

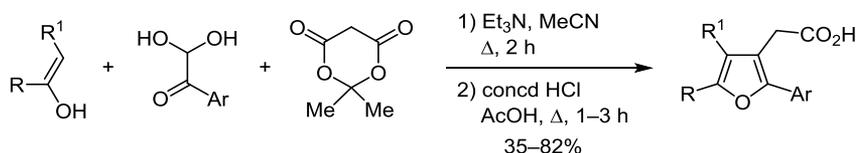
Синтез конденсированных фурилуксусных кислот на основе многокомпонентной конденсации гетероциклических енолов с арилглиоксалями и кислотой Мельдрума

Юрий О. Горбунов^{1*}, Борис В. Личицкий¹, Андрей Н. Комогорцев¹,
Виталий С. Митянов^{1,2}, Аркадий А. Дудинов¹, Михаил М. Краюшкин¹

¹ Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН,
Ленинский пр., 47, Москва 119991, Россия; e-mail: goryur@mail.ru

² Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева,
Миусская пл., 9, Москва 125047, Россия; e-mail: mityanovvs@yandex.ru

Поступило 23.04.2018
Принято 22.06.2018



Разработан удобный метод синтеза ранее неизвестных замещенных 2-(2-арил-4-оксо-4*H*-фууро[3,2-*c*]хромен-3-ил)уксусных кислот, 2-(2-арил-6-метил-4-оксо-4*H*-фууро[3,2-*c*]пиран-3-ил)уксусных кислот и 2-(2-арил-6-метил-4-оксо-4,5-дигидрофууро[3,2-*c*]пирдин-3-ил)уксусных кислот, основанный на многокомпонентной конденсации гетероциклических енолов с арилглиоксалями и кислотой Мельдрума.

Ключевые слова: арилглиоксали, гетероциклические енолы, 4-гидроксикумарин, 4-гидрокси-6-метил-2*H*-пиран-2-он, 4-гидрокси-6-метилпирдин-2(1*H*)-он, кислота Мельдрума, многокомпонентная конденсация.

Производные фурилуксусных кислот обладают широким спектром биологической активности. Например, соединения этого класса могут быть использованы в качестве противомикробных средств.¹ В литературе предложено применение конденсированных фурилуксусных кислот для лечения атеросклероза² и диабета.³ В связи с этим актуальной задачей является поиск новых методов синтеза гетероциклических систем, содержащих фрагмент фурилуксусной кислоты.

Эффективным инструментом для решения поставленной задачи является использование многокомпонентных реакций, несомненным преимуществом которых является возможность получать большое число органических и гибридных молекулярных систем,⁴ избежав сложностей многостадийных синтезов.^{5,6}

Ранее нами были изучены многокомпонентные реакции с участием арилглиоксали и различных енолов.^{7,8} В результате проведенного исследования были предложены удобные и эффективные методы синтеза конденсированных систем **1** и **2**, содержащих фурановый фрагмент (рис. 1).

Мы предположили, что использование кислоты Мельдрума в качестве одного из компонентов в иссле-

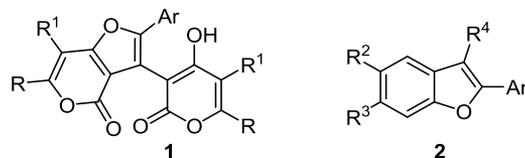


Рисунок 1. Конденсированные гетероциклы, содержащие фурановый фрагмент.

дуемых реакций позволит синтезировать конденсированные фурилуксусные кислоты, опираясь на описанные в литературе процессы с участием енолов **3**, альдегидов **4** и кислоты Мельдрума **5**, в результате которых образуются конденсированные дигидропираноны **6**,^{9–12} трансформирующиеся затем в фурилуксусные кислоты (схема 1). В качестве енолов в рассматриваемых конденсациях могут быть использованы

Схема 1

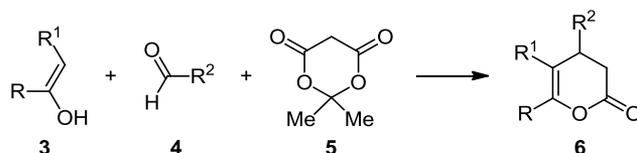
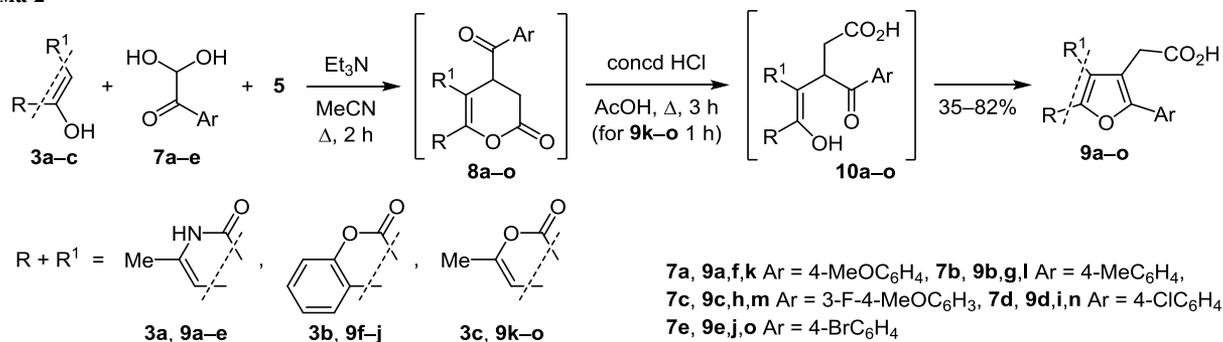


Схема 2



циклические β-дикетоны, а также гидроксильные производные пиридин-2-онов и кумаринов.

В развитие этой идеи предполагалось использовать в качестве альдегидного компонента арилглиоксали **7**, что первоначально должно приводить к образованию дигидропиранонов **8**, содержащих ароильный заместитель в положении 4 (схема 2). Ранее нами было показано, что дигидропираноновый цикл в соединениях **6** является достаточно лабильным и легко раскрывается под действием различных нуклеофилов,^{9,12} что позволяло также рассчитывать на рециклизацию дигидропиранонов **8** с образованием конденсированных фурилуксусных кислот **9**.

Целью настоящего исследования является разработка общего метода синтеза конденсированных производных фурилуксусных кислот **9a-o** на основе многокомпонентной конденсации гетероциклических енолов **3a-c** с арилглиоксалими **7a-e** и кислотой Мельдрума **5**.

Первоначально в качестве модельного енола был использован 4-гидрокси-6-метилпиридин-2(1*H*)-он **3a**. Нами было продемонстрировано, что нагревание его с арилглиоксалими **7a-e** и кислотой Мельдрума **5** в ацетонитриле в присутствии триэтиламина и последующая обработка смесью уксусной и соляной кислот (2:1) приводит к целевым продуктам **9a-e** с выходами 53–64%.

Следует отметить, что исследуемая реакция енолов **3**, арилглиоксалими **7** и кислоты Мельдрума **5** протекает в две стадии, причем первая аналогична изученной нами ранее конденсации⁹ с участием пиридин-2-она **3a**, ароматических альдегидов **4** и кислоты Мельдрума **5**. Как и в случае ароматических альдегидов, взаимодействие компонентов протекает в ацетонитриле с использованием триэтиламина в качестве основания, в результате чего образуются дигидропираноны **8**. Однако отличительной особенностью исследуемого взаимодействия является присутствие дополнительной функциональной группы (ароильного фрагмента), наличие которой приводит к протеканию необратимой рециклизации интермедиатов **10** под действием смеси кислот с образованием конечных продуктов **9**.

Изучаемая реакция была проведена в одну стадию, промежуточные пираноны **8** подвергались обработке смесью кислот без предварительной очистки. Несомненным преимуществом такого подхода является более

высокий суммарный выход конечных продуктов, так как в этом случае исключаются потери на стадии выделения и очистки дигидропиранонов **8**.

