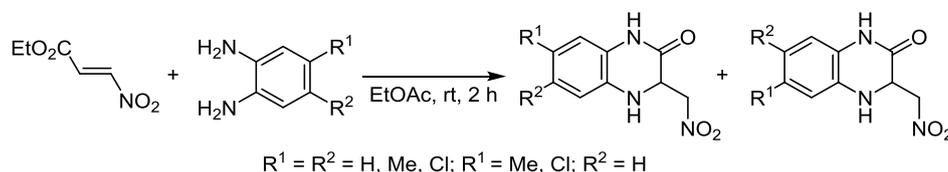


3-(Нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-оны: синтез и строение

Василий В. Пелипко¹, Сергей В. Макаренко¹,
Валентина М. Берестовицкая^{1*}, Руслан И. Байчурин¹

¹ Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, наб. р. Мойки, 48, Санкт-Петербург 191186, Россия; e-mail: kohrgpu@yandex.ru

Поступило 15.06.2016
Принято после доработки 8.08.2016



На основе реакций этил-3-нитроакрилата с *o*-фенилендиамином и его замещенными производными осуществлен синтез и изучено строение 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-онов, обнаружена их способность к отщеплению нитрометана с образованием хиноксалин-2(1H)-онов.

Ключевые слова: 1,2-диаминобензол, 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он, хиноксалин-2(1H)-он, этил-3-нитроакрилат, аза-реакция Михаэля.

Среди бензоконденсированных азотсодержащих гетероциклов хиноксалин (1,4-бензопиразин) занимает важное место.¹ Этот гетероцикл входит в состав молекулы природного антибиотика эхиномицина,^{2–4} а также синтетических антибактериальных лекарственных средств: хиноксидина и диоксидина.^{5,6} Производные хиноксалина – замещенные хиноксалин-2(1H)-оны – представляют еще больший интерес с практической точки зрения.⁷ Некоторые замещенные хиноксалин-2(1H)-оны проявляют антибактериальную^{8,9} и противовоспалительную,⁸ а также антидиабетическую¹⁰ и противовирусную активность, в том числе против ВИЧ.¹¹ Они рассматриваются в качестве эффективных ингибиторов альдозоредуктазы¹² и частичных антагонистов γ -аминомасляной кислоты.¹³

Для синтеза соединений ряда хиноксалин-2(1H)-она применяются различные методы,⁷ основанные, как правило, на реакциях *o*-фенилендиамина с дифункциональными карбонильными субстратами, такими как ацетилендикарбоксилаты,¹⁴ α -бромэфиры,¹⁵ глиоксиловая кислота и ее эфиры,^{16,17} а также 2,3-эпоксинальдегиды.¹⁸ Представители нитроалкенов – этиловые эфиры 3-алкил-3-нитроакриловых кислот – тоже хорошо проявили себя в качестве субстратов при взаимодействии с *o*-фенилендиамином при получении 3-(α -нитроалкил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-онов, которые, однако, требуют дополнительной хроматографической очистки.¹⁹

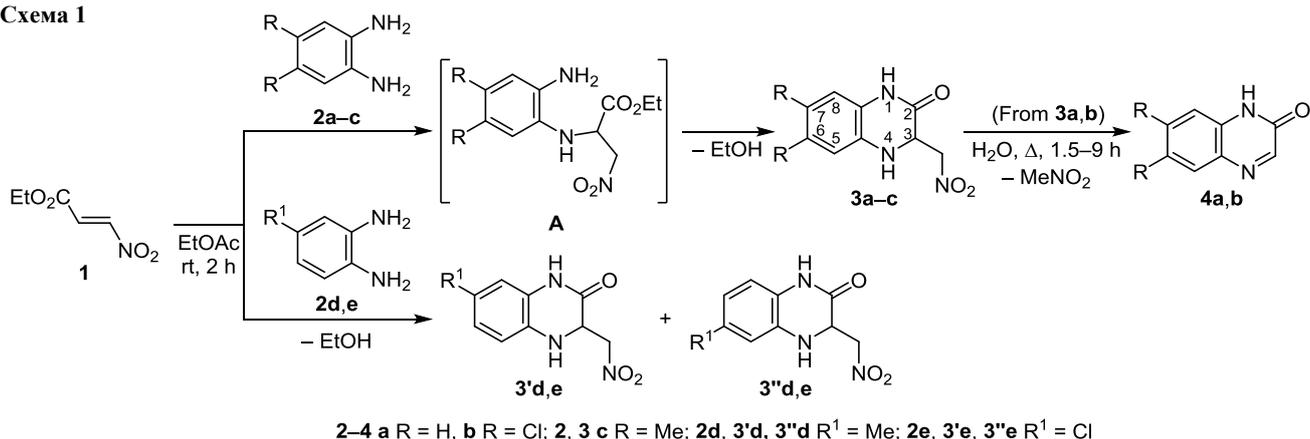
В настоящей работе реакцией простейшего незамещенного этил-3-нитроакрилата с рядом *o*-фенилендиаминов синтезированы ранее неописанные 3-нитрометилсодержащие производные 3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-она.

