

УДК 547.743.1

СИНТЕЗ 2-АРИЛПИРРОЛИДИНОВ НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ 3-АРИЛИДЕН-1-ПИРРОЛИНОВ С ФЕНОЛАМИ

© 2018 г. А. В. Смолочкин*, А. С. Меляшова, А. С. Газизов, А. Р. Бурилов, М. А. Пудовик

Институт органической и физической химии имени А.Е. Арбузова, Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», ул. Академика Арбузова 8, Казань, 420088 Россия
*e-mail: smolobochkin@iopc.ru

Поступило в Редакцию 7 июня 2018 г.

Взаимодействием 3-арилиден-1-пирролинов с фенолами получены 2-арилпирролидины. Предложенный метод позволяет получать пирролидины, содержащие фенольный фрагмент во втором положении, с высокими выходами и в мягких условиях.

Ключевые слова: 3-арилиден-1-пирролин, фенолы, 2-арилпирролидины

DOI: 10.1134/S0044460X18090263

Важную роль в органическом синтезе играют методы создания новых углерод-углеродных связей. Одним из перспективных методов формирования углерод-углеродной связи являются реакции 1-пирролинов с различными нуклеофилами, приводящие к 2-замещенным пирролидинам. Следует отметить, что многие известные биологически активные соединения имеют в своем составе пирролидиновый цикл с заместителем у α -атома углерода [1–3].

Известно, что 1-пирролины, являющиеся сильными электрофилами, вступают в реакции с цианидом калия [4], диэтиловым эфиром фосфористой кислоты [5, 6] и металлорганическими соединениями [7–10]. 1-Пирролины легко вступают в реакцию Уги, которая широко используется в препаративной практике [11–14]. Следует упомянуть и реакцию 1-пирролинов с ароматическими нуклеофилами [15, 16], приводящую к образованию производных пирролидина.

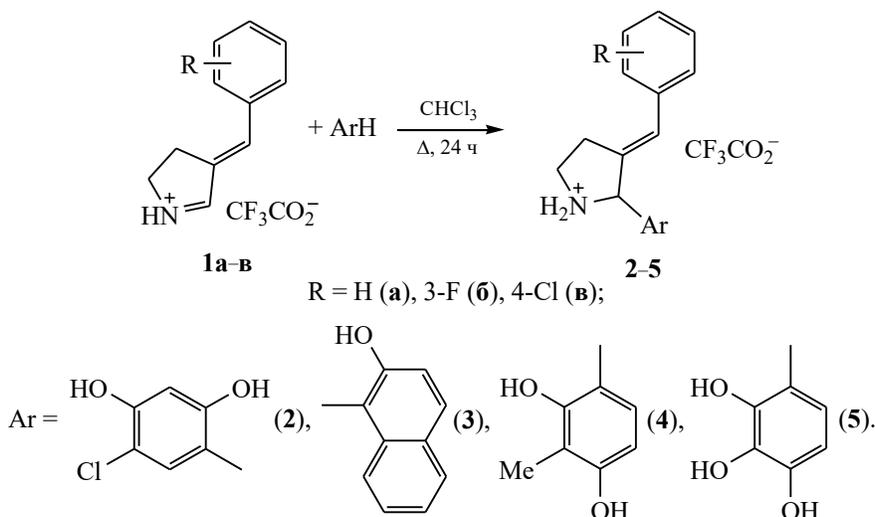
При рассмотрении реакций 1-пирролинов необходимо отметить следующее. Во-первых, синтез этих соединений осуществляется в несколько стадий с использованием *трет*-бутилгипохлорита и метилата натрия в метаноле [17, 18], выход продуктов реакции при этом весьма умеренный. Во-вторых, подавляющее большинство 1-пирролинов представляют собой маслообразные соединения,

нестабильные уже при комнатной температуре [17, 18]. Сочетание этих факторов затрудняет широкое применение 1-пирролинов в качестве эффективных электрофилов.