Условия получения фурилуксусных кислот **9a-e** были использованы также в реакциях кумарина **3b** и пирана **3c**. Было показано, что многокомпонентная реакция 4-гидроксикумарина **3b** с арилглиоксалими **7a-e** и кислотой Мельдрума **5** с хорошими выходами (68–82%) приводит к образованию фурилуксусных кислот **9f-j** (схема 2). Аналогичная конденсация с участием 4-гидрокси-6-метил-2*H*-пиран-2-она **3c** позволяет синтезировать продукты **9k-o** с выходами 35–51%. Отметим, что при использовании в качестве исходного енола пиран-2-она **3c** длительность второй стадии следует сокращать до 1 ч, так как в этом случае пирановый цикл претерпевает медленный кислотный гидролиз, что приводит к снижению выходов конечных фурилуксусных кислот.

Синтезированные кислоты **9a-o** являются твердыми веществами, строение которых было подтверждено методами спектроскопии ЯМР и масс-спектрометрии высокого разрешения. В их спектрах ЯМР ¹H присутствуют характерные сигналы протонов метилового фрагмента в области 3.82–3.98 м. д.

Таким образом, нами разработан простой и эффективный метод синтеза производных фурилуксусных кислот, основанный на многокомпонентной конденсации гетероциклических енолов с арилглиоксалими и кислотой Мельдрума. Показано, что оптимальным вариантом проведения реакции является одностадийный метод, исключаящий выделение промежуточных дигидропиранонов.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ¹H и ¹³C зарегистрированы на спектрометре Bruker AM-300 (300 и 75 МГц соответственно) в ДМСО-*d*₆. Внутренний стандарт – сигналы растворителя (2.52 м. д. для ядер ¹H, 39.5 м. д. для ядер ¹³C). Масс-спектры высокого разрешения зарегистрированы на приборе Bruker micrOTOF-Q, ионизация электрораспылением. Температуры плавления определены на столике Кофлера.

Арилглиоксали **7a-e** получены по описанной в литературе методике из соответствующих ацетофенонов.^{13–15}

Синтез соединений 9a-o (общая методика). Смесь 3 ммоль енола **3a-c**, 3 ммоль арилглиоксали **7a-e**, 0.58 г

(4 ммоль) кислоты Мельдрума **5** и 0.45 г (4.5 ммоль) Et₃N в 7 мл MeCN кипятят в течение 2 ч. Затем реакционную смесь упаривают, к остатку добавляют 4 мл AcOH и 2 мл конц. HCl и кипятят в течение 3 ч (в случае 6-метил-2H-пиран-2-она **3c** – 1 ч). Затем смесь охлаждают, выпавший осадок отфильтровывают и промывают на фильтре 70% водной AcOH. Для удаления следов AcOH полученный продукт выдерживают в 50 мл H₂O при комнатной температуре в течение 24 ч.

2-[6-Метил-2-(4-метоксифенил)-4-оксо-4,5-дигидрофуоро[3,2-с]пиридин-3-ил]уксусная кислота (9a). Выход 0.60 г (64%), белый порошок, т. пл. >300 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.28 (3H, с, CH₃); 3.82 (3H, с, OCH₃); 3.90 (2H, с, CH₂); 6.51 (1H, с, H-7); 7.09 (2H, д, J = 8.9, H Ar); 7.58 (2H, д, J = 8.9, H Ar); 11.51 (1H, уш. с, NH); 12.42 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.8; 30.2; 55.3; 93.6; 110.3; 114.0; 114.5; 122.0; 127.4; 142.1; 149.5; 159.3; 160.4; 171.6. Найдено, m/z: 314.1029 [M+H]⁺. C₁₇H₁₆NO₅. Вычислено, m/z: 314.1034.

2-[6-Метил-2-(4-метилфенил)-4-оксо-4,5-дигидрофуоро[3,2-с]пиридин-3-ил]уксусная кислота (9b). Выход 0.53 г (59%), белый порошок, т. пл. >300 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.28 (3H, с, CH₃); 2.36 (3H, с, CH₃); 3.94 (2H, с, CH₂); 6.51 (1H, с, H-7); 7.32 (2H, д, J = 8.0, H Ar); 7.53 (2H, д, J = 8.0, H Ar); 11.52 (1H, уш. с, NH); 12.49 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.8; 20.9; 30.2; 93.5; 111.3; 114.0; 125.8; 126.8; 129.6; 137.9; 142.4; 149.5; 159.4; 160.4; 171.5. Найдено, m/z: 298.1080 [M+H]⁺. C₁₇H₁₆NO₄. Вычислено, m/z: 298.1073.

2-[6-Метил-2-(4-метокси-3-фторфенил)-4-оксо-4,5-дигидрофуоро[3,2-с]пиридин-3-ил]уксусная кислота (9c). Выход 0.60 г (55%), белый порошок, т. пл. 171–173 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д.: 2.28 (3H, с, CH₃); 3.90 (3H, с, OCH₃); 3.95 (2H, с, CH₂); 6.50 (1H, с, H-7); 7.27–7.36 (1H, м, H Ar); 7.38–7.48 (2H, м, H Ar); 11.53 (1H, уш. с, NH); 12.40 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 18.7; 29.9; 56.0; 93.4; 111.3; 113.2 (д, J_{CF} = 20.0); 114.0 (д, J_{CF} = 36.4); 122.4; 142.4; 147.2 (д, J_{CF} = 10.2); 148.1; 149.7; 153.0; 159.3; 160.2; 171.4. Найдено, m/z: 332.0931 [M+H]⁺. C₁₇H₁₅FNO₅. Вычислено, m/z: 332.0928.

2-[6-Метил-2-(4-хлорфенил)-4-оксо-4,5-дигидрофуоро[3,2-с]пиридин-3-ил]уксусная кислота (9d). Выход 0.51 г (54%), белый порошок, т. пл. 192–195 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.29 (3H, с, CH₃); 3.98 (2H, с, CH₂); 6.49 (1H, с, H-7); 7.56 (2H, д, J = 8.4, H Ar); 7.66 (2H, д, J = 8.4, H Ar); 11.46 (1H, с, уш. NH); 12.45 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.8; 30.0; 93.4; 112.8; 113.9; 127.3; 128.4; 129.1; 132.8; 142.9; 148.0; 159.7; 160.3; 171.3. Найдено, m/z: 318.0530 [M+H]⁺. C₁₆H₁₃ClNO₄. Вычислено, m/z: 318.0533.

2-[2-(4-Бромфенил)-6-метил-4-оксо-4,5-дигидрофуоро[3,2-с]пиридин-3-ил]уксусная кислота (9e). Выход 0.58 г (53%), белый порошок, т. пл. >300 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.28 (3H, с, CH₃); 3.98 (2H, с, CH₂); 6.51 (1H, с, H-7); 7.59 (2H, д, J = 8.7, H Ar); 7.71 (2H, д, J = 8.7, H Ar); 11.53 (1H, уш. с, NH); 12.45 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 18.8; 30.0; 93.3; 112.9; 113.9; 121.4; 127.5; 128.7; 131.9; 142.9; 148.0;

159.7; 160.2; 171.3. Найдено, m/z: 362.0017 [M+H]⁺. C₁₆H₁₃BrNO₄. Вычислено, m/z: 362.0022.