Взаимодействие этил-3-нитроакрилата (**1**) с *o*-фенилендиаминами **2a–c** (в соотношении 1:1.25) в растворе безводного этилацетата при комнатной температуре протекает в течение 2 ч и завершается образованием соответствующих 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-онов **3a–c** с выходами 51–81% (схема 1).

Данная тандемная реакция протекает по пути первоначального образования аза-аддукта Михаэля **A**, который претерпевает дальнейшую внутримолекулярную гетероциклизацию за счет атаки вторым нуклеофильным центром по сложноэфирной группе.

В отличие от реакций *o*-фенилендиамина (**2a**) и его симметрично замещенных аналогов **2b,c** реакции 4метил- и 4-хлор-1,2-диаминобензолов (**2d,e**) с этил-3-нитроакрилатом (**1**) в аналогичных условиях приводят к образованию двух региоизомеров в соотношениях (по данным спектров ЯМР ¹H) 17:10 (**3'd:3''d**) и 25:10 (**3'e:3''e**). Кроме того, оказалось, что синтезированные дигидрохиноксалин-2(1H)-оны **3a–e** при кипячении в водном растворе претерпевают элиминирование нитрометана, что было показано на примере соединений **3a,b**, превращавшихся с количественными выходами в этих условиях в известные хиноксалин-2(1H)-оны **4a,b**.^{16,20}

Схема 1



Строение 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1*H*)-онов **3a–e** охарактеризовано методами ИК, электронной спектроскопии, спектроскопии ЯМР ¹H, ¹³C, ¹H–¹H COSY, ¹H–¹H NOESY, ¹H–¹³C HMQC и HMBC, а физико-химические характеристики хиноксалин-2(1*H*)-онов **4a,b** соответствуют таковым описанных в литературе образцов.^{16,20} В ИК спектрах соединений **3a–e** присутствуют полосы ковалентной нитрогруппы при 1542–1548 (ν_{as}) и 1377–1380 см⁻¹ (ν_s), характерные для предельных нитросоединений,^{21,22} полосы карбонильной группы амидного фрагмента при 1674–1679 см⁻¹, а также набор полос, характерных для амидной и аминной групп NH (3183–3188, 3366–3417 см⁻¹). Электронные спектры поглощения соединений **3a–e** содержат длинноволновые максимумы при 267–277 (ε 3000–4100 л·моль⁻¹·см⁻¹), 307–325 нм (ε 4300–5100 л·моль⁻¹·см⁻¹) и согласуются с данными для близких по строению дигидрохиноксалиновых структур.^{23–25}

Структурной особенностью молекул синтезированных нитрометилсодержащих дигидрохиноксалинов **3a–e** является наличие в их составе хирального атома углерода C-3, что обуславливает проявление протонами группы CH₂NO₂ эффекта диастереотопии и формирование спиновой системы ABC с метиновым протоном 3-CH. Сигнал последнего (H_C) проявляется в виде мультиплета (при 4.38–4.66 м. д.), а метиленовые протоны группы 3-CH₂ (H_A и H_B) образуют дублеты дублетов при 4.72–4.76 и 4.82–4.97 м. д. (²J_{AB} = 13.6–14.1, ³J_{AC} = 4.2–4.7, ³J_{BC} = 5.0–5.5 Гц). Это находит отражение в спектрах ¹H–¹H COSY в виде соответствующих кросс-пиков, а наличие в них кросс-пиков

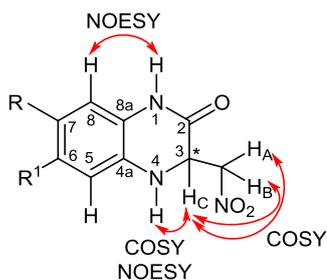


Рисунок 1. Основные корреляции в спектрах ЯМР ¹H–¹H COSY и ¹H–¹H NOESY соединений **3a–e**.

между сигналом метинового протона H_C и расщепленным уширенным сигналом при 6.06–6.74 м. д. позволяет приписать последний аминному протону 4-NH. В пользу такого отнесения свидетельствуют и спектры ¹H–¹H NOESY, в которых дополнительно наблюдаются кросс-пики между слабополюсным уширенным синглетом 1-NH и сигналом протона ароматического цикла H-8.

Таким образом, нами показано, что на основе реакции этил-3-нитроакрилата с 1,2-диаминобензолами при комнатной температуре с хорошими выходами формируются гетероциклические структуры ряда 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1*H*)-она. Последние обнаруживают способность к отщеплению нитрометана и образованию хиноксалин-2(1*H*)-онов.

Экспериментальная часть

ИК спектры записаны на фурье-спектрометре Shimadzu IR Prestige-21 в КВг. Электронные спектры поглощения записаны на спектрофотометре Shimadzu UV2401PC в растворе ДМСО в кварцевых кюветках (длина оптического пути 1.01 мм). Спектры ЯМР ¹H, ¹³C, ¹H–¹H COSY, ¹H–¹H NOESY (время смещения 1 с), ¹H–¹³C HMQC и HMBC зарегистрированы на спектрометре Jeol ECH400A с рабочей частотой 400 (для ядер ¹H) и 100 МГц (для ядер ¹³C) в ДМСО-*d*₆. В качестве стандарта использованы остаточные сигналы недеирированного растворителя (для ядер ¹H, δ 2.47 м. д.) или сигналы дейтерированного растворителя (для ядер ¹³C, δ 40.0 м. д.). Элементный анализ проведен на анализаторе EuroVector EA3000 (CHN Dual).

Синтез этил-3-нитроакрилата осуществлен по модифицированной методике.²⁶

3-(Нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1*H*)-он (3a). К раствору 149 мг (1.379 ммоль) *o*-фенилендиамина (**2a**) в 10 мл безводного этилацетата при комнатной температуре по каплям добавляют раствор 160 мг (1.103 ммоль) этил-3-нитроакрилата (**1**) в 10 мл безводного этилацетата и выдерживают в течение 2 ч. После удаления растворителя осмоленный остаток кристаллизуют этиловым спиртом и отфильтровывают выделившийся осадок. Выход 169 мг (74%), желтый порошок, т. пл. 165–167 °С (EtOH). ИК спектр, ν, см⁻¹:

1380 (с), 1542 (с, NO₂), 1674 (о. с, C=O), 3188 (сл), 3382 (сл), 3417 (ср, NH). УФ спектр, λ_{\max} , нм (ϵ , л·моль⁻¹·см⁻¹): 268 (3000), 307 (4300). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 4.49–4.56 (1H, м, 3-CH); 4.76 (1H, д, д, ² J = 13.8, ³ J = 4.5) и 4.89 (1H, д, д, ² J = 13.8, ³ J = 5.2, CH₂NO₂); 6.32 (1H, уш. д, ³ J = 1.9, 4-NH); 6.58 (1H, т, ³ J = 7.5, H-7); 6.64 (1H, д, ³ J = 7.3, H-5); 6.70 (1H, д, ³ J = 7.9, H-8); 6.74 (1H, т, ³ J = 7.5, H-6); 10.51 (1H, с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 54.4 (C-3); 76.5 (CH₂NO₂); 114.1 (C-5); 115.5 (C-8); 118.7 (C-7); 123.6 (C-6); 125.6 (C-8a); 133.3 (C-4a); 164.5 (C=O). Найдено, %: С 52.23; Н 4.43; N 20.33. C₉H₉N₃O₃. Вычислено, %: С 52.17; Н 4.38; N 20.28.

6,7-Дихлор-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3b) получают аналогично методике получения соединения **3a** из 244 мг (1.379 ммоль) 4,5-дихлор-1,2-диаминобензола (**2b**) и 160 мг (1.103 ммоль) этил-3-нитроакрилата **1**. Выход 154 мг (51%), желтый порошок, т. пл. 264–266 °С (EtOH). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1379 (с), 1546 (с, NO₂), 1675 (о. с, C=O), 3184 (сл), 3363 (ср), 3380 (ср), 3397 (ср, NH). УФ спектр, λ_{\max} , нм (ϵ , л·моль⁻¹·см⁻¹): 277 (3400), 325 (4900). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 4.60–4.66 (1H, м, 3-CH); 4.77 (1H, д, д, ² J = 14.1, ³ J = 4.2) и 4.97 (1H, д, д, ² J = 14.1, ³ J = 5.0, CH₂NO₂); 6.74 (1H, уш. д, ³ J = 1.7, 4-NH); 6.80 (1H, с, H-5); 6.82 (1H, с, H-8); 10.74 (1H, с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 53.8 (C-3); 76.7 (CH₂NO₂); 114.4 (C-5); 116.1 (C-8); 118.9 (C-7); 124.7 (C-6); 125.8 (C-8a); 133.7 (C-4a); 164.1 (C=O). Найдено, %: С 39.29; Н 2.45; N 15.46. C₉H₇Cl₂N₃O₃. Вычислено, %: С 39.15; Н 2.56; N 15.22.

6,7-Диметил-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3c) получают аналогично методике получения соединения **3a** из 188 мг (1.379 ммоль) 4,5-диметил-1,2-диаминобензола (**2c**) и 160 мг (1.103 ммоль) этил-3-нитроакрилата (**1**). Выход 189 мг (73%), оранжевый порошок, т. разл. 295 °С (CCl₄-MeOH, 3:2). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1377 (с), 1544 (с, NO₂), 1679 (о. с, C=O), 3184 (ср), 3191 (ср), 3387 (сл), 3416 (ср, NH). УФ спектр, λ_{\max} , нм (ϵ , л·моль⁻¹·см⁻¹): 271 (3000), 313 (4600). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 2.01 (3H, с, CH₃); 2.02 (3H, с, CH₃); 4.38–4.47 (1H, м, 3-CH); 4.72 (1H, д, д, ² J = 13.6, ³ J = 4.7) и 4.82 (1H, д, д, ² J = 13.6, ³ J = 5.5, CH₂NO₂); 6.06 (1H, уш. д, ³ J = 2.1 4-NH); 6.44 (1H, с, H-5); 6.48 (1H, с, H-8); 10.38 (1H, с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 19.1 (CH₃); 19.5 (CH₃); 54.7 (C-3); 76.4 (CH₂NO₂); 115.7 (C-5); 116.7 (C-8); 123.5 (C-8a); 126.1 (C-7); 130.9 (C-4a); 131.0 (C-6); 164.5 (C=O). Найдено, %: С 56.00; Н 5.63; N 17.81. C₁₁H₁₃N₃O₃. Вычислено, %: С 56.16; Н 5.57; N 17.86.

7-Метил-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3'd), 6-метил-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3''d) получают аналогично методике получения соединения **3a** из 316 мг (2.586 ммоль) 4-метил-1,2-диаминобензола (**2d**) и 300 мг (2.069 ммоль) этил-3-нитроакрилата (**1**). Выход 372 мг (81%), желтый порошок, смесь соединений **3'd** и **3''d** (17:10) с т. пл. 154–155 °С (CCl₄-MeOH, 3:1). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1377 (с), 1548 (с, NO₂), 1676 (о. с, C=O), 3183 (ср), 3366 (ср),

3388 (с, NH). УФ спектр, λ_{\max} , нм (ϵ , л·моль⁻¹·см⁻¹): 267 (3500), 311 (4600). **Изомер 3'd**. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 2.10 (3H, с, CH₃); 4.43–4.51 (1H, м, 3-CH); 4.74–4.78 (1H, м) и 4.85 (1H, д, д, ² J = 13.7, ³ J = 5.4, CH₂NO₂); 6.15 (1H, уш. д, ³ J = 2.2, 4-NH); 6.51–6.57 (3H, м, H-5,6,8); 10.46 (1H, с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 20.8 (CH₃); 54.5 (C-3); 76.4 (CH₂NO₂); 114.2 (C-5); 116.0 (C-8); 124.0 (C-6); 125.7 (C-8a); 127.6 (C-7); 130.9 (C-4a); 164.8 (C=O). **Изомер 3''d**. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 2.10 (3H, с, CH₃); 4.43–4.51 (1H, м, 3-CH); 4.70–4.74 (1H, м) и 4.86 (1H, д, д, ² J = 13.7, ³ J = 5.2, CH₂NO₂); 6.24 (1H, уш. д, ³ J = 2.0, 4-NH); 6.39 (1H, д, д, ³ J = 7.8, ⁴ J = 1.2, H-7); 6.45 (1H, уш. с, H-5); 6.58 (1H, д, ³ J = 7.8, H-8); 10.43 (1H, с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 21.2 (CH₃), 54.4 (C-3); 76.5 (CH₂NO₂); 114.6 (C-5); 115.4 (C-8); 119.2 (C-7); 123.3 (C-8a); 132.6 (C-6); 133.1 (C-4a); 164.3 (C=O). Найдено, %: С 54.41; Н 5.01; N 18.76. C₁₀H₁₁N₃O₃. Вычислено, %: С 54.29; Н 5.01; N 19.00.

7-Хлор-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3'e), 6-хлор-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-он (3''e) получают аналогично методике получения соединения **3a** из 197 мг (1.379 ммоль) 4-хлор-1,2-диаминобензола (**2e**) и 160 мг (1.103 ммоль) этил-3-нитроакрилата (**1**). Выход 162 мг (61%), коричневый порошок, смесь соединений **3'e** и **3''e** (25:10) с т. пл. 182–185 °С (CCl₄-MeOH, 3:2). ИК спектр, ν , см⁻¹: 1378 (с), 1544 (с, NO₂), 1675 (о. с, C=O), 3184 (ср), 3371 (ср), 3392 (с, NH). УФ спектр, λ_{\max} , нм (ϵ , л·моль⁻¹·см⁻¹): 273 (4100), 317 (5100). **Изомер 3'e**. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 4.54–4.61 (1H, м, 3-CH); 4.757 (1H, д, д, ² J = 13.9, ³ J = 4.4) и 4.927 (1H, д, д, ² J = 13.9, ³ J = 5.0, CH₂NO₂); 6.51 (1H, д, ³ J = 1.9, 4-NH); 6.63 (1H, д, ³ J = 8.4, H-5); 6.71 (1H, д, ⁴ J = 2.3, H-8), 6.76 (1H, д, д, ³ J = 8.4, ⁴ J = 2.3, H-6); 10.64 (1H, уш. с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 54.1 (C-3); 76.5 (CH₂NO₂); 114.8 (C-8); 115.1 (C-5); 121.6 (C-7); 123.0 (C-6); 126.8 (C-8a); 132.3 (C-4a); 164.5 (C=O). **Изомер 3''e**. Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 4.54–4.61 (1H, м, 3-CH); 4.761 (1H, д, д, ² J = 13.9, ³ J = 4.3) и 4.933 (1H, д, д, ² J = 13.9, ³ J = 5.1, CH₂NO₂); 6.59 (1H, д, д, ³ J = 8.3, ⁴ J = 2.2, H-7); 6.60 (1H, уш. с, 4-NH); 6.65 (1H, д, ⁴ J = 2.2, H-5); 6.67 (1H, д, ³ J = 8.3, H-8); 10.64 (1H, уш. с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 53.9 (C-3); 76.6 (CH₂NO₂); 113.1 (C-5); 116.5 (C-8); 117.8 (C-7); 124.5 (C-8a); 127.2 (C-6); 134.7 (C-4a); 164.1 (C=O). Найдено, %: С 44.64; Н 3.48; N 17.27. C₉H₈ClN₃O₃. Вычислено, %: С 44.74; Н 3.39; N 17.39.

Хиноксалин-2(1H)-он (4a). Суспензию 100 мг (0.483 ммоль) 3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-она (**3a**) в 10 мл воды кипятят в течение 1.5 ч на песчаной бане в колбе с обратным холодильником, охлаждают до комнатной температуры и выдерживают в течение 18 ч, а затем отфильтровывают выпавший осадок на фильтре Шотта. Выход 69 мг (98%), светло-желтые кристаллы, т. пл. 263–265 °С (H₂O) (т. пл. 268–269 °С (EtOH)¹⁶). Спектр ЯМР ¹H, δ , м. д. (J , Гц): 7.24–7.30 (2H, м), 7.48–7.55 (1H, м) и 7.71–7.77 (1H, м, H-5,6,7,8); 8.13 (1H, с, 3-CH); 12.40 (1H, уш. с, 1-NH). Спектр ЯМР ¹³C, δ , м. д.: 116.2, 123.8, 129.3, 131.3, 132.3, 132.5 (C-5,6,7,8,4a,8a); 152.1 (C-3); 155.4 (C=O).

6,7-Дихлорхиноксалин-2(1H)-он (4b) получают аналогично методике получения соединения **4a** из 100 мг (0.362 ммоль) 6,7-дихлор-3-(нитрометил)-3,4-дигидрохиноксалин-2(1H)-она (**3b**), 10 мл воды, кипячение 9 ч. Выход 59 мг (75%), желто-белые кристаллы, т. разл. 286 °С (H₂O) (т. разл. 275 °С (*i*-PrOH)²⁰). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (*J*, Гц): 7.41 (1H, с) и 8.02 (1H, с, H-5,8); 8.18 (1H, с, 3-CH); 12.51 (1H, уш. с, 1-NH).

Файл сопроводительной информации, содержащий спектральные данные синтезированных соединений, доступен на сайте <http://hgs.osi.lv>.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках базовой части государственного задания.

Список литературы

- Pereira, J. A.; Pessoa, A. M.; Cordeiro, M. N. D. S.; Fernandes, R.; Prudêncio, C.; Noronha, J. P.; Vieira, M. *Eur. J. Med. Chem.* **2015**, 97, 664.
- Общая органическая химия; Бартон, Д.; Оллис, У. Д., Ред.; Химия: Москва, 1985, т. 8, с. 161.
- Waring, M. J.; Wakelin, L. P. G. *Nature* **1974**, 252, 653.
- Kim, Y. B.; Kim, Y. H.; Park, J. Y.; Kim, S. K. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2004**, 14, 541.
- Машковский, М. Д. *Лекарственные средства*; Новая волна: Москва, 2002, 14-е изд., т. 2, с. 298.
- Регистр лекарственных средств России. Энциклопедия лекарств; Москва, 2002, вып. 2, с. 305, 938.
- Carta, A.; Piras, S.; Loriga, G.; Paglietti, G. *Mini-Rev. Med. Chem.* **2006**, 6, 1179.
- El-Sabbagh, O. I.; El-Sadek, M. E.; Lashine, S. M.; Yassin, S. H.; El-Nabity, S. M. *Med. Chem. Res.* **2009**, 18, 782.
- Ajani, O. O.; Obafemi, C. A.; Ikpo, C. O.; Ogunniran, K. O.; Nwinyi, O. C. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2009**, 45, 1370. [*Химия гетероцикл. соединений* **2009**, 1703.]
- Gupta, D.; Ghosh, N. N.; Chandra, R. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2005**, 15, 1019.
- Rösner, M.; Billhardt-Troughton, U.-M.; Kirsh, R.; Kleim, J.-P.; Meichsner, C.; Riess, G.; Winkler, I. US Patent 5723461.
- Sarges, R.; Lyga, J. W. *J. Heterocycl. Chem.* **1988**, 25, 1475.
- Lee, L.; Murray, W. V.; Rivero, R. A. *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 3874.
- Suschitzky, H.; Wakefield, B. J.; Whittaker, R. A. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1975**, 401.
- Kim, Y.; Lee, M. H.; Choi, E. T.; No, E. S.; Park, Y. S. *Heterocycles* **2007**, 71, 5.
- Chupakhin, O. N.; Egorov, I. N.; Rusinov, V. L.; Slepukhin, P. A. *Russ. Chem. Bull.* **2010**, 59, 991. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2010**, 970.]
- Carrër, A.; Brion, J.-D.; Messaoudi, S.; Alami, M. *Org. Lett.* **2013**, 15, 5606.
- Murata, S.; Sugimoto, T.; Matsuura, S. *Heterocycles* **1987**, 26, 883.
- Ballini, R.; Gabrielli, S.; Palmieri, A. *Synlett* **2009**, 965.
- Kazimierczuk, Z.; Pfeleiderer, W. *Liebigs Ann. Chem.* **1982**, 754.
- Сильверстейн, Р.; Вебстер, Ф.; Кимл, Д. *Спектрометрическая идентификация органических соединений*; БИНОМ. Лаборатория знаний: Москва, 2012, 557 с.
- Преч, Э.; Бюльманн, Ф.; