

Формальное [3+3]-циклоприсоединение 4-гидрокситиокумарина к 4*H*-хромен-3-карбальдегидам: синтез тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-онов

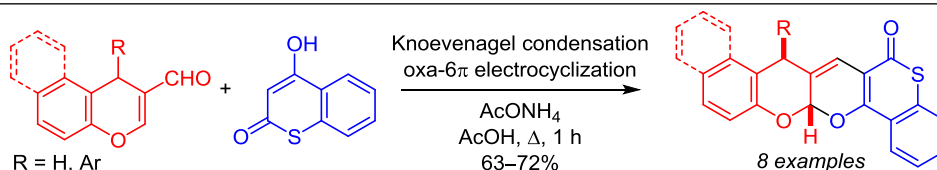
Ирина А. Семёнова¹, Дмитрий В. Осипов¹, Юлия В. Попова¹,
Виталий А. Осянин^{1*}, Олег П. Демидов², Юрий Н. Климочкин¹

¹ Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, Самара 443100, Россия; e-mail: VOsyarin@mail.ru

² Северо-Кавказский федеральный университет,
ул. Пушкина, 1, Ставрополь 355009, Россия

Поступило 19.08.2020

Принято 19.09.2020



Разработана катализируемая ацетатом аммония каскадная реакция, включающая конденсацию Кнёвенагеля и окса-6π-электроциклизацию, с участием 4-гидрокситиокумарина и 4*H*-хромен-3-карбальдегидов. Получен ряд полициклических ацеталей, конденсированных с тиокумариновым фрагментом.

Ключевые слова: 1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегиды, 4-гидрокситиокумарин, 4*H*-хромен-3-карбальдегиды, конденсация Кнёвенагеля, формальное [3+3]-циклоприсоединение, электроциклизация.

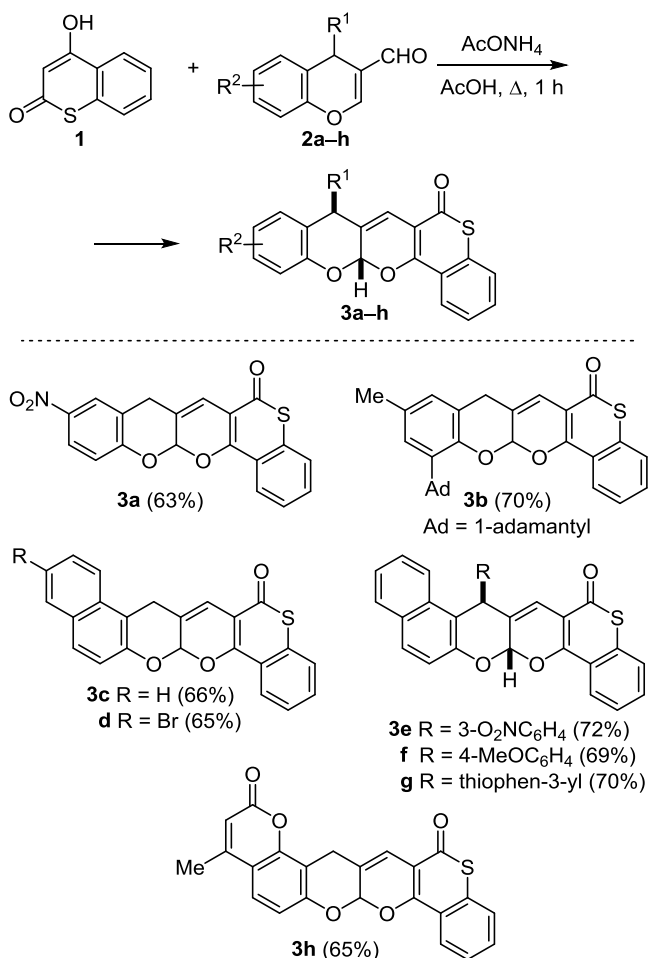
Наряду с гетеро-реакцией Дильса–Альдера одним из эффективных подходов к синтезу шестичленных кислородсодержащих соединений являются реакции формального [3+3]-циклоприсоединения, в том числе каскадные процессы, включающие конденсацию Кнёвенагеля с последующей 6π-электроциклизацией.¹ Следует отметить, что набор возможных субстратов ограничивается в основном ациклическими α,β-ненасыщенными альдегидами, поэтому вовлечение в данный тип превращений сопряженных альдегидов других типов, в частности хроменкарбальдегидов, представляет интерес для получения гетероконденсированных пирано[2,3-*b*]хроменов, структурный фрагмент которых содержится во многих природных соединениях. С другой стороны, хотя 4-гидрокситиокумарины,² в отличие от оксааналогов, и не встречаются в природе, среди них обнаружены ингибиторы гидроксилазы индуцируемого гипоксией фактора (hypoxia-inducible factor, HIF),³ соединения с антибактериальной,⁴ антикоагулянтной,⁵ и пестицидной⁶ активностью. При этом удивительным является тот факт, что описанные в литературе реакции 4-гидрокситиокумарина с альдегидами ограничиваются лишь реакцией Манниха^{4,7} и образованием симметричных 3,3'-метилена[бис(4-гидрокситиокумаринов)].⁸

Известно, что реакция 1,3-дикарбонильных соединений, в том числе гетероциклического ряда, с род-

ственными 3-формилхроменами, за редким исключением,⁹ останавливается на стадии образования аддуктов Кнёвенагеля.¹⁰ Кроме того, ранее нами было показано, что взаимодействие 3-формил-4*H*-хроменов с AcONH₄ и 1,3-дикарбонильными соединениями приводит к производным пиридина, содержащим в β-положении 2-гидроксибензильный фрагмент.¹¹

Однако при использовании 4-гидрокситиокумарина (**1**) в качестве 1,3-дикарбонильного соединения в трехкомпонентной конденсации с хроменкарбальдегидами **2a–h** и аммиаком, источником которого служит AcONH₄, вместо ожидаемых производных пиридина **A** были выделены только тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-оны **3a–h** как продукты каскадного превращения, включающего конденсацию Кнёвенагеля и дисротаторную окса-6π-электроциклизацию (схемы 1, 2). Из альдегидов **2a–h** и аммиака *in situ* генерируются катионы иминия, которые являются более сильными электрофилами по сравнению с исходными альдегидами (схема 2). Реакция завершается за 1 ч в кипящей AcOH при использовании эквимольной смеси 4-гидрокситиокумарина и хроменкарбальдегида в присутствии 1 экв. AcONH₄. В отсутствие AcONH₄, который катализирует конденсацию Кнёвенагеля, реакция сильно замедляется и выход, например, продукта **3c** составляет 41% через 5 ч. В присутствии

Схема 1



0.2 экв. AcONH₄ выход продукта **3c** составил 38% через 1 ч, а в присутствии 1 экв. пиперидина – 61%. Образование симметричных 3,3'-метилен[бис(4-гидрокси-тиокумаринов)] **B**, а также электроциклизации с участием карбонильной группы тиолактонного фрагмента не наблюдается.

Следует также отметить, что ранее нам удалось ввести в реакцию с родственным 4-гидроксикумарином только незамещенные по метиленовому фрагменту хромонкарбальдегиды.¹²

Характерной чертой спектров ЯМР ¹H соединений **3a–h** является присутствие двух однопротонных синглетных сигналов в области 6.74–7.47 м. д, соответ-

