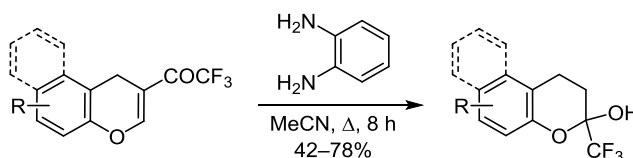


Перегруппировка трифторацетилхроменов в трифторметилхроменолы

Виталий А. Осянин^{1*}, Юлия В. Попова¹, Дарина В. Сахненко¹,
Дмитрий В. Осипов¹, Юрий Н. Климочкин¹

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

Поступило 22.07.2016
Принято 18.08.2016



Реакция *орто*-фенилендиамина с конденсированными 4*H*-пиранами, содержащими в β -положении к атому кислорода трифторацетильную группу, приводит к 2-(трифторметил)хроман-2-олам и 3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*f*]хроман-3-олам в результате каскадного превращения, инициируемого реакцией Михаэля.

Ключевые слова: 3-трифторацетил-4*H*-хромены, 2-(трифторметил)хроман-2-олы, *орто*-фенилендиамин, реакция Михаэля, ретро-реакция Манниха.

Введение трифторметильной группы в молекулы органических соединений существенно изменяет их химические, физические и биологические свойства вследствие высокой электроотрицательности и липофильности атомов фтора. Присутствие трифторметильной группы может существенно менять профиль биологической активности органических соединений, приводить к усилению терапевтического эффекта или появлению новых видов активности.¹

Синтез трифторметилзамещенных бензодиазепинов представляет значительный интерес, поскольку диазепиновый фрагмент входит в структуру многих фармацевтических препаратов.² Одним из очевидных подхо-

дов к получению трифторметилзамещенных бензодиазепинов является реакция между 1,3-дикарбонильными соединениями или их синтетическими эквивалентами и *орто*-фенилендиамином. Согласно литературным данным, взаимодействие β -алкоксивинил(трифторметил)кетонов с *орто*-фенилендиамином, в зависимости от условий и природы заместителей, может приводить к широкому спектру различных продуктов: моно- и бис-(β -енаминонам),³⁻⁷ бензимидазолу и 2-трифторметилбензимидазолу,⁷ 2-(1,1,1-трифторацетонил)бензимидазолу,⁸⁻¹⁰ дигидробензо[*b*][1,4]дiazепинолам,^{9,11} 4-(трифторметил)-1*H*-бензо[*b*][1,4]дiazепинам,^{10,12,13} 2-(трифторметил)-3*H*-бензо[*b*][1,4]дiazепинам (схема 1).^{9,14}

Схема 1

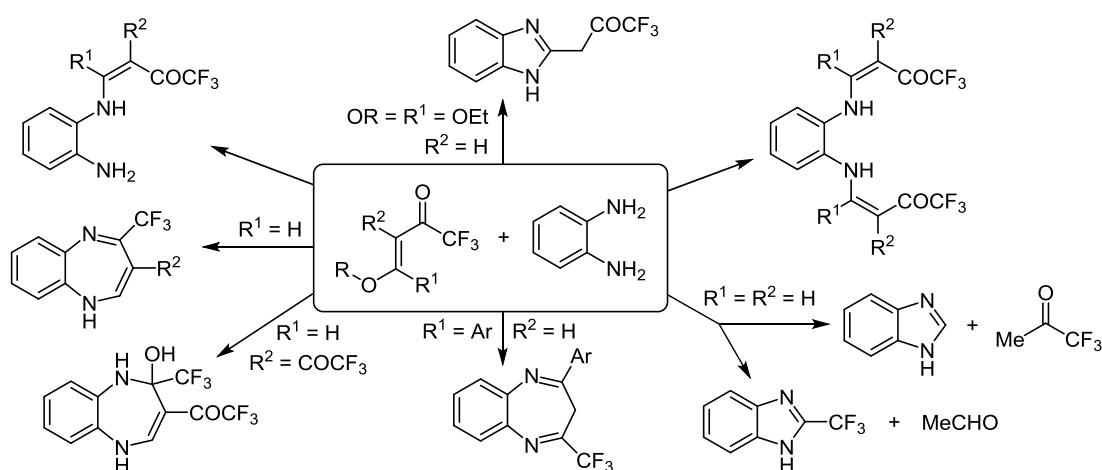
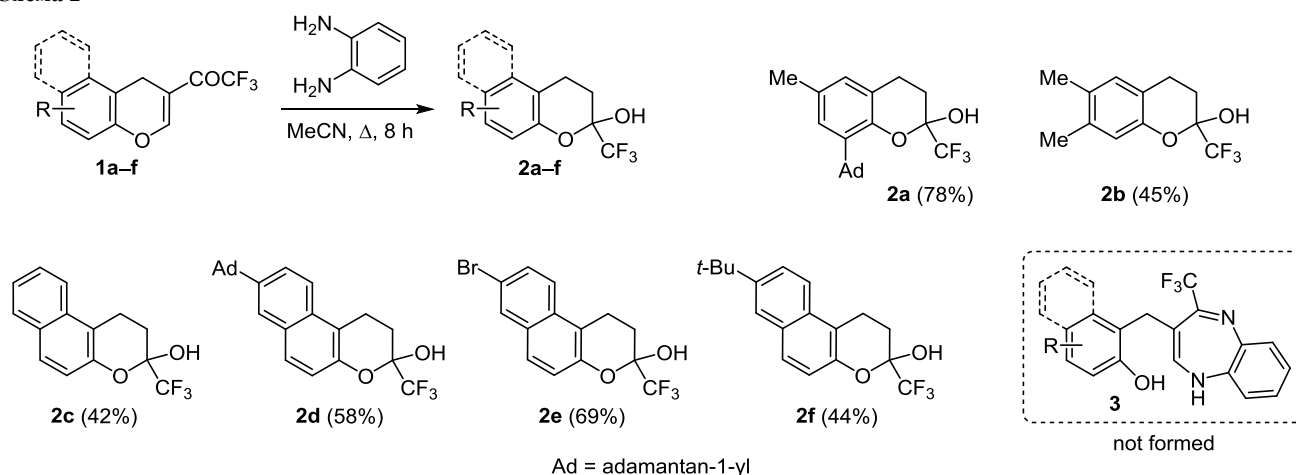


Схема 2



Мы предположили, что при взаимодействии *орто*-фенилендиамина с 3-трифторацетил-4*H*-хроменами **1a,b** или 2-трифторацетил-1*H*-бензо[*f*]хроменами **1c–f** как структурными аналогами β-алкоксивинил(трифторметил)кетонов также могут быть получены соответствующие бензодиазепины **3**. Однако реакция привела только к 2-(трифторметил)хромен-2-олам **2a,b** и 3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*f*]хромен-3-олам **2c–f** (наряду с бензимидазолом) (схема 2).

Реакции проводили при нагревании эквимольных количеств *орто*-фенилендиамина и трифторацетилхроменов **1a–f** в кипящем ацетонитриле. Выходы соответствующих хроменолов **2a–f** составили 42–78%. Очистку хроменолов проводили колоночной хроматографией. Образующийся в ходе синтеза бензимидазол был также выделен из реакционной смеси.