2-[2-(4-Метоксифенил)-4-оксо-4H-фуоро[3,2-с]хромен-3-ил]уксусная кислота (9f). Выход 0.82 г (78%), белый порошок, т. пл. 209–210 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 3.85 (3H, с, OCH₃); 3.91 (2H, с, CH₂); 7.13 (2H, д, J = 8.8, H Ar); 7.43–7.50 (1H, м, H Ar); 7.53 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 7.60–7.66 (1H, м, H Ar); 7.72 (2H, д, J = 8.8, H Ar); 8.01 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 12.76 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 29.6; 55.3; 111.6; 112.0; 114.6; 116.9; 120.7; 121.0; 124.8; 127.0; 127.9; 130.9; 151.8; 152.6; 154.8; 157.3; 159.9; 171.2. Найдено, m/z: 351.0856 [M+H]⁺. C₂₀H₁₅O₆. Вычислено, m/z: 351.0863.

2-[2-(4-Метилфенил)-4-оксо-4H-фуоро[3,2-с]хромен-3-ил]уксусная кислота (9g). Выход 0.82 г (82%), белый порошок, т. пл. 220–221 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.38 (3H, с, CH₃); 3.93 (2H, с, CH₂); 7.36 (2H, д, J = 7.8, H Ar); 7.42–7.50 (1H, м, H Ar); 7.53 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 7.59–7.68 (3H, м, H Ar); 8.00 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 12.70 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 20.9; 29.6; 111.4; 111.9; 112.6; 116.9; 120.8; 125.8; 126.1; 129.6; 131.0; 138.9; 151.9; 152.5; 155.0; 157.3; 171.1. Найдено, m/z: 335.0901 [M+H]⁺. C₂₀H₁₅O₅. Вычислено, m/z: 335.0914.

2-[2-(4-Метокси-3-фторфенил)-4-оксо-4H-фуоро[3,2-с]хромен-3-ил]уксусная кислота (9h). Выход 0.75 г (68%), белый порошок, т. пл. 231–232 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 3.85–3.96 (5H, м, CH₂, OCH₃); 7.30–7.38 (1H, м, H Ar); 7.42–7.67 (5H, м, H Ar); 8.03 (1H, д, J = 7.7, H Ar); 12.43 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 29.5; 56.1; 111.4; 111.8; 112.6; 113.7 (J_{CF} = 20.6); 114.3; 116.8; 120.9; 121.3 (J_{CF} = 7.9); 122.9; 124.8; 131.0; 147.8 (J_{CF} = 9.7); 149.8; 151.9; 153.0; 155.0; 157.2; 171.1. Найдено, m/z: 369.0764 [M+H]⁺. C₂₀H₁₄FO₆. Вычислено, m/z: 369.0769.

2-[4-Оксо-2-(4-хлорфенил)-4H-фуоро[3,2-с]хромен-3-ил]уксусная кислота (9i). Выход 0.81 г (76%), белый порошок, т. пл. 237–238 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 3.96 (2H, с, CH₂); 7.44–7.65 (5H, м, H Ar); 7.79 (2H, д, J = 8.3, H Ar); 8.02 (1H, д, J = 7.8, H Ar); 12.69 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 29.6; 111.4; 111.8; 113.9; 116.9; 120.9; 124.9; 127.3; 127.8; 129.1; 131.2; 133.8; 151.0; 152.0; 155.4; 157.2; 170.9. Найдено, m/z: 355.0367 [M+H]⁺. C₁₉H₁₂ClO₅. Вычислено, m/z: 355.0368.

2-[2-(4-Бромфенил)-4-оксо-4H-фуоро[3,2-с]хромен-3-ил]уксусная кислота (9j). Выход 0.83 г (69%), белый порошок, т. пл. 235–236 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 3.98 (2H, с, CH₂); 7.45–7.51 (1H, м, H Ar); 7.56 (1H, д, J = 8.3, H Ar); 7.63–7.81 (5H, м, H Ar); 8.05 (1H, д, J = 7.7, H Ar); 12.73 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д.: 29.6; 111.4; 111.7; 114.0; 116.9; 120.8; 122.4; 124.8; 127.6; 128.0; 131.2; 132.0; 151.1; 152.0; 155.4; 157.1; 170.8. Найдено, m/z: 398.9858 [M+H]⁺. C₁₉H₁₂BrO₅. Вычислено, m/z: 398.9862.