Схема 2

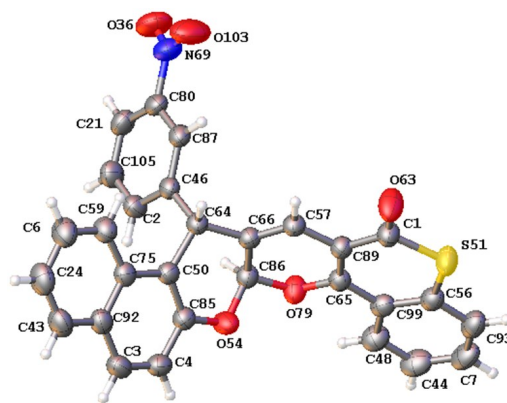
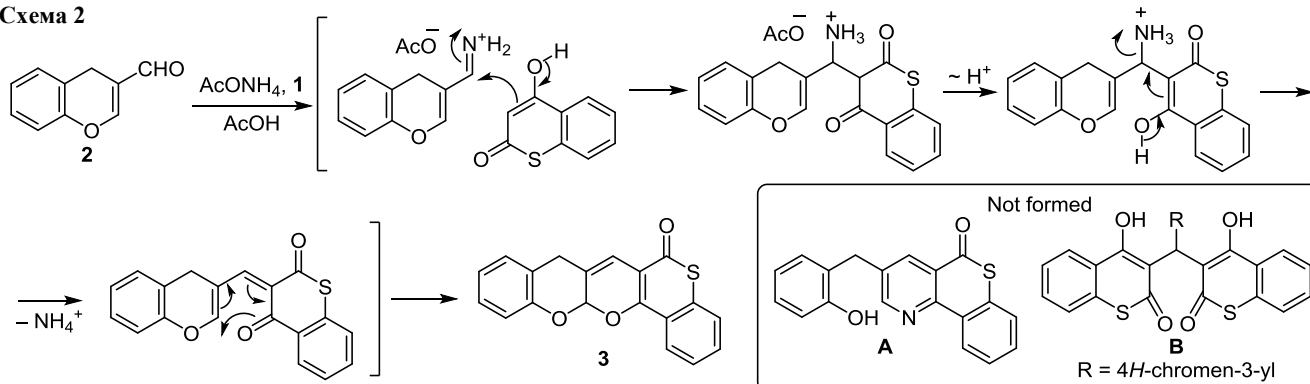


Рисунок 1. Молекулярная структура соединения **3e** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью.

ствующих ацетальному и олефиновому протонам. В спектрах ЯМР ¹H соединений **3a,b,h** диастереотопные метиленовые протоны проявляются в виде двух отдельных дублетов при 3.50–3.96 м. д. ($J_{AB} = 16.9–18.8$ Гц) из-за наличия хирального центра, хотя для производных нафталина **3c,d** такого расщепления не наблюдается. В спектрах соединений **3e–g** протон H-8 обнаруживается в виде синглета в области 5.72–6.05 м. д. В спектрах ЯМР ¹³C сигналы при 93.7–97.5, 181.2–182.2 и 154.1–156.9 м. д. были соотносены соответственно с ацетальным, карбонильным атомами и атомом углерода, связанным с атомом кислорода, тиокумаринового фрагмента. На основании отсутствия корреляционных пиков в спектрах NOESY соединений **3e–g** и данных PCA соединения **3e** (рис. 1) продуктам **3e–g** была приписана *транс*-конфигурация.

Таким образом, на основе каскада реакций, включающего конденсацию Кневенагеля и окса-6π-электроциклизацию, разработан подход к получению трех новых гетероциклических систем с фрагментом тиокумарина.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ¹H, ¹³C (400 и 100 МГц соответственно), DEPT-135, а также ¹H–¹³C HMBC, ¹H–¹³C HMQC, COSY и NOESY (время смешивания 0.7 с) зарегистрированы на спектрометре JEOL JNM-ECX400 в ДМСО-*d*₆ или CDCl₃ (соединение **2g**), внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителя (ДМСО-*d*₆: 2.50 м. д. для ядер ¹H и 39.5 м. д. для ядер ¹³C; CDCl₃: 7.26 м. д. для ядер ¹H и 77.0 м. д. для ядер ¹³C). Из-за

плохой растворимости в большинстве органических растворителей спектры ЯМР ^{13}C соединений **3c,d** удовлетворительного качества получить не удалось. Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе EuroVector EA-3000. Температуры плавления определены капиллярным методом на приборе SRS OptiMelt MPA100. Контроль за ходом реакций и чистотой полученных соединений осуществлен методом ТСХ на пластинах Merck Silica gel 60 F₂₅₄, элюент CHCl_3 , проявление в УФ свете и парах I_2 .