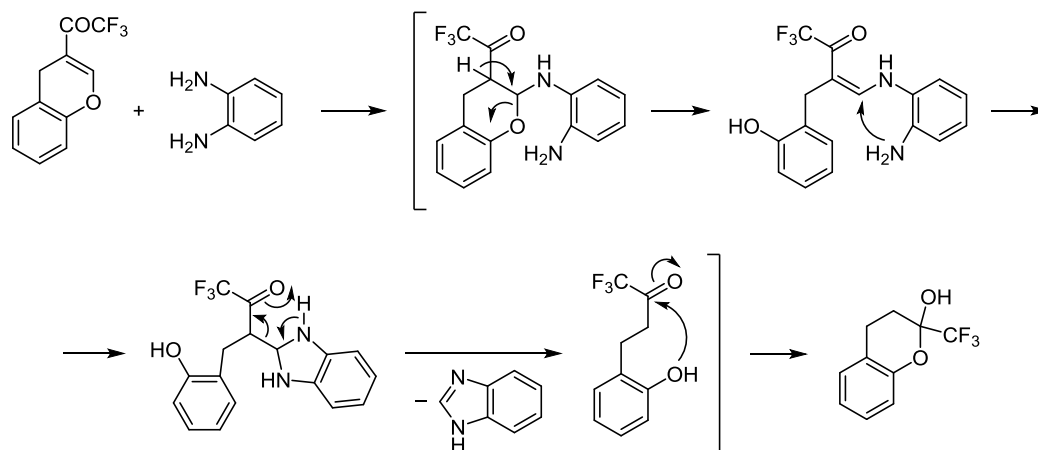
Предположительный механизм перегруппировки включает следующие стадии: аза-реакция Михаэля – присоединение одной из аминогрупп *орто*-фенилендиамина к хромену, ретро-окса-реакция Михаэля – раскрытие дигидропиранового цикла, повторная аза-реакция Михаэля, ретро-реакция Манниха,^{15,16} сопровождающаяся отщеплением бензимидазола, и внутри-

молекулярное присоединение по карбонильной группе (полукетализация) (схема 3).

Полученные хроменолов **2a–f** являются термически устойчивыми соединениями, не подвергающимися дегидратации в отсутствие сильных кислот.¹⁷ Их термическая стабильность также подтверждается наличием в масс-спектре соединения **2c** при ионизации электронным ударом пика молекулярного иона с максимальной интенсивностью (интенсивность сигнала [M–H₂O]⁺ меньше 1%). Стабильность хроменолов **2a–f**, являющихся, по сути, циклическими полукеталами, можно объяснить невыгодностью образования карбокатионного центра на атоме углерода, соседствующего с трифторметильной группой.

В спектрах ЯМР ¹³C соединений **2a–f** атом углерода трифторметильной группы и соседний с ним атом углерода проявляются в виде квартетов при 122.7–123.7 м. д. с ¹J_{CF} = 283.2–285.1 Гц и 93.9–94.0 м. д. с ²J_{CF} = 33.4 Гц соответственно. Атомы углерода двух метиленовых групп резонируют при 16.6–20.3 и 23.5–25.1 м. д., а соответствующие атомы водорода в спектрах ЯМР ¹H проявляются, как правило, в виде четырех сигналов при 1.77–3.28 м. д. Протон гидроксильной

Схема 3

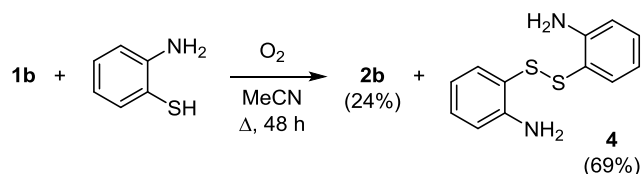


группы обнаруживается в виде уширенного синглета при 2.84–3.48 м. д. (в CDCl₃). При замене дейтерохлороформа на ДМСО-*d*₆ сигнал протона гидроксильной группы смещается в слабое поле (на 4.7 м. д. в спектре соединения **2b**). В спектрах DEPT число протонов, непосредственно связанных с атомами ¹³C, согласуется с приведенными структурами.

Использование этилендиамина вместо *орто*-фенилендиамина в реакции с 2-трифторацетил-1*H*-бензо[*f*]хроменом **1c** дает менее удовлетворительные результаты. Образуется сложная смесь продуктов, в которой, однако, по данным спектроскопии ЯМР ¹H, основным компонентом является хроменол **2c**.

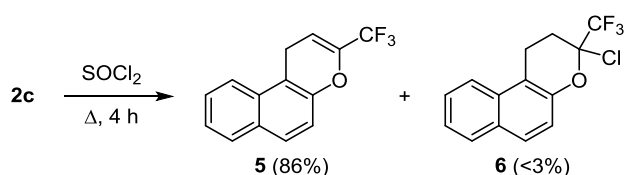
Длительный нагрев хромена **1b** с *орто*-аминотиофенолом приводит к соответствующему хроменолу **2b** с низким выходом (24%). Наряду с ним из реакционной смеси в чистом виде удалось выделить ди(2-аминофенил)дисульфид (**4**) с выходом 69%. Дисульфид **4**, вероятно, образуется в результате окисления *орто*-аминотиофенола кислородом воздуха (схема 4).