Ранее был предложен новый метод синтеза 3-арилиден-1-пирролинов [19] на основе внутримолекулярной циклизации N-(4,4-диэтоксипентил)иминов по типу реакции Манниха с последующей необычной [1,3]-сигматропной перегруппировкой, сопровождающейся миграцией арильного фрагмента. Получаемые при этом соединения представляют собой твердые вещества, стабильные при комнатной температуре в течение неограниченно долгого времени, и, таким образом, являются весьма удобными исходными соединениями для синтеза производных пирролидина. Кроме того, наличие экзоциклической кратной связи открывает дополнительные возможности модификации этих соединений. В то же время 3-арилиден-1-пирролины представляют собой достаточно мало изученный класс соединений, и их реакции с C-нуклеофилами сравнительно немногочисленны [15, 16].

Учитывая все вышесказанное, нами изучена возможность использования этих соединений в качестве электрофилов в реакциях с ароматическими нуклеофилами. В качестве таковых были выбраны фенолы, обладающие высокой реакционной способностью в реакциях электрофильного замещения.

Схема 1.



На первом этапе исследования на примере 3-арилиден-1-пирролина **1a** и 4-хлоррезорцина нами было изучено влияние условий на протекание этой реакции (температура, растворитель, время). Наиболее оптимальным оказалось кипячение реагентов в течение 72 ч в хлороформе, выход пирролидина **2a** при этом составил 72%. Дальнейшее увеличение времени существенного влияния на выход продукта реакции не оказало (схема 1).

На следующем этапе мы изучили влияние структуры фенола и заместителя в арильном фрагменте 3-арилиден-1-пирролинов на протекание реакции. Для этого полученные 3-арилиден-1-пирролины **1b** и **1v** были вовлечены в реакцию с 4-хлоррезорцином и 2-нафтолом. Реакцию проводили при кипячении в хлороформе. Продуктами реакции оказались соответствующие 2-арилпирролидины **2b** и **3a, v**, выход которых составил 18–62%. Низкий выход соединения **2b**, вероятно, объясняется низкой нуклеофильностью 4-хлоррезорцина.

Представлялось важным изучить реакцию 1-пирролинов **1b** и **1v** с 2-метилрезорцином и пирогаллолом. Мы предполагали, что наличие двух реакционноспособных положений в молекуле фенола позволит получить соединение, содержащее два пирролидиновых цикла [20–24]. Однако эта реакция привела к образованию 2-арилпирролидинов **4b, v** и **5b, v**, содержащих только одно гетероциклическое кольцо.

Таким образом, 3-арилиден-1-пирролины могут служить удобными исходными соединениями для синтеза производных 3-арилиден-2-арилпирролидина.

Общая методика синтеза 2-арилпирролидинов 2–5. Смесь 5 мл безводного хлороформа, 1-пирролина (1.11 ммоль) и фенола (1.11 ммоль) кипятили 24 ч. Образующийся белый осадок отфильтровывали, промывали 5 мл диэтилового эфира и сушили в вакууме (10 мм рт. ст.).

(E)-2-(5-Хлор-2,4-дигидроксифенил)-3-(4-хлорбензилиден)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (2b). Выход 49%, т. пл. 200°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 1582, 2756, 2976, 3431. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д.: 2.97–3.03 м (1H, CH_2), 3.04–3.10 м (1H, CH_2), 3.37–3.42 м (1H, CH_2), 3.44–3.50 м (1H, CH_2), 5.40 с (1H, CH), 6.14 с (1H, CH), 6.65 с (1H, CH_{Ar}), 7.24 с (1H, CH_{Ar}), 7.39 д (2H, CH_{Ar} , $^3J_{\text{HH}}$ 8.4 Гц), 7.43 д (2H, CH_{Ar} , $^3J_{\text{HH}}$ 8.5 Гц), 8.61 уш. с (1H, OH), 9.64 уш. с (1H, OH), 10.43 уш. с (2H, NH_2^+). Спектр ЯМР ^{13}C (ДМСО- d_6), δ_{C} , м. д.: 29.36, 44.71, 62.62, 104.18, 110.49, 113.90, 117.84 к ($^1J_{\text{CF}}$ 301.9 Гц), 123.49, 129.03, 130.48, 131.01, 132.25, 135.60, 139.98, 155.19, 156.10, 158.33 к ($^2J_{\text{CF}}$ 31.4 Гц). Масс-спектр (ESI-TOF), m/z : 336 [$M - \text{CF}_3\text{CO}_2^-$] $^+$. Найдено, %: C 50.73; H 3.80; Cl 15.65; N 2.95. $\text{C}_{19}\text{H}_{16}\text{Cl}_2\text{F}_3\text{NO}_4$. Вычислено, %: C 50.69; H 3.58; Cl 15.75; N 3.11.