Исходные формилхромены **2a–f,h** получены по описанным в литературе методикам.¹³

1-[(Диметиламино)(тиофен-3-ил)метил]-2-нафтол. Раствор 8.6 г (0.06 моль) 2-нафтола, 6.7 г (0.06 моль) тиофен-3-карбальдегида и 9 мл (0.06 моль) 33% водного раствора Me_2NH в 20 мл MeOH выдерживают без перемешивания при комнатной температуре в течение 4 сут, затем 2 ч при $-20\text{ }^\circ\text{C}$. Выпавший продукт отфильтровывают, промывают 10 мл охлажденного до $-30\text{ }^\circ\text{C}$ MeOH и очищают перекристаллизацией из *i*-PrOH. Выход 14.15 г (84%), бесцветные кристаллы, т. пл. $151\text{--}152\text{ }^\circ\text{C}$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 2.23 (6H, с, $\text{N}(\text{CH}_3)_2$); 5.30 (1H, с, CHN); 7.03 (1H, д, *J* = 8.7, H Ar); 7.18–7.22 (2H, м, H Ar); 7.35–7.39 (2H, м, H Ar); 7.65–7.67 (2H, м, H Ar); 7.71 (1H, д, *J* = 7.8, H Ar); 8.05 (1H, д, *J* = 8.5, H Ar); 13.48 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 43.6 (2 CH_3); 66.4 (CHN); 116.7; 120.0 (CH); 121.9 (CH); 122.9 (CH); 124.5 (CH); 127.0 (CH); 127.1 (CH); 127.6 (CH); 128.6; 129.1 (CH); 129.6 (CH); 132.3; 141.8; 155.3 (C=O). Найдено, %: C 71.96; H 5.99; N 4.83; S 11.42. $\text{C}_{17}\text{H}_{17}\text{NOS}$. Вычислено, %: C 72.05; H 6.05; N 4.94; S 11.31.

1-(Тиофен-3-ил)-1*H*-бензо[*f*]хромен-2-карбальдегид (2g). Раствор 0.33 г (2.6 ммоль) 3-(*N,N*-диэтиламино)-акролеина и 0.71 г (2.5 ммоль) 1-[(диметиламино)(тиофен-3-ил)метил]-2-нафтола в 5 мл AcOH кипятят в течение 50 мин, охлаждают до комнатной температуры, добавляют 5 мл MeOH и выдерживают в течение 4 ч при $-30\text{ }^\circ\text{C}$. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают 2 мл охлажденного до $-30\text{ }^\circ\text{C}$ MeOH и сушат на воздухе. Выход 485 мг (66%), бесцветные кристаллы, т. пл. $146\text{--}147\text{ }^\circ\text{C}$. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 5.81 (1H, с, H-1); 6.91 (1H, д, *J* = 5.0, *J* = 1.2, H тиофен); 6.98 (1H, д, *J* = 1.8, H тиофен); 7.09 (1H, д, *J* = 5.9, *J* = 3.0, H тиофен); 7.33 (1H, д, *J* = 9.0, H Ar); 7.39–7.47 (2H, м, H Ar); 7.49 (1H, с, H-3); 7.78–7.82 (2H, м, H Ar); 7.89 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar); 9.47 (1H, с, CHO). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 29.8 (CH-1); 116.2; 117.2 (CH); 122.4 (CH); 122.5; 123.6 (CH); 125.4 (CH); 125.5 (CH); 127.4 (CH); 127.7 (CH); 128.6 (CH); 129.4 (CH); 131.5; 131.8; 144.3; 148.0; 158.1 (CH-3); 189.3 (CHO). Найдено, %: C 74.03; H 4.08; S 10.88. $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{O}_2\text{S}$. Вычислено, %: C 73.95; H 4.14; S 10.97.

