1). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 122.8 (C-4); 124.7 (C-2); 129.8 (C-7); 130.9 (C-8); 131.4 (C-3); 132.9 (C-6); 133.3 (C-9); 137.1 (C-11a); 137.4 (C-1); 141.5 (C-4a); 142.3 (C-5a); 142.6 (C-4b); 150.3 (C-9a); 156.9 (C-10a); 189.8 (C-11). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 232 [M]⁺ (100), 204 (59), 76 (51), 32 (48). Найдено, %: C 77.61; H 3.42; N 11.84. C₁₅H₈N₂O. Вычислено, %: C 77.58; H 3.47; N 12.06.

8-Метил-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-он (2b). Получают аналогично соединению **2a**. Выход 0.55 г (77%), желтые кристаллы, т. пл. 230 °С (бензол). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1720 (C=O). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 295 (4.55). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 2.56 (3H, с, 8-CH₃); 7.68 (1H, т, *J* = 7.8, H-3); 7.74 (1H, д, *J* = 8.5,

H-7); 7.85 (1H, т, *J* = 7.8, H-2); 7.86 (1H, д, *J* = 7.8, H-4); 7.94 (1H, с, H-9); 8.01 (1H, д, *J* = 8.5, H-6); 8.04 (1H, д, *J* = 7.8, H-1). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 21.6 (CH₃); 122.6 (C-4); 124.7 (C-2); 129.4 (C-7); 130.4 (C-3); 133.0 (C-6); 134.9 (C-9); 136.9 (C-1); 137.4 (C-11a); 141.0 (C-8); 141.2 (C-4a); 141.6 (C-5a); 142.4 (C-4b), 150.1 (C-9a); 156.3 (C-10a); 190.0 (C-11). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 246 [M]⁺ (100), 218 (39), 89 (36), 32 (71). Найдено, %: C 77.61; H 4.03; N 11.12. C₁₆H₁₀N₂O. Вычислено, %: C 78.04; H 4.09; N 11.38.

8-Хлор-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-он (2c). Получают аналогично соединению **2a**. Выход 0.45 г (58%), желтые кристаллы, т. пл. 282 °С (бензол). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1730 (C=O). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 291 (4.52). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 7.74 (1H, т, *J* = 7.5, H-3); 7.89 (1H, д, *J* = 7.5, H-4); 7.91 (1H, т, *J* = 7.5, H-2); 7.95 (1H, д, *J* = 7.4, *J* = 2.4, H-7); 8.1 (1H, д, *J* = 7.4, H-6); 8.16 (1H, д, *J* = 7.5, H-1); 8.28 (1H, д, *J* = 2.4, H-9). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 122.6 (C-4); 124.9 (C-2); 130.4 (C-3); 130.7 (C-7); 132.8 (C-6); 133.2 (C-9); 136.1 (C-8); 136.7 (C-1); 137.0 (C-11a); 141.4 (C-4a); 141.7 (C-5a); 143.0 (C-4b); 150.8 (C-9a); 156.7 (C-10a); 189.6 (C-11). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 268 [M(³⁷Cl)]⁺ (35), 266 [M(³⁵Cl)]⁺ (100), 75 (45), 50 (35), 32 (24). Найдено, %: C 67.41; H 2.54; N 10.49; Cl 13.30. C₁₅H₇ClN₂O. Вычислено, %: C 67.56; H 2.65; N 10.50; Cl 13.29.

8-Фтор-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-он (2d). Получают аналогично соединению **2a**. Выход 0.59 г (81%), желтые кристаллы, т. пл. 298 °С (бензол). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1724 (C=O). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 288 (4.52). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 7.69–7.73 (2H, м, H-2,3); 7.81–7.86 (1H, м, H-7); 7.88 (1H, д, *J* = 7.5, H-4); 7.96 (1H, д, *J* = 10.0, H-6); 8.06 (1H, д, *J* = 7.5, H-1); 8.17–8.22 (1H, м, H-9). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 115.3 (C-7); 115.5 (C-9); 122.5 (C-4); 124.9 (C-2); 131.5 (C-3); 132.6 (C-6); 136.5 (C-1); 137.0 (C-11a); 140.3 (C-4a); 141.5 (C-5a); 143.6 (C-4b); 150.0 (C-9a); 156.2 (C-10a); 163.2 (C-8); 189.6 (C-11). Масс-спектр, *m/z* (*I*_{отн.}, %): 250 [M]⁺ (100), 222 (24), 94 (18), 75 (20), 50 (20). Найдено, %: C 72.27; H 2.80; N 11.47. C₁₅H₇FN₂O. Вычислено, %: C 72.00; H 2.82; N 11.19.

6-Метил-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-11-он (2e). Получают аналогично соединению **2a**. Выход 0.59 г (83%), желтые кристаллы, т. пл. 210 °С (толуол). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1716 (C=O). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 299 (4.55). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (*J*, Гц): 2.78 (3H, с, 6-CH₃); 7.65 (1H, т, *J* = 7.5, H-3); 7.68 (1H, т, *J* = 7.5, H-1); 7.77 (1H, д, *J* = 7.2, H-7); 7.86 (1H, т, *J* = 7.2, H-8); 7.88 (1H, д, *J* = 7.5, H-4); 7.99 (1H, д, *J* = 8.0, H-9); 8.07 (1H, д, *J* = 7.5, H-1). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 17.2 (CH₃); 122.4 (C-4); 124.5 (C-2); 129.1 (C-7); 130.2 (C-8,9); 130.3 (C-8,9); 132.9 (C-3); 136.8 (C-6); 137.2 (C-1); 137.7 (C-4); 141.9 (C-4a); 141.4 (C-4b); 142.2 (C-5a); 149.6 (C-9a); 155.7 (C-10a); 189.8 (C-11). Найдено, *m/z*: 246.0789 [M]⁺. C₁₆H₁₀N₂O. Вычислено, *m/z*: 246.0788. Найдено, %: C 78.16; H 3.90; N 11.35. C₁₆H₁₀N₂O. Вычислено, %: C 78.04; H 4.09; N 11.38.

11-Гидрокси-11-(пирролидин-1-илкарбонил)-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-10-оксид (7a). К раствору

0.56 г (2.0 ммоль) соединения **1a** в 10 мл тетрагидрофурана добавляют при перемешивании в течение 10 мин 0.2 г (2.8 ммоль) пирролидина при 20–25 °С. Через 30 мин выпавший осадок отфильтровывают, промывают 50 мл воды и 20 мл этанола. Выход 0.53 г (76%), желтые кристаллы т. пл. 275 °С (при нагревании соединения **7a–c** начинают видоизменяться при ~100 °С). УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 322 (4.47). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.63–1.73 (4H, м, 3,4-CH₂ пирролидин); 2.75–2.82 (2H, м) и 2.82–2.91 (2H, м, CH₂NCH₂); 7.68 (1H, т, $J = 7.4$, H-3); 7.82–7.89 (2H, м, H-7,8); 7.93 (1H, т, $J = 7.4$, H-2); 8.10 (1H, д, $J = 7.4$, H-1); 8.23 (1H, д, $J = 8.4$, H-6); 8.64 (1H, д, $J = 8.4$, H-9); 8.73 (1H, д, $J = 7.8$, H-4); 8.83 (1H, с, OH). Найдено, %: С 69.32; Н 4.76; N 11.98. C₂₀H₁₇N₃O₃. Вычислено, %: С 69.15; Н 4.93; N 12.10.

11-Гидрокси-8-метил-11-(пирролидин-1-илкарбонил)-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-10-оксид (7b) получают из 0.59 г (2.0 ммоль) соединения **1b** и 0.37 г (5.2 ммоль) пирролидина аналогично соединению **7a**. Выход 0.53 г (73%), желтые кристаллы, т. пл. 245 °С. УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 326 (4.42). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.63–1.73 (4H, м, 3,4-CH₂ пирролидин); 2.66 (3H, с, CH₃); 2.75–2.83 (2H, м) и 2.84–2.89 (2H, м, CH₂NCH₂); 7.68 (1H, т, $J = 7.6$, H-3); 7.73 (1H, д, $J = 7.3$, H-7); 7.83 (1H, т, $J = 7.4$, H-2); 8.08–8.13 (2H, м, H-1,6); 8.42 (1H, с, H-9); 8.69 (1H, д, $J = 7.6$, H-4); 8.93 (1H, с, OH). Найдено, m/z : 362.1496 [M+H]⁺. C₂₁H₂₀N₃O₃. Вычислено, m/z : 362.1499. Найдено, %: С 69.82; Н 5.09; N 11.30. C₂₁H₁₉N₃O₃. Вычислено, %: С 69.79; Н 5.30; N 11.63.

11-Гидрокси-6-метил-11-(пирролидин-1-илкарбонил)-11H-индено[1,2-*b*]хиноксалин-10-оксид (7c) получают из 0.59 г (2.0 ммоль) соединения **1e** и 0.37 г (5.2 ммоль) пирролидина аналогично соединению **7a**. Выход 0.56 г (77%), желтые кристаллы, т. пл. 250 °С. УФ спектр, λ_{\max} , нм (lg ϵ): 327 (4.46). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.63–1.73 (4H, м, 3,4-CH₂ пирролидин); 2.86 (3H, с, CH₃); 2.75–2.83 (2H, м, CH₂NCH₂); 2.84–2.89 (2H, м, CH₂NCH₂); 7.65–7.77 (3H, м, H-3,7,8); 7.83 (1H, т, $J = 7.5$, H-2); 8.10 (1H, д, $J = 7.5$, H-1); 8.47 (1H, д, $J = 8.3$, H-9); 8.75 (1H, д, $J = 7.7$, H-4); 8.91 (1H, с, OH). Найдено, m/z : 362.1496 [M+H]⁺. C₂₁H₂₀N₃O₃. Вычислено, m/z : 362.1499. Найдено, %: С 69.53; Н 5.01; N 11.69. C₂₁H₁₉N₃O₃. Вычислено, %: С 69.79; Н 5.30; N 11.63.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (2014–2016 гг. – проект № 2854).

Авторы выражают благодарность О. А. Чижову (ИОХ им. Н. Д. Зелинского РАН), А. А. Нефедову, О. Б. Стаценко (НИОХ им. Н. Н. Ворожцова СО РАН) за регистрацию масс-спектров высокого разрешения.

Список литературы

1. Tsuda, T.; Fujishima, K.; Ueda, H. *Agric. Biol. Chem.* **1981**, *45*, 2129.
2. Rewcastle, G. W.; Denny, W. A.; Baguley, B. G. *J. Med. Chem.* **1987**, *30*, 843.
3. Chowdhury, G.; Sarkar, U.; Pullen, S.; Wilson, W.; Rajapakse, A.; Fuchs-Knotts, T.; Gates, K. *Chem. Res. Toxicol.* **2012**, *25*, 197.
4. Gonda, M.; Nieves, M.; Nunes, E.; Cerain, A.; Monge, A.; Lavaggi, M.; Gonzales, M.; Ceretto H. *Med. Chem. Commun.* **2013**, *4*, 595.
5. Lavaggi, M.; Cabrera, M.; Anavena, M.; Olea-Azar, C.; Cerain, A.; Antonio, M.; Pachon, G.; Cascante, M.; Bruno, A.; Pietrasanta, L.; Gonzalez, M.; Ceretto, H. *Bioorg Med. Chem.* **2010**, *18*, 4433.
6. Khan, M.; Munawar, M.; Ashraf, M.; Alam, U.; Ata, A.; Asiri, A.; Kousar, S.; Khan, M. *Bioorg. Med. Chem.* **2014**, *22*, 1195.
7. Pearson, B. D.; Mitch, R. A.; Cromwell, N. H. *J. Org. Chem.* **1962**, *27*, 1674.
8. Простаков, Н. С.; Плешаков, В. Г.; Абедин, М. З.; Кордова, И. Р.; Захаров, В. Ф.; Зволинский, В. П. *Журн. орган. химии* **1982**, *3*, 640.
9. Abedin, M.; Pleshakov, V. G.; Sergeeva, N. D.; Prostavok, N. S. *J. Bangladesh Acad. Sci.* **1996**, *20*, 17.
10. Daddy, L.; Desneves, J.; Ross, A. *Tetrahedron* **1993**, *49*, 9823.
11. Преч, Э.; Бюльманн, Ф.; Аффельтер, К. *Определение строения органических соединений. Таблица спектральных данных*; Мир: Москва, 2006, с. 116.
12. Schmidt, J.; Bauer, K. *Chem. Ber.* **1905**, *38*, 3737.
13. Fischer, O.; Schindler, E. *Chem. Ber.* **1908**, *41*, 392.
14. Belyakov, P. A.; Kadentsev, V. I.; Chizhov, A. O.; Kolotytkina, N. G.; Shashkov, A. S.; Ananikov, V. P. *Mendeleev Commun.* **2010**, *20*, 125.
15. Gornostaev, L. M.; Arnold, E. V.; Lyashchenko, T. A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *49*, 1827. [Химия гетероцикл. соединений **2013**, 1972.]
16. Harmon, R. E.; Phipps, L. M.; Howell, J. A.; Gupta, S. K. *Tetrahedron* **1969**, *25*, 5807.