

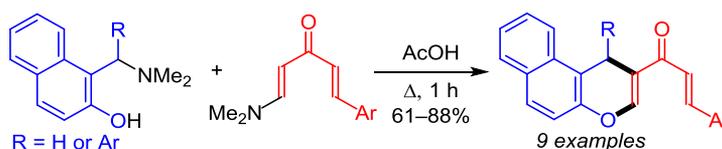
Взаимодействие кросс-сопряженных пуш-пульных енаминокетонов с 1,2-нафтохинон-1-метидами: синтез 3-арил-1-(1*H*-бензо[*f*]хромен-2-ил)проп-2-ен-1-онов

Кирилл С. Корженко¹, Дмитрий В. Осипов¹, Виталий А. Осянин^{1*}, Павел Е. Красников¹, Юрий Н. Климочкин¹

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

Поступило 23.07.2018

Принято 4.09.2018



При взаимодействии кросс-сопряженных пуш-пульных енаминокетонов с основаниями Манниха 2-нафтольного ряда получена серия 3-арил-1-(1*H*-бензо[*f*]хромен-2-ил)проп-2-ен-1-онов, как незамещенных, так и содержащих арильный заместитель в положении С-1. Каскадный процесс включает гетеро-реакцию Дильса–Альдера между образующимся *in situ* 1,2-нафтохинон-1-метидом и енамином с последующим элиминированием диметиламина.

Ключевые слова: 1*H*-бензо[*f*]хромены, енаминокетоны, основания Манниха, *o*-хинонметиды, каскадные реакции, реакция Дильса–Альдера.

Кросс-сопряженные енамины привлекают внимание как полифункциональные субстраты, используемые для получения самых разнообразных гетероциклических систем. Описано их применение для синтеза замещенных хинолинов,¹ пиразолов,² изоксазолов,³ бензофуранов,⁴ пиримидинов,⁵ 2*H*-пиранов⁶ и некоторых других гетероциклов.⁷ В реакциях гетероциклизации подобные енамины выступают почти исключительно в качестве акцепторов Михаэля.⁸ В то же время наличие высокополяризованной системы кратных связей позволяет рассматривать их и как потенциальные диенофилы.

Фрагмент 4*H*-хромена широко встречается как в фармацевтических препаратах, так и биологически активных соединениях природного происхождения, что делает эту структурную единицу привилегированной для медицинской химии, а поиск новых и развитие уже имеющихся методов ее синтеза продолжают оставаться актуальными.⁹ Гетеро-реакция Дильса–Альдера представляет собой один из очевидных и широко используемых подходов к получению функционализированных шестичленных гетероциклов.¹⁰ Так, например, реакция циклоприсоединения между *o*-хинонметидами и различными олефинами приводит к получению хроменов и хроманов.¹¹ При этом следует отметить, что полученные гетероциклы, как правило, содержат электронодонорные группы в своем составе. Это обус-

ловлено тем, что *o*-хинонметиды легко реагируют только с электронообогатненными диенофилами. Тем не менее хромены, содержащие электроноакцепторный заместитель, могут быть получены из *o*-хинонметидов при их взаимодействии с пуш-пульными олефинами, что было показано нами ранее.¹²

В продолжение исследований реакции циклоприсоединения между *o*-хинонметидами и пуш-пульными олефинами мы изучили взаимодействие 2-нафтольных оснований Манниха **1a–f** с рядом кросс-сопряженных енаминокетонов **2a–d** (схема 1). В результате был синтезирован ряд бензохроменов **3a–i**, как незамещенных по положению 1, так и содержащих арильный заместитель. Реакцию проводили в кипящей AcOH при использовании 50% избытка енаминокетона. Выходы бензохроменов **3a–i** после очистки перекристаллизацией составили 61–88%. Наличие донорных или акцепторных групп в арильных заместителях существенным образом не сказывается на выходе продукта. Неописанные ранее нитрофенилзамещенные енаминокетоны **2a–c** получали конденсацией соответствующих бензальацетонов с димилацеталем диметилформамида.

В спектрах ЯМР ¹H бензохроменов **3a–i** протоны 1-CH₂ и 1-CH проявляются в области 3.77–3.83 и 5.71–5.91 м. д. соответственно в виде синглетов. Сигнал протона в α-положении пиранового цикла наблюдается в области 7.95–8.65 м. д. Олефиновые протоны

Схема 1

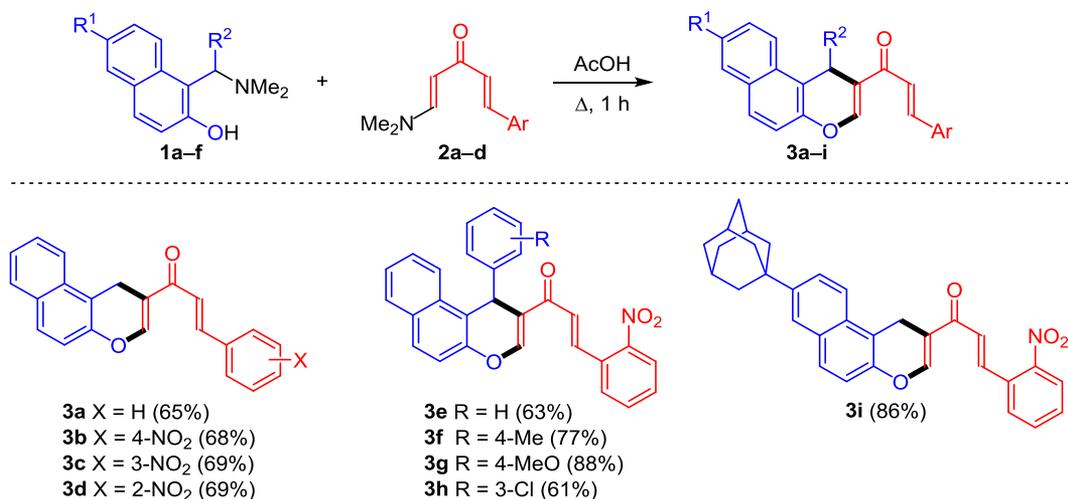
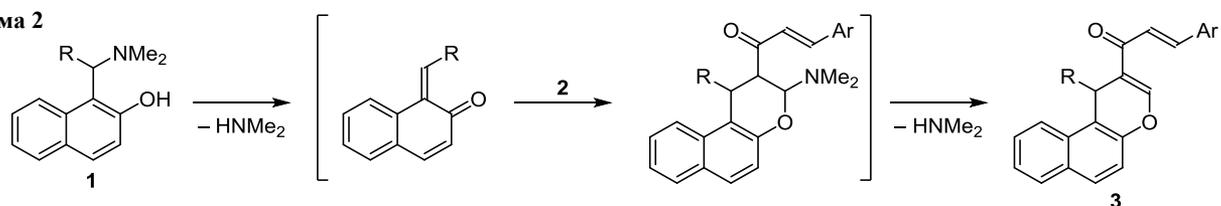


Схема 2



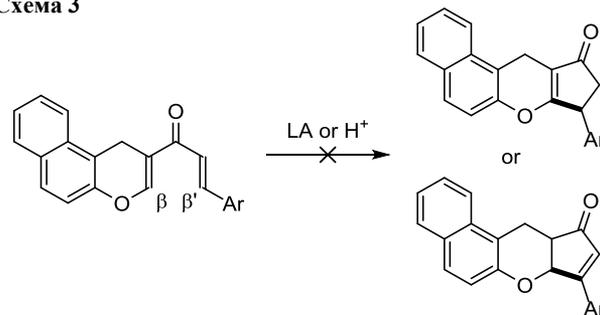
проявляются в области 6.90–7.95 м. д. в виде дублетов с $^3J = 15.4\text{--}15.8$ Гц, что подтверждает их *транс*-расположение. В спектрах ЯМР ^{13}C атом С-1 резонирует при 20.1 м. д. (соединения **3a–d,i**) и 35.1–36.0 м. д. (соединения **3e–h**). Сигнал в области 151.2–153.6 м. д. приписан α -пирановому атому углерода. Атом углерода карбонильной группы резонирует в области 186.5–188.0 м. д. В спектрах DEPT число протонов, непосредственно связанных с атомами углерода, согласуется с приведенными структурами.

Предполагаемый механизм образования бензохроменов **3** включает генерирование *o*-нафтохинонметида, к которому присоединяется пуш-пульный олефин в условиях реакции Дильса–Альдера с обращенными электронными требованиями. Последующее элиминирование диметиламина приводит к конечным продуктам **3** (схема 2). Проведение реакции в AcOH, которая необратимо связывает выделяющийся диметиламин, облегчает как генерирование нафтохинонметида, так и элиминирование диметиламина из хроманового циклоаддукта.

Наличие системы кросс-сопряженных кратных связей в бензохроменах **3** позволяет рассматривать их как ценные субстраты для последующих синтетических трансформаций. Соединения **3** вводились в реакцию Назарова¹³ с целью получения конденсированных циклопентенонов. Однако провести циклизацию не удалось ни под действием кислот Льюиса (BBr₃, ZrCl₄, Me₃SiBr), ни под действием кислот Бренстеда (CF₃CO₂H, CF₃SO₃H): во всех случаях были выделены исходные соединения (схема 3).

По-видимому, данный факт обусловлен значительной стабилизацией пентадиенильного катиона в первую очередь атомом кислорода в β -положении, а также

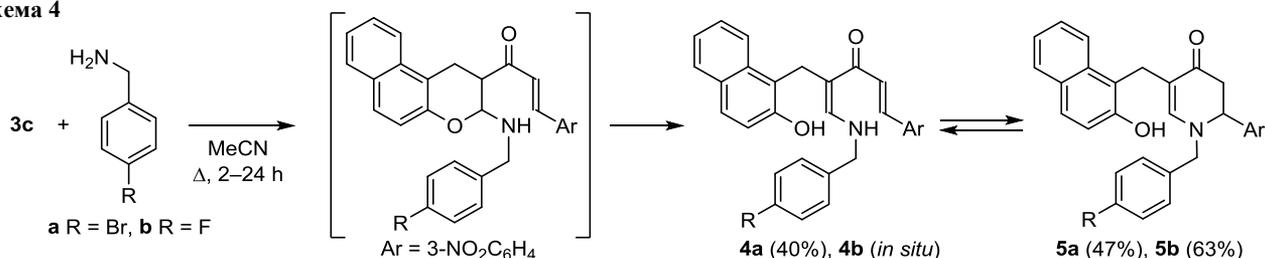
Схема 3



β' -арильной группой, вследствие чего катионная электроциклизация становится невыгодной.¹⁴ Недостаточным для протекания реакции Назарова также оказывается наличие в арильном заместителе дестабилизирующей катион нитрогруппы. Однако на нескольких примерах показано, что β -алкоксидивинилкетоны могут вступать в реакцию Назарова при наличии сильного заместителя в β' -положении.¹⁵

При взаимодействии соединения **3c** с 4-бром- и 4-фторбензиламинами в кипящем MeCN были получены 4-дигидропиридоны **5a,b** (схема 4). Наличие в сопряжении с карбонильной группой экзо- и эндоциклической двойных связей предполагает два возможных направления первоначальной нуклеофильной атаки. В случае 4-бромбензиламина при проведении реакции в течение 2 ч удалось в чистом виде выделить промежуточный продукт – енаминокетон **4a**. Наличие в спектре ЯМР ^1H соединения **4a** сигнала фенольного гидроксила при 10.62 м. д. и сигналов олефиновых протонов при 7.56 и 7.73 м. д. с $^3J = 15.3$ Гц свидетельствует о том, что сначала протекает присоединение амина по двойной связи пиранового цикла. Большая

Схема 4



электрофильность α -пиранового атома углерода по сравнению с атомом углерода, связанным с арильной группой, по-видимому, обусловлена отрицательным индуктивным эффектом соседнего атома кислорода. Данную реакцию можно рассматривать как нуклеофильное замещение у винильного атома углерода ($S_N\text{Vin}$), включающее стадии аза-реакции Михаэля и окса-ретро-реакции Михаэля (присоединение–отщепление).¹⁶ Следует, однако, отметить, что примеры подобных реакций β -оксигенированных дивинилкетонс с 1,1- N,N -бинуклеофилами крайне малочисленны.¹⁷

Продолжительное нагревание енаминокетона **4a** в MeCN приводит к его циклизации в 4-дигидропиридон **5a** в результате повторной аза-реакции Михаэля. Превращение енаминокетонс **4** в дигидропиридоны **5**, по-видимому, является обратимым и представляет собой разновидность кольчатого-цепной таутомерии. Выделить в чистом виде дигидропиридоны нам удалось только в двух случаях, когда они выкристаллизовывались из реакционной смеси.

В спектрах ЯМР ^1H соединений **5a,b** протоны фенольного гидроксила и дигидропиридонового фрагмента проявляются в виде синглетов при 9.82 м. д. (OH), триплетов при 4.70 м. д. (H-2), двух дублетов дублетов при 2.56 и 2.86 м. д. (H-3) и синглетов в области 7.32–7.35 м. д. (H-6). В спектрах ЯМР ^{13}C характеристичными являются сигналы атомс углерода 4-дигидропиридонового фрагмента при 59.4 (C-2), 43.1 (C-3), 188.4 (C=O) и 154.0 м. д. (C-6).

Таким образом, нами показано, что реакция циклоприсоединения кросс-сопряженных енаминокетонс с предшественниками *o*-хинонметидов протекает хемоселективно по более высокополяризованной связи C=C. Полученные хромены не активны в реакции Назарова, но могут быть использованы в синтезе 2,3-дигидропиридин-4(1H)-онс.

Экспериментальная часть

ИК спектры записаны на спектрометре Shimadzu IRAffinity-1, оснащенном приставкой Specac Diamond ATR GS 10800-B. Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C (400 и 100 МГц соответственно), а также эксперименты DEPT зарегистрированы на спектрометре JEOL JNM-ECX400 в CDCl_3 или $\text{DMCO-}d_6$, внутренний стандарт – остаточные сигналы растворителей (CDCl_3 : 7.26 м. д. для ядер ^1H и 77.0 м. д. для ядер ^{13}C , $\text{DMCO-}d_6$: 2.50 м. д. для ядер ^1H и 39.5 м. д. для ядер ^{13}C). 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 и чистотой полученных соединений проведен метод ТСХ на алюминиевых пластинах, покрытых силикагелем (Macherey-Nagel XtraSilGel UV-254), проявление в УФ свете и парах иода.

1-(Диметиламино)-5-фенилпента-1,4-диен-3-он (**2d**) получен по известной методике.^{4b}

Получение (1E,4E)-5-арил-1-(диметиламино)пента-1,4-диен-3-онс 2a–c (общая методика). Смесь 1.91 г (10 ммоль) соответствующего нитробензальацетона, 1.79 г (15 ммоль) диметилацетала диметилформамида в 12 мл *o*-ксилола кипятят в течение 3 ч, выдерживают в течение 1 ч при -10°C , выпавший осадок отфильтровывают и очищают перекристаллизацией.

(1E,4E)-1-(Диметиламино)-5-(4-нитрофенил)пента-1,4-диен-3-он (2a). Выход 1.40 г (57%), оранжевые кристаллы, т. пл. $171\text{--}172^\circ\text{C}$ (*o*-ксилол). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1639, 1614, 1597, 1537, 1504, 1423, 1406, 1335, 1279, 1265, 1236, 1186, 1103, 1088, 978, 837, 770, 752, 704. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д. (J , Гц): 2.82 (3H, с, CH_3); 3.11 (3H, с, CH_3); 5.28 (1H, д, $J = 12.6$, $\text{NCH}=\text{CH}$); 7.21 (1H, уш. д, $J = 15.6$) и 7.43 (1H, уш. д, $J = 15.6$, $\text{ArCH}=\text{CH}$); 7.75 (1H, д, $J = 12.6$, $\text{NCH}=\text{CH}$); 7.89 (2H, д, $J = 8.9$, H Ar); 8.19 (2H, д, $J = 8.9$, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д.: 37.5 (CH_3); 45.0 (CH_3); 97.5 (уш. с, $\text{NCH}=\text{CH}$); 124.5 (2CH); 129.2 (2CH); 132.5 (уш. с, $\text{NCH}=\text{CH}$); 134.9 (CH); 143.0; 147.8; 154.5 (CH); 183.7 (C=O). Найдено, %: C 63.52; H 5.69; N 11.29. $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: C 63.40; H 5.73; N 11.38.

(1E,4E)-1-(Диметиламино)-5-(2-нитрофенил)пента-1,4-диен-3-он (2b). Выход 1.82 г (74%), ярко-желтые кристаллы, т. пл. $97\text{--}99^\circ\text{C}$ (метил-*трет*-бутиловый эфир). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1651, 1614, 1518, 1435, 1410, 1354, 1263, 1090, 1040, 984, 962, 858, 783, 770, 754. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д. (J , Гц): 2.89 (3H, уш. с, CH_3); 3.14 (3H, уш. с, CH_3); 5.30 (1H, д, $J = 12.6$, $\text{NCH}=\text{CH}$); 6.65 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.43–7.47 (1H, м, H Ar); 7.57–7.61 (1H, м, H Ar); 7.66 (1H, д, $J = 7.8$, $J = 1.4$, H Ar); 7.76 (1H, д, $J = 12.6$, $\text{NCH}=\text{CH}$); 7.85 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.96 (1H, д, $J = 8.2$, $J = 1.1$, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д.: 37.4 (CH_3); 45.2 (CH_3); 95.4 ($\text{NCH}=\text{CH}$); 124.8 (CH); 129.1 (CH); 129.3 (CH); 132.1; 133.3 (2CH); 133.8 (CH); 148.6; 154.3 (CH); 186.1 (C=O). Найдено, %: C 63.52; H 5.69; N 11.29. $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: C 63.49; H 5.61; N 11.19.

(1E,4E)-1-(Диметиламино)-5-(3-нитрофенил)пента-1,4-диен-3-он (2c). Выход 1.31 г (53%), светло-желтые кристаллы, т. пл. $162\text{--}163^\circ\text{C}$ (*o*-ксилол). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 3053, 1653, 1614, 1574, 1545, 1520, 1423, 1344, 1325, 1302, 1263, 1088, 1001, 980, 943, 914, 866, 802,

768, 739, 706. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д. (J , Гц): 2.89 (3H, уш. с, CH_3); 3.14 (3H, уш. с, CH_3); 5.25 (1H, д, $J = 12.4$, $\text{NCH}=\underline{\text{CH}}$); 6.87 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{}$); 7.51 (1H, т, $J = 8.0$, Н Ar); 7.55 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{}$); 7.75–7.78 (2H, м, Н Ar, $\text{NCH}=\text{CH}$); 8.12 (1H, д, $J = 8.2$, $J = 1.4$, Н Ar); 8.38 (1H, с, Н Ar). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д.: 37.4 (CH_3); 45.2 (CH_3); 96.6 ($\text{NCH}=\text{CH}$); 121.8 (CH); 123.5 (CH); 129.8 (CH); 131.1 (CH); 134.0 (CH); 135.6 (CH); 137.8; 148.7; 154.1 (CH); 185.1 (C=O). Найдено, %: С 63.52; Н 5.69; N 11.29. $\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_3$. Вычислено, %: С 63.45; Н 5.66; N 11.20.

Получение (E)-3-арил-1-(1H-бензо[*f*]хромен-2-ил)-проп-2-ен-1-онов 3a–i (общая методика). Смесь 1 ммоль енаминокетона **2a–d** и 1 ммоль основания Манниха **1a–f** в 3 мл AcOH кипятят в течение 1 ч, охлаждают до комнатной температуры, выпавший осадок отфильтровывают и очищают перекристаллизацией.

(E)-1-(1H-Бензо[*f*]хромен-2-ил)-3-фенилпроп-2-ен-1-он (3a). Выход 0.20 г (65%), желтые кристаллы, т. пл. 151–153 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1651, 1620, 1589, 1510, 1466, 1395, 1329, 1308, 1261, 1202, 1173, 1109, 993, 972, 860, 839, 806. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д. (J , Гц): 3.77 (2H, с, CH_2); 7.27 (1H, д, $J = 8.9$, Н Ar); 7.37–7.44 (3H, м, Н Ar); 7.49 (1H, д, $J = 8.0$, $J = 7.1$, $J = 1.2$, Н Ar); 7.60 (1H, д, $J = 15.6$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.61 (1H, д, $J = 8.2$, $J = 6.8$, $J = 1.4$, Н Ar); 7.68 (1H, д, $J = 15.6$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.79–7.87 (4H, м, Н Ar); 7.91 (1H, д, $J = 7.8$, Н Ar); 8.47 (1H, с, $\alpha\text{-CH}$ пиран). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д.: 20.1 (CH_2); 112.9; 116.5; 117.6 (CH); 121.8 (CH); 123.3 (CH); 125.6 (CH); 127.8 (CH); 128.8 (CH); 129.1 (3CH); 129.4 (2CH); 130.7 (CH); 131.1; 132.0; 135.4; 141.8 (CH); 146.8; 153.2 ($\alpha\text{-CH}$ пиран); 187.9 (C=O). Найдено, %: С 84.63; Н 5.10. $\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{O}_2$. Вычислено, %: С 84.59; Н 5.16.

(E)-1-(1H-Бензо[*f*]хромен-2-ил)-3-(4-нитрофенил)-проп-2-ен-1-он (3b). Выход 0.24 г (68%), ярко-желтые кристаллы, т. пл. 204–205 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1651, 1620, 1587, 1510, 1466, 1395, 1339, 1263, 1234, 1202, 1177, 1109, 991, 972, 862, 837, 810, 772. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д. (J , Гц): 3.81 (2H, с, CH_2); 7.25 (1H, д, $J = 8.9$, Н Ar); 7.49 (1H, т, $J = 7.5$, Н Ar); 7.61 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.63 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.74 (1H, д, $J = 15.8$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.82 (1H, д, $J = 8.9$, Н Ar); 7.87–7.90 (2H, м, Н Ar); 8.00 (2H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 8.20 (2H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 8.38 (1H, с, $\alpha\text{-CH}$ пиран). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д.: 20.1 (CH_2); 113.0; 116.7; 117.4 (CH); 123.2 (CH); 124.2 (2CH); 125.6 (CH); 126.4 (CH); 127.7 (CH); 128.8 (CH); 129.0 (CH); 129.9 (2CH); 131.3; 132.1; 139.1 (CH); 142.1; 147.0; 148.7; 153.6 ($\alpha\text{-CH}$ пиран); 187.8 (C=O). Найдено, %: С 74.01; Н 4.19; N 3.88. $\text{C}_{22}\text{H}_{15}\text{NO}_4$. Вычислено, %: С 73.94; Н 4.23; N 3.92.

(E)-1-(1H-Бензо[*f*]хромен-2-ил)-3-(3-нитрофенил)-проп-2-ен-1-он (3c). Выход 0.25 г (69%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 162–163 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1651, 1618, 1589, 1564, 1520, 1466, 1439, 1396, 1352, 1335, 1213, 1204, 1177, 995, 976, 800, 739. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д. (J , Гц): 3.83 (2H, с, CH_2); 7.24 (1H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 7.48 (1H, т, $J = 7.6$, Н Ar); 7.61 (1H, т, $J = 8.4$, Н Ar); 7.65–7.73 (3H, м, Н Ar, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.81

(1H, д, $J = 8.9$, Н Ar); 7.89 (2H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 8.14–8.17 (2H, м, Н Ar); 8.37 (1H, д, $J = 1.2$, $\alpha\text{-CH}$ пиран); 8.56 (1H, д, $J = 1.6$, Н Ar). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д.: 20.1 (CH_2); 113.0; 116.7; 117.4 (CH); 123.0 (CH); 123.2 (CH); 124.4 (CH); 125.4 (CH); 125.5 (CH); 127.6 (CH); 128.8 (CH); 129.0 (CH); 130.7 (CH); 131.3; 132.2; 134.9 (CH); 137.7; 139.3 (CH); 147.1; 149.4; 153.4 ($\alpha\text{-CH}$ пиран); 188.0 (C=O). Найдено, %: С 73.88; Н 4.20; N 3.82. $\text{C}_{22}\text{H}_{15}\text{NO}_4$. Вычислено, %: С 73.94; Н 4.23; N 3.92.

(E)-1-(1H-Бензо[*f*]хромен-2-ил)-3-(2-нитрофенил)-проп-2-ен-1-он (3d). Выход 0.25 г (69%), ярко-желтые кристаллы, т. пл. 194–196 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 2901, 2845, 1647, 1620, 1589, 1568, 1512, 1464, 1439, 1396, 1333, 1294, 1213, 1177, 972, 847, 808, 739. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$, 120 °С), δ , м. д. (J , Гц): 3.83 (2H, с, CH_2); 7.24 (1H, д, $J = 9.0$, Н Ar); 7.47–7.54 (2H, м, Н Ar, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.60 (1H, д, $J = 8.0$, Н Ar); 7.64 (1H, д, $J = 7.3$, Н Ar); 7.76 (1H, т, $J = 7.5$, Н Ar); 7.80–7.90 (4H, м, Н Ar, $\text{CH}=\text{CH}$); 8.00 (1H, д, $J = 8.0$, Н Ar); 8.04 (1H, д, $J = 7.8$, Н Ar); 8.30 (1H, с, $\alpha\text{-CH}$ пиран). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$, 120 °С), δ , м. д.: 20.1 (CH_2); 113.0; 116.6; 117.4 (CH); 123.2 (CH); 124.8 (CH); 125.6 (CH); 127.2 (CH); 127.7 (CH); 128.8 (CH); 129.0 (CH); 129.8 (CH); 130.5; 131.0 (CH); 131.3; 132.2; 133.9 (CH); 136.0 (CH); 147.1; 149.5; 153.5 ($\alpha\text{-CH}$ пиран); 187.8 (C=O). Найдено, %: С 74.00; Н 4.18; N 3.83. $\text{C}_{22}\text{H}_{15}\text{NO}_4$. Вычислено, %: С 73.94; Н 4.23; N 3.92.

(E)-3-(2-Нитрофенил)-1-(1-фенил-1H-бензо[*f*]хромен-2-ил)проп-2-ен-1-он (3e). Выход 0.27 г (63%), желтые кристаллы, т. пл. 229–230 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1647, 1618, 1591, 1582, 1568, 1518, 1493, 1389, 1344, 1329, 1306, 1296, 1281, 1231, 1211, 1204, 1186, 1140, 1078, 986, 970, 849, 806, 746. Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3), δ , м. д. (J , Гц): 5.91 (1H, с, $\gamma\text{-CH}$ пиран); 6.90 (1H, д, $J = 15.6$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.06–7.10 (1H, м, Н Ar); 7.17–7.21 (2H, м, Н Ar); 7.35 (1H, д, $J = 8.9$, Н Ar); 7.37–7.40 (3H, м, Н Ar); 7.42–7.46 (1H, м, Н Ar); 7.48–7.53 (1H, м, Н Ar); 7.58–7.64 (2H, м, Н Ar); 7.77 (1H, д, $J = 8.7$, Н Ar); 7.79 (1H, д, $J = 7.8$, Н Ar); 7.93 (1H, д, $J = 15.6$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.97 (1H, с, $\alpha\text{-CH}$ пиран); 7.99 (1H, д, $J = 8.5$, Н Ar); 8.02 (1H, д, $J = 8.2$, $J = 0.9$, Н Ar). Спектр ЯМР ^{13}C (CDCl_3), δ , м. д.: 36.0 (CH); 116.7; 117.1 (CH); 121.7; 123.7 (CH); 125.0 (CH); 125.1 (CH); 126.7 (2CH); 127.2 (CH); 128.5 (3CH); 128.7 (2CH); 129.2 (CH); 129.3 (CH); 130.1 (CH); 131.4; 131.5; 131.8; 133.6 (CH); 138.0 (CH); 144.6; 147.7; 148.5; 151.3 ($\alpha\text{-CH}$ пиран); 187.6 (C=O). Найдено, %: С 77.51; Н 4.36; N 3.18. $\text{C}_{28}\text{H}_{19}\text{NO}_4$. Вычислено, %: С 77.59; Н 4.42; N 3.23.

(E)-3-(2-Нитрофенил)-1-[1-(*n*-толил)-1H-бензо[*f*]хромен-2-ил]проп-2-ен-1-он (3f). Выход 0.34 г (77%), бесцветные кристаллы, т. пл. 190–192 °С (AcOH). ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1645, 1589, 1516, 1464, 1438, 1395, 1341, 1307, 1213, 1065, 1001, 957, 806, 735. Спектр ЯМР ^1H ($\text{DMCO-}d_6$), δ , м. д. (J , Гц): 2.11 (3H, с, CH_3); 5.71 (1H, с, $\gamma\text{-CH}$ пиран); 6.96 (2H, д, $J = 8.2$, Н Ar); 7.18 (2H, д, $J = 8.2$, Н Ar); 7.38–7.43 (1H, м, Н Ar); 7.45–7.50 (2H, м, Н Ar); 7.61 (1H, д, $J = 15.4$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.61–7.65 (1H, м, Н Ar); 7.76 (1H, д, $J = 15.4$, $\text{CH}=\text{CH}$); 7.75–7.79 (1H, м, Н Ar); 7.88–7.91 (2H, м, Н Ar); 8.01–8.07 (3H, м, Н Ar); 8.65 (1H, с, $\alpha\text{-CH}$ пиран). Спектр ЯМР ^{13}C ($\text{DMCO-}d_6$),

δ , м. д.: 21.0 (CH₃); 35.1 (γ -CH пиран); 117.1; 117.7 (CH); 121.8; 123.8 (CH); 125.2 (CH); 125.6 (CH); 126.2 (CH); 127.7 (CH); 128.8 (2CH); 129.1 (CH); 129.4 (2CH); 129.7 (CH); 129.8 (CH); 130.3; 131.1; 131.3 (CH); 131.8; 134.2 (CH); 136.1; 136.7 (CH); 142.4; 147.5; 149.3; 153.3 (α -CH пиран); 186.5 (C=O). Найдено, %: С 77.96; Н 4.71; N 3.06. C₂₉H₂₁NO₄. Вычислено, %: С 77.84; Н 4.73; N 3.13.

(E)-1-[1-(4-Метоксифенил)-1H-бензо[f]хромен-2-ил]-3-(2-нитрофенил)проп-2-ен-1-он (3g). Выход 0.41 г (88%), желтые кристаллы, т. пл. 138–140 °С (AcOH). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1641, 1584, 1508, 1464, 1441, 1393, 1335, 1312, 1242, 1215, 1182, 1007, 972, 818, 741. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м. д. (*J*, Гц): 3.68 (3H, с, CH₃O); 5.86 (1H, с, γ -CH пиран); 6.72 (2H, д, *J* = 8.7, H Ar); 6.90 (1H, д, *J* = 15.6, CH=CH); 7.28 (2H, д, *J* = 8.7, H Ar); 7.34 (1H, д, *J* = 8.7, H Ar); 7.36–7.40 (1H, м, H Ar); 7.42–7.46 (1H, м, H Ar); 7.49–7.53 (1H, м, H Ar); 7.59–7.65 (2H, м, H Ar); 7.75–7.79 (2H, м, H Ar); 7.93 (1H, д, *J* = 15.6, CH=CH); 7.95 (1H, с, α -CH пиран); 7.98 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar); 8.02 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м. д.: 35.1 (CH); 55.2 (CH₃O); 113.9 (2CH); 116.9; 117.0 (CH); 121.9; 123.7 (CH); 125.0 (CH); 125.1 (CH); 126.7 (CH); 127.1 (CH); 128.5 (CH); 129.1 (CH); 129.3 (CH); 129.7 (2CH); 130.1 (CH); 131.4; 131.5; 131.8; 133.6 (CH); 137.0; 138.0 (CH); 147.6; 148.5; 151.2 (α -CH пиран); 158.1; 187.8 (C=O). Найдено, %: С 75.13; Н 4.49; N 2.93. C₂₉H₂₁NO₅. Вычислено, %: С 75.15; Н 4.57; N 3.02.

(E)-3-(2-Нитрофенил)-1-[1-(3-хлорфенил)-1H-бензо[f]хромен-2-ил]проп-2-ен-1-он (3h). Выход 0.29 г (61%), бесцветные кристаллы, т. пл. 172–174 °С (AcOH). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1645, 1620, 1591, 1568, 1520, 1464, 1435, 1396, 1341, 1329, 1300, 1279, 1263, 1233, 1213, 1204, 1188, 1142, 1078, 999, 847, 808, 750, 735, 694. Спектр ЯМР ¹H (CDCl₃), δ , м. д. (*J*, Гц): 5.89 (1H, с, γ -CH пиран); 6.91 (1H, д, *J* = 15.6, CH=CH); 7.06 (1H, д. д. д, *J* = 8.0, *J* = 2.1, *J* = 1.1, H Ar); 7.14 (1H, т, *J* = 7.8, H Ar); 7.28 (1H, т, *J* = 1.8, H Ar); 7.33–7.36 (1H, м, H Ar); 7.36 (1H, д, *J* = 9.0, H Ar); 7.39–7.55 (3H, м, H Ar); 7.60–7.66 (2H, м, H Ar); 7.79–7.82 (2H, м, H Ar); 7.93 (1H, д, *J* = 8.2, H Ar); 7.95 (1H, д, *J* = 15.6, CH=CH); 7.99 (1H, с, α -CH пиран); 8.04 (1H, д. д, *J* = 8.0, *J* = 0.9, H Ar). Спектр ЯМР ¹³C (CDCl₃), δ , м. д.: 35.7 (CH); 115.9; 117.1 (CH); 121.1; 123.5 (CH); 125.1 (CH); 125.3 (CH); 126.4 (CH); 127.0 (CH); 127.1 (CH); 127.4 (CH); 128.7 (2CH); 129.3 (CH); 129.5 (CH); 129.7 (CH); 130.2 (CH); 131.2; 131.5; 131.8; 133.6 (CH); 134.4; 138.3 (CH); 146.5; 147.7; 148.5; 151.5 (α -CH пиран); 187.3 (C=O). Найдено, %: С 71.96; Н 3.87; N 2.88. C₂₈H₁₈ClNO₄. Вычислено, %: С 71.88; Н 3.88; N 2.99.

(E)-1-[8-(Адамантан-1-ил)-1H-бензо[f]хромен-2-ил]-3-(2-нитрофенил)проп-2-ен-1-он (3i). Выход 0.42 г (86%), желтые кристаллы, т. пл. 219–221 °С (DMFA). ИК спектр, ν , см⁻¹: 2899, 2845, 1645, 1605, 1591, 1568, 1520, 1472, 1443, 1395, 1342, 1327, 1240, 1209, 1180, 974, 804, 743. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆, 130 °С), δ , м. д. (*J*, Гц): 1.86 (6H, уш. с, CH₂ Ad); 1.99 (6H, уш. с, CH₂ Ad); 2.11 (3H, уш. с, CH Ad); 3.82 (2H, с, CH₂); 7.21 (1H, д, *J* = 8.7, H Ar); 7.51 (1H, д, *J* = 15.4, CH=CH); 7.63–7.86 (7H, м, H Ar, CH=CH); 7.99–8.05 (2H, м, H Ar); 8.30 (1H,

с, α -CH пиран). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆, 130 °С), δ , м. д.: 20.1 (CH₂); 29.1 (3CH Ad); 36.6 (C Ad); 37.0 (3CH₂ Ad); 43.4 (3CH₂ Ad); 112.7; 116.6; 117.1 (CH); 123.0 (CH); 123.9 (CH); 124.8 (CH); 125.6 (CH); 127.3 (CH); 129.1 (CH); 129.8 (CH); 130.4; 130.5; 131.0 (CH); 131.5; 133.0; 133.9 (CH); 136.0 (CH); 146.7; 148.4; 153.6 (α -CH пиран); 187.9 (C=O). Найдено, %: С 78.11; Н 5.99; N 2.74. C₃₂H₂₉NO₄. Вычислено, %: С 78.19; Н 5.95; N 2.85.

(1Z,4E)-1-[(4-Бромбензил)амино]-2-[(2-гидрокси-нафталин-1-ил)метил]-5-(3-нитрофенил)пента-1,4-диен-3-он (4a). Смесь 0.20 г (0.56 ммоль) хромена **3c** и 0.10 г (0.56 ммоль) *n*-бромбензиламина в 4 мл MeCN кипятят в течение 2 ч, охлаждают до комнатной температуры, выпавший осадок отфильтровывают и перекристаллизовывают из MeCN. Выход 0.12 г (40%), ярко-желтые кристаллы, т. пл. 167–168 °С. ИК спектр, ν , см⁻¹: 3375, 3300–2600, 1614, 1595, 1514, 1487, 1464, 1437, 1387, 1337, 1306, 1261, 1231, 1186, 1138, 1070, 1013, 997, 802, 777. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ , м. д. (*J*, Гц): 4.01 (2H, с, CH₂); 4.53 (2H, д, *J* = 5.7, CH₂N); 7.05 (2H, д, *J* = 8.3, C₆H₄Br); 7.09 (1H, д, *J* = 9.0, H Ar); 7.19–7.26 (2H, м, H Ar); 7.45 (2H, д, *J* = 8.3, C₆H₄Br); 7.56 (1H, д, *J* = 15.3, CH=); 7.61–7.66 (2H, м, H Ar); 7.71–7.75 (3H, м, H Ar, CH=); 8.07 (1H, д, *J* = 7.8, H Ar); 8.12–8.15 (3H, м, H Ar); 8.49 (1H, т, *J* = 1.7, H Ar); 10.62 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ , м. д.: 19.5 (CH₂); 51.5 (CH₂N); 112.6; 118.7 (CH); 119.1; 120.8; 122.6 (CH); 123.2 (CH); 123.9 (CH); 124.9 (CH); 126.4 (2CH); 128.1 (CH); 128.7 (CH); 129.3; 129.4 (2CH); 130.6 (CH); 131.9 (2CH); 134.1; 134.7 (CH); 136.3 (CH); 138.4; 139.0; 148.9; 151.7; 153.9 (CH); 184.2 (C=O). Найдено, %: С 63.99; Н 4.31; N 5.07. C₂₉H₂₃BrN₂O₄. Вычислено, %: С 64.10; Н 4.27; N 5.16.

1-(4-Бромбензил)-5-[(2-гидрокси-нафталин-1-ил)-метил]-2-(3-нитрофенил)-2,3-дигидропиридин-4(1H)-он (5a). Смесь 0.20 г (0.56 ммоль) хромена **3c** и 0.10 г (0.56 ммоль) *n*-бромбензиламина в 4 мл MeCN кипятят в течение 24 ч, выдерживают при –20 °С в течение 1 ч, выпавший осадок отфильтровывают и перекристаллизовывают из смеси DMFA–MeOH, 1:3. Выход 0.14 г (47%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 251–253 °С. ИК спектр, ν , см⁻¹: 3200–2500, 1618, 1524, 1504, 1487, 1435, 1396, 1337, 1250, 1213, 1074, 1009, 978, 814, 797, 745, 735, 689. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ , м. д. (*J*, Гц): 2.56 (1H, д. д, *J* = 16.5, *J* = 6.4, H-3); 2.86 (1H, д. д, *J* = 16.5, *J* = 7.0, H-3); 3.72 (2H, с, CH₂); 3.98 (1H, д, *J* = 15.6, CH₂N); 4.38 (1H, д, *J* = 15.6, CH₂N); 4.70 (1H, т, *J* = 6.7, H-2); 6.91 (2H, д, *J* = 8.2, C₆H₄Br); 7.13 (1H, д, *J* = 8.9, H Ar); 7.26 (1H, д. д. д, *J* = 8.0, *J* = 6.9, *J* = 1.2, H Ar); 7.32 (1H, с, H-6), 7.33 (2H, д, *J* = 8.2, C₆H₄Br); 7.38 (1H, д. д. д, *J* = 8.5, *J* = 6.9, *J* = 1.2, H Ar); 7.45 (1H, т, *J* = 8.0, H Ar); 7.56 (1H, д, *J* = 8.0, H Ar); 7.63 (1H, д, *J* = 8.7, H Ar); 7.75 (1H, д, *J* = 7.6, H Ar); 7.80 (1H, д, *J* = 8.5, H Ar); 7.93 (1H, т, *J* = 1.7, H Ar); 8.06 (1H, д. д, *J* = 8.0, *J* = 1.4, H Ar); 9.82 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ , м. д.: 21.9 (CH₂); 43.1 (3-CH₂); 56.5 (CH₂N); 59.4 (2-CH); 109.0; 118.6; 119.3 (CH); 121.3; 122.3 (CH); 122.9 (CH); 123.2 (CH); 123.6 (CH); 126.6 (CH); 128.1 (CH); 128.8 (CH); 129.0; 130.3 (2CH); 130.6

(CH); 131.9 (2CH); 133.6; 134.1 (CH); 136.6; 141.4; 148.4; 153.2; 154.0 (CH-6); 188.4 (C=O). Найдено, %: С 64.20; Н 4.30; N 5.03. C₂₉H₂₃BrN₂O₄. Вычислено, %: С 64.10; Н 4.27; N 5.16.

5-[(2-Гидроксинафталин-1-ил)метил]-2-(3-нитрофенил)-1-(4-фторбензил)-2,3-дигидропиридин-4(1H)-он (5b) получают аналогично методике получения соединения **5a** из 0.20 г (0.56 ммоль) хромена **3c** и 0.07 г (0.56 ммоль) *n*-фторбензиламина в 4 мл MeCN. Выход 0.17 г (63%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 244–246 °С (ДМФА–MeOH, 1:3). ИК спектр, ν , см⁻¹: 3200–2500, 1622, 1605, 1528, 1504, 1435, 1398, 1355, 1252, 1209, 1155, 1076, 982, 814, 737, 689. Спектр ЯМР ¹H (ДМСO-*d*₆), δ , м. д. (*J*, Гц): 2.56 (1H, д, *J* = 16.5, *J* = 6.4, H-3); 2.85 (1H, д, *J* = 16.5, *J* = 7.1, H-3); 3.71 (2H, с, CH₂); 3.99 (1H, д, *J* = 15.4, CH₂N); 4.38 (1H, д, *J* = 15.4, CH₂N); 4.70 (1H, т, *J* = 6.7, H-2); 6.94–7.01 (4H, м, C₆H₄F); 7.13 (1H, д, *J* = 8.9, H Ar); 7.26 (1H, д, д, *J* = 8.0, *J* = 6.9, *J* = 0.9, H Ar); 7.35 (1H, с, H-6); 7.39 (1H, д, д, *J* = 8.3, *J* = 6.9, *J* = 1.2, H Ar); 7.44 (1H, т, *J* = 7.9, H Ar); 7.56 (1H, уш. д, *J* = 7.8, H Ar); 7.63 (1H, д, *J* = 9.0, H Ar); 7.75 (1H, д, *J* = 7.4, H Ar); 7.81 (1H, д, *J* = 8.5, H Ar); 7.93 (1H, т, *J* = 1.8, H Ar); 8.05 (1H, д, д, *J* = 8.2, *J* = 2.3, *J* = 0.9, H Ar); 9.82 (1H, с, OH). Спектр ЯМР ¹³C (ДМСO-*d*₆), δ , м. д. (*J*, Гц): 21.9 (CH₂); 43.1 (CH₂); 56.4 (CH₂N); 59.4 (2-CH); 108.9; 115.8 (д, ²*J*_{CF} = 21.9, 2,6-CH Ar); 118.7; 119.3 (CH); 122.3 (CH); 122.9 (CH); 123.2 (CH); 123.6 (CH); 126.6 (CH); 128.1 (CH); 128.8 (CH); 129.0; 130.2 (д, ³*J*_{CF} = 8.6, 3,5-CH Ar); 130.6 (CH); 133.2 (д, ⁴*J*_{CF} = 1.9, CF); 133.6; 134.1 (CH); 141.4; 148.4; 153.2; 154.0 (CH-6); 162.1 (д, ¹*J*_{CF} = 242.2, C–F); 188.4 (C=O). Найдено, %: С 72.25; Н 4.75; N 5.74. C₂₉H₂₃FN₂O₄. Вычислено, %: С 72.19; Н 4.80; N 5.81.

Файл сопроводительных материалов, содержащий спектры ЯМР ¹H и ¹³C всех синтезированных соединений, доступен на сайте журнала <http://hgs.osi.lv>.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-03-01158.

Список литературы

- Zhou, P.; Hu, B.; Rao, K.; Li, L.; Yang, J.; Gao, C.; Wang, F.; Yu, F. *Synlett* **2018**, 519.
- Balbi, A.; Anzaldi, M.; Macciò, C.; Aiello, C.; Mazzei, M.; Gangemi, R.; Castagnola, P.; Miele, M.; Rosano, C.; Viale, M. *Eur. J. Med. Chem.* **2011**, *46*, 5293.
- Takeuchi, N.; Goto, K.; Sasaki, Y.; Fujita, T.; Okazaki, K.; Kamata, K.; Tobinaga, S. *Heterocycles* **1992**, *33*, 357.
- (a) Li, X.-Y.; He, B.-F.; Luo, H.-J.; Huang, N.-Y.; Deng, W.-Q. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2013**, *23*, 4617. (b) Al-Mousawi, S.; Abdel-Khalik, M. M.; El-Sherbiny, S.; John, E.; Elnagdi, M. H. *J. Heterocycl. Chem.* **2001**, *38*, 949.
- East, S. P.; Bamford, S.; Dietz, M. G. A.; Eickmeier, C.; Flegg, A.; Ferger, B.; Gemkow, M. J.; Heilker, R.; Hengerer, B.; Kotey, A.; Loke, P.; Schanzle, G.; Schubert, H.-D.; Scott, J.; Whittaker, M.; Williams, M.; Zawadzki, P.; Gerlach, K. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2010**, *20*, 4901.
- (a) Singh, P.; Sharma, P.; Bisetty, K.; Mahajan, M. P. *Tetrahedron* **2009**, *65*, 8478. (b) Takeuchi, N.; Handa, S.; Koyama, K.; Kamata, K.; Goto, K.; Tobinaga, S. *Chem. Pharm. Bull.* **1991**, *39*, 1655.

- (a) Singh, P.; Bisetty, K.; Mahajan, M. P. *S. Afr. J. Chem.* **2009**, *62*, 47. (b) Wolf, U. *Z. Naturforsch.* **1981**, *36b*, 383. (c) Abdel-Megid, M. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2010**, *46*, 316. [Химия гетероцикл. соединений **2010**, 405.] (d) Flitsch, W.; Hohenhorst, M. *Liebigs Ann. Chem.* **1988**, 275. (e) Bargagna, A.; Schenone, P.; Bondavalli, F.; Longobardi, M. *J. Heterocycl. Chem.* **1982**, *19*, 257.
- (a) Gaber, H. M.; Bagley, M. C.; Muhammad, Z. A.; Gomha, S. M. *RSC Adv.* **2017**, *7*, 14562. (b) Riyadh, S. M.; Abdelhamid, I. A.; Al-Matar, H. M.; Hilmy, N. M.; Elnagdi, M. H. *Heterocycles* **2008**, *75*, 1849. (c) Shawali, A. S. *ARKIVOC* **2012**, (i), 383. (d) Dar'in, D. V.; Lobanov, P. S. *Russ. Chem. Rev.* **2015**, *84*, 601. [Успехи химии **2015**, *84*, 601.] (e) Lue, P.; Greenhill, J. V. *Adv. Heterocycl. Chem.* **1997**, *67*, 207.
- (a) Aho, J. E.; Pihko, P. M.; Rissa, T. K. *Chem. Rev.* **2005**, *105*, 4406. (b) Pratap, R.; Ram, V. J. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 10476. (c) Costa, M.; Dias, T. A.; Brito, A.; Proenca, F. *Eur. J. Med. Chem.* **2016**, *123*, 487.
- (a) Blond, G.; Gulea, M.; Mamane, V. *Curr. Org. Chem.* **2016**, *20*, 2161. (b) Png, Z. M.; Zeng, H.; Ye, Q.; Xu, J. *Chem.–Asian J.* **2017**, *12*, 2142.
- (a) Sadek, K. U.; Mekheimer, R. A. H.; Abd-Elmonem, M.; Abdel-Hameed, A.; Elnagdi, M. H. *Tetrahedron: Asymmetry* **2017**, *28*, 1462. (b) Ferreira, S. B.; da Silva F. C.; Pinto, A. C.; Gonzaga, D. T. G.; Ferreira, V. F. *J. Heterocycl. Chem.* **2009**, *46*, 1080. (c) Barta, P.; Fülöp, F.; Szatmári, I. *Beilstein J. Org. Chem.* **2018**, *14*, 560. (d) Osipov, D. V.; Osyanin, V. A.; Klimochkin, Yu. N. *Russ. Chem. Rev.* **2017**, *86*, 625. [Успехи химии **2017**, *86*, 625.]
- (a) Osyanin, V. A.; Lukashenko, A. V.; Osipov, D. V.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2015**, *50*, 1528. [Химия гетероцикл. соединений **2014**, 1663.] (b) Lukashenko, A. V.; Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Klimochkin, Yu. N. *J. Org. Chem.* **2017**, *82*, 1517. (c) Lukashenko, A. V.; Osipov, D. V.; Osyanin, V. A.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, *53*, 1369. [Химия гетероцикл. соединений **2017**, *53*, 1369.] (d) Lukashenko, A. V.; Osyanin, V. A.; Osipov, D. V.; Klimochkin, Yu. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, *52*, 711. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, *52*, 711.] (e) 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.] (f) Osyanin, V. A.; Ivleva, E. A.; Klimochkin, Y. N. *Synth. Commun.* **2012**, *42*, 1832.
- (a) Frontier, A. J.; Collison, C. *Tetrahedron* **2005**, *61*, 7577. (b) Pellissier, H. *Tetrahedron* **2005**, *61*, 6479. (c) Shimada, N.; Stewart, C.; Tius, M. A. *Tetrahedron* **2011**, *67*, 5851. (d) Spencer III, W. T.; Vaidya, T.; Frontier, A. J. *Eur. J. Org. Chem.* **2013**, *18*, 3621. (e) Tius, M. A. *Chem. Soc. Rev.* **2014**, *43*, 2979. (f) Vinogradov, M. G.; Turova, O. V.; Zlotin, S. G. *Org. Biomol. Chem.* **2017**, *15*, 8245.
- Harmata, M.; Schreiner, P. R.; Lee, D. R.; Kirchoefer, P. L. *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 14328.
- (a) Denmark, S. E.; Habermas, K. L.; Hite, G. A. *Helv. Chim. Acta* **1988**, *71*, 168. (b) Xue, X.; Li, W.; Yin, Z.; Meng, X.; Li, Z. *Tetrahedron Lett.* **2015**, *56*, 5228.
- (a) Vdovenko, S. I.; Gerus, I. I.; Gorbunova, M. G. *J. Fluorine Chem.* **1997**, *82*, 167. (b) Vdovenko, S. I.; Gerus, I. I.; Kukhar, V. P. *J. Phys. Org. Chem.* **2007**, *20*, 190. (c) Rulev, A. Yu. *Russ. Chem. Rev.* **2011**, *80*, 197. [Успехи химии **2011**, *80*, 211.]
- (a) Theppawong, A.; Van de Walle, T.; Grootaert, C.; Bultinck, M.; Desmet, T.; Van Camp, J.; D'hooghe, M. *ChemistryOpen* **2018**, *7*, 381. (b) Rubinov, D. B.; Rubinova, I. L.; Lakhvich, F. A. *Russ. J. Org. Chem.* **2011**, *47*, 319. [Журн. орган. химии **2011**, *47*, 327.]