Получение тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-онов 3a–h (общая методика). Смесь 180 мг (1 ммоль) 4-гидрокситиокумарина (**1**), 1 ммоль 3-формилхромена **2a–h** и 75 мг (1 ммоль) AcONH_4 в 2 мл AcOH перемешивают при кипячении в течение 1 ч, охлаждают до комнатной температуры. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают 3 мл охлажденного до $-30\text{ }^\circ\text{C}$ MeOH и очищают перекристаллизацией.

10-Нитро-6*H*,8*H*,13*aH*-тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-он (3a). Выход 230 мг (63%), желтые кристаллы, т. пл. $240\text{--}242\text{ }^\circ\text{C}$ (AcOH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 3.89 (1H, д, *J* = 17.8, CH_2); 3.96 (1H, д, *J* = 17.8, CH_2); 6.96 (1H, с, CH); 7.05–7.11 (2H, м, H Ar); 7.54–7.58 (1H, м, H Ar); 7.64–7.69 (2H, м, H Ar); 8.02 (1H, д, *J* = 8.2, H Ar); 8.12 (1H, с, H-9); 8.22 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 32.1 (CH_2); 96.4 (13a-CH); 109.7; 113.6 (CH); 118.4 (CH); 121.9; 124.3 (CH); 124.6; 124.8; 125.3 (CH); 126.1 (CH); 126.5 (CH); 127.9 (CH); 131.9 (CH); 135.0; 142.1; 156.1 (C-14a); 158.3 (C-12a); 181.3 (C=O). Найдено, %: C 62.40; H 2.94; N 3.75; S 8.69. $\text{C}_{19}\text{H}_{11}\text{NO}_5\text{S}$. Вычислено, %: C 62.46; H 3.03; N 3.83; S 8.77.

12-(Адамантан-1-ил)-10-метил-6*H*,8*H*,13*aH*-тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-он (3b). Выход 470 мг (70%), желтые кристаллы, т. пл. $253\text{--}254\text{ }^\circ\text{C}$ (AcOH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 1.80 (6H, уш. с, CH_2 Ad); 2.09 (3H, уш. с, CH Ad); 2.13–2.21 (6H, уш. с, CH_2 Ad); 2.27 (3H, с, CH_3); 3.50 (1H, д, *J* = 16.9, CH_2); 3.71 (1H, д, *J* = 16.9, CH_2); 6.66 (1H, с, CH); 6.80 (1H, с, CH); 6.84 (1H, с, H Ar); 6.93 (1H, с, H Ar); 7.41–7.44 (2H, м, H Ar); 7.46–7.51 (1H, м, H Ar); 8.18–8.21 (1H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 21.1 (CH_3); 29.2 (3CH Ad); 32.1 (CH_2); 37.0 (C Ad); 37.2 (3 CH_2 Ad); 40.8 (3 CH_2 Ad); 97.5 (13a-CH); 111.1; 113.5 (CH); 122.8; 124.8; 125.62 (CH); 125.64 (CH); 125.7; 126.2 (CH); 126.4 (CH); 126.7 (CH); 130.4 (CH); 131.8; 135.9; 139.1; 149.3 (C-12a); 156.9 (C-14a); 182.2 (C=O). Найдено, %: C 76.95; H 5.97; S 6.75. $\text{C}_{30}\text{H}_{28}\text{O}_3\text{S}$. Вычислено, %: C 76.89; H 6.02; S 6.84.

6*H*,8*H*,15*aH*-Бензо[*f*]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-он (3c). Выход 245 мг (66%), желтые кристаллы, т. пл. $279\text{--}280\text{ }^\circ\text{C}$ (ДМФА). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 4.10 (2H, с, CH_2); 6.95 (1H, с, 7(15a)-CH); 7.01 (1H, с, 15a(7)-CH); 7.41 (1H, т, *J* = 7.7, H Ar); 7.53–7.60 (2H, м, H Ar); 7.64–7.68 (2H, м, H Ar); 7.75 (1H, д, *J* = 9.1, H Ar); 7.84 (2H, д, *J* = 8.3, H Ar); 8.26 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 94.2 (15a-CH); 118.5 (14-CH); 150.2 (C-14a); 156.4 (C-16a); 181.5 (C=O). Найдено, %: C 74.50; H 3.79; S 8.49. $\text{C}_{23}\text{H}_{14}\text{O}_3\text{S}$. Вычислено, %: C 74.58; H 3.81; S 8.65.

11-Бром-6*H*,8*H*,15*aH*-бензо[*f*]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-он (3d). Выход 290 мг (65%), желтые кристаллы, т. пл. $262\text{--}263\text{ }^\circ\text{C}$ (AcOH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 4.11 (2H, с, CH_2); 6.98 (1H, с, 7(15a)-CH); 7.02 (1H, с, 15a(7)-CH); 7.16 (1H, д, *J* = 8.9, H Ar); 7.56–7.60 (1H, м, H Ar); 7.65–7.69 (3H, м, H Ar); 7.76 (1H, д, *J* = 8.9, H Ar); 7.81 (1H, д, *J* = 9.1, H Ar); 8.14 (1H, с, H-12); 8.27 (1H, д, *J* = 7.6, H Ar). Найдено, %: C 61.55; H 2.90; S 7.07. $\text{C}_{23}\text{H}_{13}\text{BrO}_3\text{S}$. Вычислено, %: C 61.48; H 2.92; S 7.14.

транс-8-(3-Нитрофенил)-6*H*,8*H*,15*aH*-бензо[*f*]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-*b*]хромен-6-он (3e). Выход 354 мг (72%), желтые кристаллы, т. пл. $242\text{--}243\text{ }^\circ\text{C}$ (AcOH). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 6.05 (1H, с, 8-CH); 6.80 (1H, с, 15a-CH); 7.25 (1H, д, *J* = 9.1, H-14); 7.34–7.42 (2H, м, H Ar); 7.47 (1H, с, 7-CH); 7.48–7.69 (6H, м, H Ar); 7.89 (1H, д, *J* = 7.8, H Ar); 7.93 (1H, д, *J* = 9.1, H-13); 8.09 (1H, д, *J* = 8.2, H Ar); 8.15–8.18 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 43.9 (8-CH); 93.7

(15a-CH); 109.8; 114.3 (7-CH); 115.3; 119.0 (14-CH); 121.9; 122.9 (CH); 123.1 (CH); 123.4 (CH); 124.9 (CH); 126.1 (CH); 126.5 (CH); 127.4; 127.9 (2CH); 129.3 (CH); 130.1; 130.9 (CH); 131.0 (CH-13); 131.6; 132.0 (CH); 134.9 (CH); 135.2; 143.5; 148.7 (CNO₂); 150.5 (C-14a); 156.4 (C-16a); 181.4 (C=O). Найдено, %: С 70.95; Н 3.44; N 2.75; S 6.46. C₂₀H₁₇NO₅S. Вычислено, %: С 70.87; Н 3.49; N 2.85; S 6.52.

транс-8-(4-Метоксифенил)-6H,8H,15aH-бензо[f]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-b]хромен-6-он (3f). Выход 330 мг (69%), желтые кристаллы, т. пл. 155–157 °С (i-PrOH). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 3.66 (3H, с, CH₃O); 5.72 (1H, с, 8-CH); 6.74 (1H, с, 15a-CH); 6.84 (2H, д, J = 8.5, C₆H₄); 7.15 (2H, д, J = 8.5, C₆H₄); 7.20 (1H, д, J = 9.1, H-14); 7.29 (1H, с, 7-CH); 7.31–7.40 (2H, м, H Ar); 7.53–7.58 (2H, м, H Ar); 7.61–7.65 (2H, м, H Ar); 7.84–7.87 (2H, м, H Ar); 8.18 (1H, д, J = 8.2, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 44.0 (8-CH); 55.6 (CH₃O); 94.0 (15a-CH); 110.0; 112.7 (7-CH); 114.8 (2CH); 116.8; 118.9 (14-CH); 122.0; 123.7 (CH); 124.6 (CH); 126.1 (CH); 126.5 (CH); 127.5 (CH); 127.8 (CH); 128.8; 129.1 (CH); 129.4 (2CH); 130.0; 130.4 (CH); 131.8 (CH); 131.9; 133.4; 135.0; 150.1 (C-14a); 156.1 (C-16a); 158.9 (COCH₃); 181.4 (C=O). Найдено, %: С 75.66; Н 4.20; S 6.62. C₃₀H₂₀O₄S. Вычислено, %: С 75.61; Н 4.23; S 6.73.

транс-8-(Тиофен-3-ил)-6H,8H,15aH-бензо[f]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-b]хромен-6-он (3g). Выход 317 мг (70%), желтые кристаллы, т. пл. 163–165 °С (AcOH). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 5.83 (1H, с, 8-CH); 6.82 (1H, с, 15a-CH); 7.07 (1H, уш. с, H тиофен); 7.11 (1H, д, J = 4.8, H тиофен); 7.18 (1H, д, J = 8.9, H-14); 7.27 (1H, с, 7-CH); 7.32–7.36 (1H, м, H Ar); 7.39–7.43 (1H, м, H Ar); 7.49 (1H, д, J = 4.8, J = 3.0, H тиофен); 7.51–7.55 (1H, м, H Ar); 7.61–7.66 (3H, м, H Ar); 7.85 (2H, д, J = 8.7, H Ar); 8.17 (1H, д, J = 8.0, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 40.6 (8-CH); 94.2 (CH-15a); 110.0; 113.3 (CH-7); 117.5; 119.0 (CH); 122.0; 123.4 (CH); 123.6 (CH); 124.7 (CH); 126.1 (CH); 126.5 (CH); 127.5 (2CH); 127.9 (C, CH); 128.2 (CH); 129.1 (CH); 130.0; 130.3 (CH); 131.8; 131.9 (CH); 135.1; 142.3; 149.6 (C-14a); 156.3 (C-16a); 181.4 (C=O). Найдено, %: С 71.57; Н 3.51; S 14.03. C₂₇H₁₆O₃S₂. Вычислено, %: С 71.66; Н 3.56; S 14.17.

4-Метил-2H,7aH,14H,16H-пирано[2,3-f]тиохромено[3',4':5,6]пирано[2,3-b]хромен-2,14-дион (3h). Выход 260 мг (65%), желтые кристаллы, т. пл. 297–298 °С (AcOH). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.37 (3H, с, CH₃); 3.83 (1H, д, J = 18.8, CH₂); 3.93 (1H, д, J = 18.8, CH₂); 6.25 (1H, с, 7a-CH); 6.92 (1H, д, J = 8.7, H Ar); 6.98 (1H, с, 3(15)-CH); 7.07 (1H, с, 15(3)-CH); 7.55–7.59 (2H, м, H Ar); 7.63–7.69 (2H, м, H Ar); 8.24 (1H, д, J = 7.8, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.8 (CH₃); 27.6 (CH₂); 95.9 (7a-CH); 109.7; 111.3; 112.2; 113.7 (CH); 114.0 (CH); 114.4 (CH); 122.0; 124.8 (CH); 125.1 (CH); 126.0 (CH); 126.5 (CH); 127.9; 131.9 (CH); 135.0; 135.2; 139.2; 151.6 (C-6a); 154.1 (C-8a); 160.2 (OC=O); 181.2 (C=O). Найдено, %: С 68.73; Н 3.47; S 7.88. C₂₃H₁₄O₅S. Вычислено, %: С 68.65; Н 3.51; S 7.97.

Рентгеноструктурный анализ соединения 3e проведен на дифрактометре Agilent SuperNova с использованием микрофокусного источника рентгеновского излучения с анодом из меди и координатным CCD-детектором Atlas S2. Кристаллы, пригодные для PCA, выращены медленным испарением MeOH из системы ДМФА–MeOH, 3:1, при комнатной температуре. Полный набор кристаллографических данных депонирован в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 2034268).

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР ¹H и ¹³C соединений **3a,b,e**, а также спектры ¹H–¹³C HMQC, ¹H–¹³C HMBC, NOESY и COSY соединения **3e**, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 19-13-00421).

Список литературы

- (a) Hsung, R. P.; Kurdyumov, A. V.; Sydorenko, N. *Eur. J. Org. Chem.* **2005**, 23. (b) Harrity, J. P. A.; Provoost, O. *Org. Biomol. Chem.* **2005**, 3, 1349. (c) Buchanan, G. S.; Feltenberger, J. B.; Hsung, R. P. *Curr. Org. Synth.* **2010**, 7, 363. (d) Bravo, P.; Resnati, G.; Viani, F. *J. Chem. Res.* **1986**, 10, 3250. (e) Tejedor, D.; Delgado-Hernández, S.; Diana-Rivero, R.; Díaz-Díaz, A.; García-Tellado, F. *Molecules* **2019**, 24, 2904.
- Abdou, M. M. *Arab. J. Chem.* **2017**, 10, S3955.
- Ho, W.-B.; Wright, L. R.; Turtle, E. D.; Mossman, C.; Flippin, L. A. WO Patent 2010056767A1.
- Onkara, P.; Kumar, A. S.; Kanakaraju, S.; Prasanna, B.; Pydisetty, Y.; Chandramouli, G. V. P. *Int. J. Pharma Bio Sci.* **2013**, 4(2), 263.
- Jung, J.-C.; Jang, S.; Oh, S.; Park, O.-S. *J. Chem. Sci.* **2010**, 122, 833.
- Lieb, F.; Fischer, R.; Stetter, J.; Bretschneider, T.; Erdelen, C.; Wachendorff-Neumann, U. WO Patent 2000015632A1.
- Montagut-Romans, A.; Boulven, M.; Lemaire, M.; Popowycz, F. *RSC Adv.* **2016**, 6, 4540.
- (a) Jamkhandi, P. S.; Rajagopal, S. *Monatsh. Chem.* **1966**, 97, 1732. (b) Reddy, P. V. K.; Kumar, P. N.; Chandramouli, G. V. P. *J. Heterocycl. Chem.* **2005**, 42, 283.
- Kornev, M. Yu.; Tishin, D. S.; Obydenov, D. L.; Sosnovskikh, V. Ya. *Mendeleev Commun.* **2020**, 30, 233.
- (a) Ali, T. E.-S.; Ibrahim, M. A.; El-Gohary, N. M.; El-Kazak, A. M. *Eur. J. Chem.* **2013**, 4, 311. (b) Plaskon, A. S.; Grygorenko, O. O.; Ryabukhin, S. V. *Tetrahedron* **2012**, 68, 2743.
- Osipov, D. V.; Osyanin, V. A.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2018**, 54, 1121. [Химия гетероцикл. соединений **2018**, 54, 1121.]
- Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Semenova, I. A.; Korzhenko, K. S.; Lukashenko, A. V.; Demidov, O. P.; Klimochkin, Yu. N. *RSC Adv.* **2020**, 10, 34344.
- (a) Osipov, D. V.; Artyomenko, A. A.; Osyanin, V. A.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2019**, 55, 261. [Химия гетероцикл. соединений **2019**, 55, 261.] (b) Lukashenko, A. V.; Osipov, D. V.; Osyanin, V. A.; Klimochkin, Yu. N. *Russ. J. Org. Chem.* **2016**, 52, 1817. [Журн. орган. химии **2016**, 52, 1824.] (c) Lukashenko, A. V.; Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 711. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, 52, 711.]