2-[6-Метил-2-(4-метоксифенил)-4-оксо-4H-фуоро[3,2-с]пиран-3-ил]уксусная кислота (9k). Выход 0.44 г (47%), белый порошок, т. пл. 213–214 °С. Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.33 (3H, с, CH₃); 3.83 (5H, с, CH₂, OCH₃); 6.90 (1H, с, H-7); 7.10 (2H, д, J = 8.8, H Ar); 7.58

(2H, д, $J = 8.8$, H Ar); 12.60 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.6; 29.6; 55.3; 95.5; 109.2; 110.4; 114.6; 121.2; 127.7; 150.9; 159.0; 159.7; 159.9; 160.1; 171.3. Найдено, m/z : 315.0863 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{17}\text{H}_{15}\text{O}_6$. Вычислено, m/z : 315.0863.

2-[6-Метил-2-(4-метилфенил)-4-оксо-4H-фууро[3,2-с]-пиран-3-ил]уксусная кислота (9l). Выход 0.37 г (41%), белый порошок, т. пл. 217–218 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.34 (3H, с, CH_3); 2.37 (3H, с, CH_3); 3.85 (2H, с, CH_2); 6.92 (1H, с, H-7); 7.35 (2H, д, $J = 7.9$, H Ar); 7.54 (2H, д, $J = 7.9$, H Ar); 12.59 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.5; 20.8; 29.6; 95.4; 109.1; 111.3; 125.8; 125.9; 129.6; 138.5; 150.8; 158.9; 160.0; 160.2; 171.1. Найдено, m/z : 299.0917 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{17}\text{H}_{15}\text{O}_5$. Вычислено, m/z : 299.0914.

2-[6-Метил-2-(4-метокси-3-фторфенил)-4-оксо-4H-фууро[3,2-с]пиран-3-ил]уксусная кислота (9m). Выход 0.51 г (51%), белый порошок, т. пл. 221–222 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.34 (3H, с, CH_3); 3.86 (2H, с, CH_2); 3.91 (3H, с, OCH_3); 6.89 (1H, с, H-7); 7.29–7.37 (1H, м, H Ar); 7.40–7.51 (2H, м, H Ar); 12.40 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 19.5; 29.4; 56.0; 95.3; 109.0; 111.4; 113.5 (д, $J_{\text{CF}} = 20.2$); 114.3; 121.4 (д, $J_{\text{CF}} = 7.5$); 122.8; 147.5 (д, $J_{\text{CF}} = 10.5$); 149.6 (д, $J_{\text{CF}} = 16.3$); 153.0; 158.8; 160.0; 160.4; 171.1. Найдено, m/z : 333.0776 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{17}\text{H}_{14}\text{FO}_6$. Вычислено, m/z : 333.0774.

2-[6-Метил-2-(4-хлорфенил)-4-оксо-4H-фууро[3,2-с]-пиран-3-ил]уксусная кислота (9n). Выход 0.39 г (41%), белый порошок, т. пл. 216–217 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.34 (3H, с, CH_3); 3.89 (2H, с, CH_2); 6.93 (1H, с, H-7); 7.60 (2H, д, $J = 8.4$, H Ar); 7.67 (2H, д, $J = 8.4$, H Ar); 12.49 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.6; 29.6; 95.4; 109.2; 112.8; 127.5; 127.6; 129.1; 133.4; 149.4; 158.8; 160.4; 160.8; 171.0. Найдено, m/z : 319.0376 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{ClO}_5$. Вычислено, m/z : 319.0367.

2-[2-(4-Бромфенил)-6-метил-4-оксо-4H-фууро[3,2-с]-пиран-3-ил]уксусная кислота (9o). Выход 0.38 г (35%), белый порошок, т. пл. 211–212 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.34 (3H, с, CH_3); 3.89 (2H, с, CH_2); 6.92 (1H, с, H-7); 7.60 (2H, д, $J = 8.4$, H Ar); 7.74 (2H, д, $J = 8.4$, H Ar); 12.50 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: 19.7; 29.6; 95.4; 109.2; 112.9; 122.1; 127.8; 127.9; 132.1; 149.5; 158.8; 160.4; 160.8; 170.9. Найдено, m/z : 362.9860 $[\text{M}+\text{H}]^+$. $\text{C}_{16}\text{H}_{12}\text{BrO}_5$. Вычислено, m/z : 362.9862.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 14-50-00126).

Список литературы

- Hackl, M. W.; Lakemeyer, M.; Dahmen, M.; Glaser, M.; Pahl, A.; Lorenz-Baath, K.; Menzel, T.; Sievers, S.; Böttcher, T.; Antes, I.; Waldmann, H.; Sieber, S. A. *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 8475.
- Filzen, G. F.; Bratton, L.; Cheng, X.-M.; Erasga, N.; Geyer, A.; Lee, C.; Lu, G.; Pulaski, J.; Sorenson, R. J.; Unangst, P. C.; Trivedi, B. K.; Xu, X. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2007**, *17*, 3630.
- Negoro, N.; Sasaki, S.; Mikami, S.; Ito, M.; Tsujihata, Y.; Ito, R.; Suzuki, M.; Takeuchi, K.; Suzuki, N.; Miyazaki, J.; Santou, T.; Odani, T.; Kanzaki, N.; Funami, M.; Morohashi, A.; Nonaka, M.; Matsunaga, S.; Yasuma, T.; Momose, Y. *J. Med. Chem.* **2012**, *55*, 3960.
- Ananikov, V. P.; Khokhlova, E. A.; Egorov, M. P.; Sakharov, A. M.; Zlotin, S. G.; Kucherov, A. V.; Kustov, L. M.; Gening, M. L.; Nifantiev, N. E. *Mendeleev Commun.* **2015**, *25*, 75.
- Ruijter, E.; Scheffelaar, R.; Orru, R. V. A. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2011**, *50*, 6234.
- Rotstein, B. H.; Zaretsky, S.; Rai, V.; Yudin, A. K. *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 8323.
- Gorbunov, Yu. O.; Mityanov, V. S.; Melekhina, V. G.; Krayushkin, M. M. *Rus. Chem. Bull., Int. Ed.* **2018**, *67*, 304. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2018**, 304.]
- Gorbunov, Yu. O.; Komogortsev, A. N.; Mityanov, V. S.; Lichitskii, B. V.; Dudinov, A. A.; Lyssenko, K. A.; Krayushkin, M. M. *Rus. Chem. Bull., Int. Ed.* **2018**, *67*, 504. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2018**, 504.]
- Lichitskii, B. V.; Osipov, A. O.; Komogortsev, A. N.; Dudinov, A. A.; Krayushkin, M. M. *Rus. Chem. Bull., Int. Ed.* **2014**, *63*, 457. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2014**, 457.]
- Abdolmohammadi, S.; Ghiasi, R.; Ahmadzadeh-Vatani, S. Z. *Naturforsch., B: J. Chem. Sci.* **2016**, *71*(7b), 777.
- Yavari, I.; Sabbaghan, M.; Hossaini, Z. *Synlett* **2008**, 1153.
- Lichitsky, B. V.; Shorunov, S. V.; Osipov, A. O.; Komogortsev, A. N.; Dudinov, A. A.; Krayushkin, M. M. *Rus. Chem. Bull., Int. Ed.* **2017**, *66*, 886. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2017**, 886.]
- Wang, P.; Tao, W.-J.; Sun, X.-L.; Liao, S.; Tang, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2013**, *135*, 16849.
- Kutsunugi, Y.; Kawai, S.; Nakashima, T.; Kawai, T. *New J. Chem.* **2009**, *33*, 1368.
- Tafelska-Kaczmarek, A.; Prewysz-Kwinto, A.; Skowerski, K.; Pietrasiak, K.; Kozakiewicz, A.; Zaidlewicz, M. *Tetrahedron: Asymmetry* **2010**, *21*, 2244.