(E)-3-Бензилиден-2-(2-гидроксинафт-1-ил)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (3a). Выход 31%, т. пл. 163–164°C. ИК спектр, ν , см^{-1} : 1584, 2638, 2736, 3026, 3068. Спектр ЯМР ^1H (ДМСО- d_6), δ , м. д.: 3.13–3.26 м (2H, CH_2), 3.47–3.54 м (1H, CH_2), 3.75–3.83 м (1H, CH_2), 5.80 с (1H, CH), 6.19 с (1H, CH), 7.20–7.26 м (3H, CH_{Ar}), 7.28 д (1H, CH_{Ar} , $^3J_{\text{HH}}$ 8.9 Гц), 7.30–7.36 м (2H, CH_{Ar}), 7.40 т (1H,

CH_{Ar}, ³J_{HH} 7.5 Гц), 7.58 т (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 7.8 Гц), 7.92 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.2 Гц), 7.94 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.8 Гц), 8.07 уш. с (1H, CH_{Ar}). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 29.83, 45.38, 60.29, 112.46, 118.75, 121.61, 122.19, 122.22, 123.59, 127.46, 127.89, 128.53, 129.00, 129.32, 131.88, 133.57, 136.87, 140.27, 154.73. Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 302 [*M* – CF₃CO₂[–] + H]⁺. Найдено, %: С 66.67; Н 5.02; N 3.45. C₂₃H₂₀F₃NO₃. Вычислено, %: С 66.50; Н 4.85; N 3.37.

(E)-3-(4-Хлорбензилиден)-2-(2-гидроксиафт-1-ил)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (3в). Выход 62%, т. пл. 160°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1585, 1626, 2644, 2741, 3070. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ, м. д.: 3.11–3.24 м (2H, CH₂), 3.51–3.58 м (1H, CH₂), 3.74–3.84 м (1H, CH₂), 5.81 с (1H, CH), 6.21 с (1H, CH), 7.26–7.30 м (3H, CH_{Ar}), 7.37 д (2H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.7 Гц), 7.38–7.43 м (1H, CH_{Ar}), 7.55–7.61 м (1H, CH_{Ar}), 7.92 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.3 Гц), 7.95 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.6 Гц), 8.06 уш. с (1H, CH_{Ar}), 9.85 уш. с (1H, OH), 10.89 уш. с (2H, NH₂⁺). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 29.79, 45.37, 60.21, 112.24, 114.61, 118.70, 120.38, 122.20, 123.63, 127.92, 128.96, 129.32, 130.26, 131.92, 131.99, 135.79, 138.79, 141.21, 154.65. Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 336 [*M* – CF₃CO₂[–]]⁺. Найдено, %: С 61.57; Н 4.01; Cl 8.05; N 2.89. C₂₃H₁₉ClF₃NO₃. Вычислено, %: С 61.41; Н 4.26; Cl 7.88; N 3.11.

(E)-2-(2,4-Дигидрокси-3-метилфенил)-3-(3-фторбензилиден)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (4б). Выход 50%, т. пл. 200°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1581, 1610, 3185. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ, м. д.: 2.05 с (3H, CH₃), 3.01–3.09 м (1H, CH₂), 3.10–3.17 м (1H, CH₂), 3.39–3.43 м (1H, CH₂), 3.45–3.52 м (1H, CH₂), 5.46 с (1H, CH), 6.16 с (1H, CH), 6.44 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.4 Гц), 6.93 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HF} 8.4 Гц), 7.10 тд (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.5 Гц, ⁴J_{HF} 2.4 Гц), 7.15–7.21 м (2H, CH_{Ar}), 7.38–7.44 м (1H, CH_{Ar}), 8.54 уш. с (1H, OH), 9.06 уш. с (1H, OH), 9.56 уш. с (2H, NH₂⁺). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 9.65, 29.47, 44.51, 62.89, 107.43, 112.14, 114.08, 114.40 д (²J_{HF} 19.7 Гц), 115.06 д (²J_{HF} 21.8 Гц), 123.36, 124.92, 127.66, 129.99 д (³J_{HF} 8.1 Гц), 139.25 д (³J_{HF} 7.6 Гц), 141.29, 154.97, 157.86, 162.74 д (¹J_{HF} 243.2 Гц). Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 300 [*M* – CF₃CO₂[–]]⁺. Найдено, %: С 58.32; Н 4.50; N 3.66. C₂₀H₁₉F₄NO₄. Вычислено, %: С 58.11; Н 4.63; N 3.39.

(E)-3-(4-Хлорбензилиден)-2-(2,4-дигидрокси-3-метилфенил)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (4в). Выход 67%, т. пл. 174–175°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1610, 3074, 3183. Спектр ЯМР ¹H

(DMCO-*d*₆), δ, м. д.: 2.05 с (3H, CH₃), 2.97–3.06 м (1H, CH₂), 3.06–3.14 м (1H, CH₂), 3.41–3.45 м (1H, CH₂), 3.46–3.53 м (1H, CH₂), 5.45 с (1H, CH), 6.13 с (1H, CH), 6.44 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.4 Гц), 6.93 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.4 Гц), 7.37 д (2H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.7 Гц), 7.42 д (2H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.6 Гц), 8.59 уш. с (1H, OH), 9.10 уш. с (1H, OH), 9.70 уш. с (2H, NH₂⁺). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 9.64, 9.67, 29.42, 44.46, 62.85, 107.43, 112.18, 114.15, 117.70 к (¹J_{CF} 300.0 Гц), 123.20, 127.62, 129.00, 130.41, 132.11, 135.74, 140.61, 154.98, 157.83, 158.65 кв (²J_{CF} 31.1 Гц). Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 316 [*M* – CF₃CO₂[–] + H]⁺. Найдено, %: С 56.00; Н 4.57; Cl 8.48; N 3.19. C₂₀H₁₉ClF₃NO₄. Вычислено, %: С 55.89; Н 4.46; Cl 8.25; N 3.26.

(E)-3-(3-Фторбензилиден)-2-(2,3,4-тригидрокси-фенил)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (5б). Выход 70%, т. пл. 200°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1582, 1609, 2756, 2976, 3144, 3431. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ, м. д. (*J*, Гц): 2.97–3.06 м (1H, CH₂), 3.08–3.15 м (1H, CH₂), 3.37–3.44 м (1H, CH₂), 3.46–3.53 м (1H, CH₂), 5.41 с (1H, CH), 6.15 с (1H, CH), 6.38 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.5 Гц), 6.59 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.4 Гц), 7.07–7.13 м (1H, CH_{Ar}), 7.15–7.22 м (2H, CH_{Ar}), 7.37–7.44 м (1H, CH_{Ar}), 8.63 уш. с (1H, OH), 8.70 уш. с (1H, OH), 9.19 уш. с (1H, OH), 9.66 уш. с (2H, NH₂⁺). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 29.39, 44.55, 62.51, 107.40, 113.72, 114.40 д (²J_{HF} 21.4 Гц), 115.05 д (²J_{HF} 21.7 Гц), 117.77 к (¹J_{HF} 300.0 Гц), 120.04, 123.41, 124.91, 130.93 д (³J_{HF} 8.7 Гц), 133.65, 139.24 д (³J_{HF} 8.0 Гц), 141.10, 145.77, 147.83, 158.53 к (²J_{HF} 31.0 Гц), 162.74 д (¹J_{HF} 243.3 Гц). Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 302 [*M* – CF₃CO₂[–]]⁺. Найдено, %: С 55.13; Н 4.27; N 3.56. C₁₉H₁₇F₄NO₅. Вычислено, %: С 54.95; Н 4.13; N 3.37.

(E)-3-(4-Хлорбензилиден)-2-(2,3,4-тригидрокси-фенил)пирролидин-1-ий-2,2,2-трифторацетат (5в). Выход 49%, т. пл. 216–217°C. ИК спектр, ν, см⁻¹: 1582, 1609, 2756, 2976, 3144, 3431. Спектр ЯМР ¹H (DMCO-*d*₆), δ, м. д.: 2.97–3.03 м (1H, CH₂), 3.04–3.16 м (1H, CH₂), 3.37–3.42 м (1H, CH₂), 3.46–3.52 м (1H, CH₂), 5.39 с (1H, CH), 6.14 с (1H, CH), 6.38 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.5 Гц), 6.58 д (1H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.4 Гц), 7.36 д (2H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.7 Гц), 7.42 д (2H, CH_{Ar}, ³J_{HH} 8.7 Гц), 8.51 уш. с (1H, OH), 8.61 уш. с (1H, OH), 9.18 уш. с (1H, OH), 9.59 уш. с (2H, NH₂⁺). Спектр ЯМР ¹³C (DMCO-*d*₆), δ_C, м. д.: 29.33, 44.55, 62.54, 107.36, 113.72, 120.00, 117.84 к (¹J_{CF} 310.7 Гц), 123.33, 129.02, 130.41, 132.14, 133.63, 135.70, 140.24, 145.76, 147.79, 158.36 к (²J_{CF} 30.6 Гц). Масс-спектр (ESI-TOF), *m/z*: 318 [*M* – CF₃CO₂[–]]⁺.

Найдено, %: С 53.03; Н 3.89; Cl 8.28; N 3.36. $C_{19}H_{17}ClF_3NO_5$. Вычислено, %: С 52.85; Н 3.97; Cl 8.21; N 3.24.

Спектры ЯМР 1H и ^{13}C получены на спектрометре Bruker Avance 600 (600 и 150 МГц соответственно) относительно сигналов остаточных протонов ДМСО- d_6 . ИК спектры сняты на спектрометре UR-20 в интервале 400–3600 cm^{-1} . Кристаллические образцы исследовали в таблетках KBr. Элементный анализ выполнен на приборе Carlo Erba марки EA 1108. Масс-спектры ионизации электрораспылением получены на масс-спектрометре AmazonX (Bruker Daltonik GmbH, Германия). Измерения проводили в режиме регистрации положительных ионов в диапазоне m/z от 100 до 2800 Да. Температуры плавления определены в стеклянных капиллярах на приборе Stuart SMP 10.

ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-13-10023).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O'Hagan D. // Nat. Prod. Rep. 2000. Vol. 17. P. 435. doi 10.1021/cen-v078n013.p023
2. Garvey D.S., Wasicak J.T., Elliott R.L., Lebold S., Hettinger A.-M., Carrera G.M., Lin N.-H., He Y., Holladay M.W. // J. Med. Chem. 1994. Vol. 37. P. 4455. doi 10.1021/jm00052a005
3. Brtnnan M.B. // Chem. Eng. News. 2000. Vol. 78. P. 23. doi 10.1021/cen-v078n013.p023
4. Dondas H.A., De Kimpe N. // Tetrahedron Lett. 2005. Vol. 46. P. 4179. doi 10.1016/j.tetlet.2005.04.060
5. Hardy M., Chalier F., Finet J.-P., Rockenbauer A., Tordo P. // J. Org. Chem. 2005. Vol. 70. P. 2135. doi 10.1021/jo0479516
6. Odinets I., Artyushin O., Shevchenko N., Petrovskii P., Nenajdenko V., Röschenhaler G.-V. // Synthesis. 2009. Vol. 4. P. 577. doi 10.1055/s-0028-1083349
7. Hua D.H., Bensoussan D., Bravo A.A. // J. Org. Chem. 1989. Vol. 54. P. 5399. doi 10.1021/jo00283a046
8. Mandal S., Mahato S., Jana C.K. // Org. Lett. 2015. Vol. 17. P. 3762. doi 10.1021/acs.orglett.5b01744
9. Shevchenko N.E., Nenajdenko V.G., Röschenhaler G.-V. // J. Fluor. Chem. 2008. Vol. 129. P. 390. doi 10.1016/j.jfluchem.2008.01.013
10. Бубнов Ю.Н., Климкина Е.В., Лавринович Л.И., Зыков А.Ю., Игнатенко А.В. // Изв. АН. Сер. хим. 1999. № 49. С. 1718; Bubnov Y.N., Klimkina E.V., Lavrinovich L.I., Zikov A.Y., Ignatenko A.V. // Russ. Chem. Bull. 1999. Vol. 48. P. 1696. doi 10.1007/BF02494816
11. Znabet A., Ruijter E., de Kanter F.J.J., Köhler V., Helliwell M., Turner N.J., Orru R.V.A. // Angew. Chem. Int. Ed. 2010. Vol. 49. P. 5289. doi 10.1002/anie.201001592
12. Shmatova O.I., Nenajdenko V.G. // J. Org. Chem. 2013. Vol. 78. P. 9214. doi 10.1021/jo401428q
13. Gulevich A., Shevchenko N., Balenkova E., Röschenhaler G.-V., Nenajdenko V. // Synlett. 2009. Vol. 3. P. 403. doi 10.1055/s-0028-1087529
14. Nenajdenko V.G., Gulevich A. V., Balenkova E.S. // Tetrahedron. 2006. Vol. 62. P. 5922. doi 10.1016/j.tet.2006.04.021
15. Arza C.R., Froimowicz P., Han L., Graf R., Ishida H. // Macromolecules. 2017. Vol. 50. P. 9249. doi 10.1021/acs.macromol.7b00932
16. Cimarrelli C., Fratoni D., Mazzanti A., Palmieri G. // Eur. J. Org. Chem. 2011. Vol. 11. P. 2094. doi 10.1002/ejoc.201001611
17. Gravel E., Poupon E., Hocquemiller R. // Tetrahedron. 2006. Vol. 62. P. 5248. doi 10.1016/j.tet.2005.12.069
18. De Kimpe N., Stevens C. // J. Org. Chem. 1993. Vol. 58. P. 2904. doi 10.1021/jo00062a042
19. Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Melyashova A.S., Voronina J.K., Strelnik A.G., Vatsadze S.Z., Burilov A.R., Pudovik M.A., Fedorova O.A., Sinyashin O.G. // RSC Adv. 2017. Vol. 7. P. 50955. doi 10.1039/C7R A11216E
20. Gazizov A.S., Kharitonova N.I., Smolobochkin A.V., Syakaev V.V., Burilov A.R., Pudovik M.A. // Monatsh. Chem. 2015. Vol. 146. P. 1845. doi 10.1007/s00706-015-1545-1
21. Смолобочкин А.В., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А. // ЖОХ. 2015. Т. 85. Вып. 11. С. 1779; Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Burilov A.R., Pudovik M.A. // Russ. J. Gen. Chem. 2015. Vol. 85. N 11. P. 1779. doi 10.1134/S1070363215070361
22. Chugunova E., Akylbekov N., Shakirova L., Dobrynin A., Syakaev V., Latypov S., Bukharov S., Burilov A. // Tetrahedron. 2016. Vol. 72. P. 6415. doi 10.1016/j.tet.2016.08.047
23. Багаутдинова Р.Х., Кибардина Л.К., Трифонов А.В., Пудовик М.А., Пудовик Е.М., Бурилов А.Р. // ЖОХ. 2017. Т. 87. Вып. 9. С. 1542; Bagautdinova R.K., Kibardina L.K., Pudovik M.A., Burilov A.R., Trifonov A.V., Pudovik E.M. // Russ. J. Gen. Chem. 2017. Vol. 87. N 9. P. 2097. doi 10.1134/S1070363217090298
24. Смолобочкин А.В., Газизов А.С., Бурилов А.Р., Пудовик М.А. // Изв. АН. Сер. хим. 2016. № 65. С. 1377; Smolobochkin A.V., Gazizov A.S., Burilov A.R., Pudovik M.A. // Russ. Chem. Bull. 2016. Vol. 65. P. 1377. doi 10.1007/s11172-016-1465-1