Схема 4



В литературе описана дегидратация трифторметилхроменолов под действием конц. H₂SO₄ в CH₂Cl₂ при комнатной температуре.¹⁷ Однако в наших экспериментах конверсия хроменолов **2c** через 12 ч составила около 10%. Известно также, что дегидратация родственных систем может происходить под действием SOCl₂ в присутствии пиридина.^{18,19} При проведении реакции при комнатной температуре в этих условиях исходный хроменол **2c** через 2 ч не обнаруживается в реакционной смеси, однако помимо хромена **5** в ней содержится около 25% продукта замещения гидроксильной группы на атом хлора – 3-(трифторметил)-3-хлор-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*f*]хромена (**6**), от которого целевой продукт сложно отделить. В то же время кипячение хроменолов **2c** в избытке тионилхлорида в отсутствие пиридина в течение 4 ч позволяет получить хромен **5** с выходом 86% (схема 5). При этом содержание побочного продукта **6** в реакционной смеси по данным хромато-масс-спектрометрии составляет менее 3%.

Схема 5



Таким образом, нами показано, что в реакции с *орто*-фенилендиамином трифторацетилхромены подвержены рециклизации в трифторметилхроменолы.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на спектрометре Shimadzu IRAffinity-1 в таблетках KBr. Спектры ЯМР ¹H и ¹³C (в том числе ЯМР ¹³C DEPT) зарегистрированы на спектрометре JEOL JNM-ECX400 (400 и 100 МГц соответственно) в ДМСО-*d*₆ (соединение **2b**) или в CDCl₃ (остальные соединения), внутренний стандарт ТМС. Масс-спектры записаны на приборе Finnigan Trace DSQ, ионизация ЭУ (70 эВ). Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе Euro Vector EA-3000. Температуры плавления определены капиллярным методом на приборе SRS OptiMelt MPA100. Контроль за ходом реакций осуществлен методом ТСХ на алюминиевых пластинах, покрытых силикагелем (Merck, Kiesgel 60 F-254), проявление в УФ свете и парах иода. Исходные соединения **1a–f** получены по литературному методу.²⁰

Получение 2-(трифторметил)хромен-2-олов **2a,b и 3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*f*]хромен-3-олов **2c–f**** (общая методика). Смесь 3 ммоль трифторацетилхромена **1a–f**, 0.32 г (3 ммоль) *орто*-фенилендиамина и 10 мл MeCN кипятят в течение 8 ч. Растворитель упаривают в вакууме, остаток очищают колоночной хроматографией на силикагеле (элюент CHCl₃) с последующей перекристаллизацией из гексана или циклогексана. При дальнейшем элюировании смесью CHCl₃–EtOH, 5:1, выделяют бензимидазол, спектральные характеристики которого соответствуют литературным данным.²¹

8-(Адамантан-1-ил)-6-метил-2-(трифторметил)хромен-2-ол (2a**)**. Выход 78%, бесцветные кристаллы, т. пл. 137–138 °С (гексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3518, 3406 (ОН), 2967, 2905, 2851 (CH_{Ad}), 1463, 1450, 1342, 1323, 1258, 1215, 1180, 1157, 1099, 1084, 1030, 984, 856, 721. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.76 (6H, уш. с, 3CH₂ Ad); 1.95 (1H, т. д, *J* = 13.5, *J* = 6.0) и 2.20 (1H, д. д. д, *J* = 13.0, *J* = 6.0, *J* = 1.6, 3-CH₂); 2.07 (9H, уш. с, 3CH₂ Ad, 3CH Ad); 2.27 (3H, с, CH₃); 2.74 (1H, д. д, *J* = 16.3, *J* = 4.6) и 3.01–3.10 (1H, м, 4-CH₂); 2.88 (1H, уш. с, ОН); 6.79 (1H, д, *J* = 1.8, H Ar); 6.93 (1H, д, *J* = 1.8, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (*J*, Гц): 20.3 (CH₂); 20.9 (CH₃); 23.5 (CH₂); 29.1 (3CH Ad); 36.9 (C Ad); 37.1 (3CH₂ Ad); 40.7 (3CH₂ Ad); 93.9 (κ, ²*J*_{CF} = 33.4, CCF₃); 121.1 (C); 122.9 (κ, ¹*J*_{CF} = 284.1, CF₃); 126.1 (CH); 127.5 (CH); 130.8 (C); 138.0 (C); 147.0 (C–O). Найдено, %: C 68.90; H 6.81. C₂₁H₂₅F₃O₂. Вычислено, %: C 68.84; H 6.88.

6,7-Диметил-2-(трифторметил)хромен-2-ол (2b**)**. Выход 45%, бесцветные кристаллы, т. пл. 84–85 °С (гексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3553 (ОН), 2943, 1628, 1582, 1508, 1458, 1412, 1389, 1342, 1300, 1238, 1207, 1188, 1173, 1111, 1092, 1007, 968, 899, 872. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 1.77 (1H, т. д. д, *J* = 13.0, *J* = 5.8, *J* = 1.5) и 2.02 (1H, д. д. д, *J* = 13.2, *J* = 5.8, *J* = 2.5, 3-CH₂); 2.08 (3H, с, CH₃); 2.10 (3H, с, CH₃); 2.61

(1H, д. д. д, $J = 16.2, J = 5.8, J = 2.0$) и 2.74–2.83 (1H, м, 4-CH₂); 6.61 (1H, с, H Ar); 6.85 (1H, с, H Ar); 7.74 (1H, д, $J = 1.7$, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 18.9 (CH₃); 19.5 (CH₂); 19.6 (CH₃); 25.1 (CH₂); 94.0 (к, ² $J_{CF} = 33.4, \underline{CF}_3$); 117.8 (CH); 118.8 (C); 123.7 (к, ¹ $J_{CF} = 285.1, CF_3$); 129.4 (C); 130.3 (CH); 136.0 (C); 149.1 (C–O). Найдено, %: C 58.47; H 5.27. C₁₂H₁₃F₃O₂. Вычислено, %: C 58.54; H 5.32.

Соединение **2b** было также получено по следующей методике: раствор 0.30 г (1.2 ммоль) хромена **1b** и 0.15 г (1.2 ммоль) орто-аминотиофенола в 5 мл MeCN кипятят в течение 48 ч, растворитель упаривают в вакууме, остаток разделяют колоночной хроматографией на силикагеле (элюент CH₂Cl₂), выделяют последовательно исходный хромен **1b** (0.19 г), хроменол **2b** (0.07 г, 24%) и дисульфид **4** (0.10 г, 69%).

Ди(2-аминофенил)дисульфид (4). Т. пл. 89–91 °C (циклогексан) (т. пл. 90–92 °C²²). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3379, 3298 (NH₂), 1612, 1582, 1474, 1447, 1300, 1246, 752, 698, 671. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 4.15 (4H, уш. с, 2NH₂); 6.58 (2H, т. т, $J = 7.6, J = 1.2$, H Ar); 6.70 (2H, д, $J = 8.5$, H Ar); 7.13–7.18 (4H, м, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 115.3 (2CH); 118.3 (2CH); 118.9 (2C); 131.7 (2CH); 136.9 (2CH); 148.7 (2C).

3-(Трифторметил)-2,3-дигидро-1H-бензо[f]хромен-3-ол (2c). Выход 42%, бесцветные кристаллы, т. пл. 140–142 °C (циклогексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3345 (OH), 1628, 1601, 1514, 1468, 1435, 1335, 1258, 1223, 1204, 1184, 1159, 1123, 1082, 1032, 1020, 1001, 972, 810. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 2.06–2.16 (1H, м) и 2.42 (1H, д. д. д, $J = 13.3, J = 6.0, J = 1.8, 2-CH_2$); 2.84 (1H, уш. с, OH); 3.11–3.20 (1H, м) и 3.26 (1H, д. д, $J = 16.5, J = 5.5, 1-CH_2$); 7.11 (1H, д, $J = 9.0$, H Ar); 7.41 (1H, д. д. д, $J = 8.0, J = 7.1, J = 1.2$, H Ar); 7.54 (1H, д. д. д, $J = 8.5, J = 7.1, J = 1.4$, H Ar); 7.68 (1H, д, $J = 9.0$, H Ar); 7.79 (1H, д, $J = 8.2$, H Ar); 7.87 (1H, д, $J = 8.5$, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 16.6 (CH₂); 23.6 (CH₂); 94.0 (к, ² $J_{CF} = 33.4, \underline{CF}_3$); 113.7 (C); 118.5 (CH); 122.3 (CH); 122.8 (к, ¹ $J_{CF} = 283.2, CF_3$); 124.3 (CH); 126.9 (CH); 128.4 (CH); 128.6 (CH); 129.8 (C); 132.3 (C); 147.9 (C–O). Масс-спектр, m/z ($I_{отн.}$, %): 268 [M]⁺ (100), 199 [M–CF₃]⁺ (5), 157 [C₁₁H₉O]⁺ (82), 144 (28), 128 [C₁₀H₈]⁺ (57), 69 [CF₃]⁺ (16). Найдено, %: C 62.60; H 4.07. C₁₄H₁₁F₃O₂. Вычислено, %: C 62.69; H 4.13.

8-(Адамантан-1-ил)-3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1H-бензо[f]хромен-3-ол (2d). Выход 58%, бесцветные кристаллы, т. пл. 243–244 °C (с разл., гексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3600–3300 (OH), 3070, 2909, 2847 (CH Ad), 1605, 1508, 1474, 1450, 1393, 1342, 1319, 1215, 1188, 1088, 1026, 999, 972, 883, 810, 721. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.81 (6H, уш. с, 3CH₂ Ad); 2.01 (6H, уш. с, 3CH₂ Ad); 2.04–2.14 (1H, м) и 2.41 (1H, д. д. д, $J = 13.3, J = 6.0, J = 1.8, 2-CH_2$); 2.15 (3H, уш. с, 3CH Ad); 2.91 (1H, уш. с, OH); 3.09–3.18 (1H, м) и 3.24 (1H, д. д, $J = 16.5, J = 5.5, 1-CH_2$); 7.07 (1H, д, $J = 9.0$, H-5); 7.63 (1H, д. д, $J = 8.7, J = 2.1$, H-9); 7.65 (1H, д, $J = 8.7$, H-10); 7.68 (1H, д, $J = 2.1$, H-7); 7.82 (1H, д, $J = 9.0$, H-6). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 16.6 (CH₂); 23.6 (CH₂); 29.0 (3CH Ad); 36.2 (C Ad); 36.9 (3CH₂ Ad); 43.2

(3CH₂ Ad); 93.9 (к, ² $J_{CF} = 33.4, \underline{CF}_3$); 113.4 (C); 118.3 (CH); 122.0 (CH); 122.8 (к, ¹ $J_{CF} = 283.2, CF_3$); 123.7 (CH); 125.0 (CH); 128.4 (CH); 129.8 (C); 130.4 (C); 147.2 (C); 147.5 (C). Найдено, %: C 71.58; H 6.20. C₂₄H₂₅F₃O₂. Вычислено, %: C 71.63; H 6.26.

8-Бром-3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1H-бензо[f]хромен-3-ол (2e). Выход 69%, бесцветные кристаллы, т. пл. 150–152 °C (гексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3480 (OH), 1620, 1589, 1501, 1458, 1443, 1393, 1358, 1323, 1254, 1231, 1219, 1180, 1111, 1084, 1022, 976, 891, 868, 806. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 2.04–2.12 (1H, м) и 2.41 (1H, д. д, $J = 13.5, J = 5.5, 2-CH_2$); 3.06–3.20 (2H, м, 1-CH₂); 3.48 (1H, уш. с, OH); 7.09 (1H, д, $J = 9.0$, H-5); 7.54 (1H, д, $J = 8.7$) и 7.56 (1H, д, $J = 8.7$, H-9,10); 7.69 (1H, д, $J = 9.0$, H-6); 7.90 (1H, с, H-7). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 16.6 (CH₂); 23.5 (CH₂); 94.0 (к, ² $J_{CF} = 33.4, \underline{CF}_3$); 114.0 (C); 118.0 (C); 119.6 (CH); 122.7 (к, ¹ $J_{CF} = 283.2, CF_3$); 124.0 (CH); 127.4 (CH); 130.0 (CH); 130.5 (CH); 130.9 (2C); 148.2 (C–O). Найдено, %: C 48.37; H 2.84. C₁₄H₁₀BrF₃O₂. Вычислено, %: C 48.44; H 2.90.

8-трет-Бутил-3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1H-бензо[f]хромен-3-ол (2f). Выход 44%, бесцветные кристаллы, т. пл. 120–122 °C (гексан). ИК спектр, ν, см⁻¹: 3348 (OH), 2967, 2870, 1605, 1508, 1470, 1435, 1393, 1369, 1273, 1238, 1211, 1184, 1150, 1119, 1084, 1030, 999, 980, 891, 826, 810. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 1.42 (9H, с, C(CH₃)₃); 2.09 (1H, т. д, $J = 13.0, J = 6.4$) и 2.42 (1H, д. д, $J = 13.3, J = 6.0, 2-CH_2$); 2.90–3.28 (3H, м, 1-CH₂, OH); 7.08 (1H, д, $J = 9.0$, H Ar); 7.62–7.67 (2H, м, H Ar); 7.73 (1H, с, H-7); 7.82 (1H, д, $J = 8.7$, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 16.6 (CH₂); 23.7 (CH₂); 31.3 (C(CH₃)₃); 34.7 (C(CH₃)₃); 93.9 (к, ² $J_{CF} = 33.4, \underline{CF}_3$); 113.4 (C); 118.3 (CH); 122.0 (CH); 122.8 (к, ¹ $J_{CF} = 284.1, CF_3$); 123.7 (CH); 125.6 (CH); 128.4 (CH); 129.7 (C); 130.4 (C); 147.0 (C); 147.5 (C). Найдено, %: C 66.73; H 5.84. C₁₈H₁₉F₃O₂. Вычислено, %: C 66.66; H 5.90.

3-(Трифторметил)-1H-бензо[f]хромен (5). Раствор 0.15 г (0.56 ммоль) хроменолола **2c** в 4 мл SOCl₂ кипятят в течение 4 ч. Избыток тионилхлорида отгоняют в вакууме. Продукт очищают перекристаллизацией из MeOH. Выход 0.12 г (86%), желтые кристаллы, т. пл. 67–69 °C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 2893, 2839, 1713 (C=C_{тиран}), 1686, 1626, 1605, 1518, 1470, 1402, 1393, 1352, 1319, 1281, 1229, 196, 1125, 1092, 1011, 804, 764, 741. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J , Гц): 3.77–3.80 (2H, м, 1-CH₂); 5.83 (1H, т, $J = 3.7, 2-CH$); 7.17 (1H, д, $J = 9.0$, H Ar); 7.47 (1H, д. д. д, $J = 8.0, J = 7.1, J = 1.2$, H Ar); 7.57 (1H, д. д. д, $J = 8.5, J = 6.9, J = 1.4$, H Ar); 7.69 (1H, д, $J = 8.5$, H Ar); 7.72 (1H, д, $J = 9.0$, H Ar); 7.83 (1H, д, $J = 8.0$, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J , Гц): 21.1 (CH₂); 102.6 (к, ³ $J_{CF} = 3.8, 2-CH$); 110.2 (C); 117.6 (CH); 119.6 (к, ¹ $J_{CF} = 269.8, CF_3$); 122.5 (CH); 124.9 (CH); 127.1 (CH); 128.5 (CH); 128.8 (CH); 130.9 (C); 131.7 (C); 140.1 (к, ² $J_{CF} = 36.2, \underline{CF}_3$); 147.8 (C–O). Масс-спектр, m/z ($I_{отн.}$, %): 250 [M]⁺ (66), 249 [M–H]⁺ (75), 201 (16), 181 [M–CF₃]⁺ (90), 152 [C₁₂H₈]⁺ (100), 151 (48), 126 (12), 69 [CF₃]⁺ (42). Найдено, %: C 67.15; H 3.57. C₁₄H₉F₃O. Вычислено, %: C 67.20; H 3.63.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках проектной части государственного задания на научно-исследовательскую работу (4.1597.2014/К) и Совета по грантам Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых (грант МД-5833.2016.3).

Список литературы

1. Bassetto, M.; Ferla, S.; Pertusati, F. *Future Med. Chem.* **2015**, 7, 527.
2. (a) Schütz, H. *Benzodiazepines: A Handbook. Basic Data, Analytical Methods, Pharmacokinetics and Comprehensive Literature*; Springer-Verlag: Heidelberg, 1982. (b) Schütz, H. *Benzodiazepines II: A Handbook. Basic Data, Analytical Methods, Pharmacokinetics and Comprehensive Literature*; Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg, 1989.
3. Mkrtchyan, E. G.; Yachevskii, D. S.; Chizhov, D. L.; Charushin, V. N. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2005**, 54, 2150. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2005**, 2086.]
4. Kudyakova, Yu. S.; Goryaeva, M. V.; Burgart, Ya. V.; Slepukhin, P. A.; Saloutin, V. I. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2010**, 59, 1582. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2010**, 1544.]
5. Chopin, N.; Médebielle, M.; Pilet, G. *Eur. J. Inorg. Chem.* **2012**, 1093.
6. Gerus, I. I.; Gorbunova, M. G.; Vdovenko, S. I.; Yagupol'skii, Yu. L.; Kukhar', V. P. *J. Org. Chem. USSR* **1990**, 26, 1623. [*Журн. орган. химии* **1990**, 26, 1877.]
7. Chu, Q.; Wang, Y.; Zhu, S. *Synth. Commun.* **2000**, 30, 677.
8. Narsaiah, B.; Sivaprasad, A.; Venkataratnam, R. V. *J. Fluorine Chem.* **1994**, 66, 47.
9. Ota, N.; Okada, E.; Terai, N.; Miyamura, T.; Shibata, D.; Sakai, T. *Heterocycles* **2009**, 77, 983.
10. Chandra Sheker Reddy, A.; Shanthan Rao, P.; Venkataratnam, R.V. *Tetrahedron* **1997**, 53, 5847.
11. Ota, N.; Tomoda, T.; Terai, N.; Kamitori, Y.; Shibata, D.; Médebielle, M.; Okada, E. *Heterocycles* **2008**, 76, 1205.
12. Mamat, C.; Hein, M.; Miethchen, R. *Carbohydr. Res.* **2006**, 341, 1758.
13. Chandra Sheker Reddy, A.; Shanthan Rao, P.; Venkataratnam, R. V. *Tetrahedron Lett.* **1996**, 37, 2845.
14. Bonacorso, H. G.; Marques, L. M. L.; Zanatta, N.; Martins, M. A. P. *Synth. Commun.* **2002**, 32, 3225.
15. Roupany, A. J. A.; Baker, J. R. *RSC Adv.* **2013**, 3, 10650.
16. Lim, S.-G.; Jun, C.-H. *Bull. Korean Chem. Soc.* **2004**, 25, 1623.
17. Fan, H.-F.; Wang, X.-W.; Zhao, J.-W.; Li, X.-J.; Gao, J.-M.; Zhu, S.-Z. *Synth. Commun.* **2013**, 43, 2883.
18. Bonacorso, H. G.; Porte, L. M. F.; Cechinel, C. A.; Paim, G. R.; Deon, E. D.; Zanatta, N.; Martins, M. A. P. *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 1392.
19. Bonacorso, H. G.; Cechinel, C. A.; Navarini, J.; Andrighetto, R.; Martins, M. A. P.; Zanatta, N. *Monatsh. Chem.* **2011**, 142, 277.
20. Осянин, В. А. Дис. докт. хим. наук, Самара, 2014. [<http://d21221705.samgtu.ru/sites/d21221705.samgtu.ru/files/osyaninv.pdf>]
21. SDBSWeb: <http://sdb.sdb.aist.go.jp> (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, date of access).
22. Dreyer, D. R.; Jia, H.-P.; Todd, A. D.; Geng, J.; Bielawski, C. W. *Org. Biomol. Chem.* **2011**, 9, 7292.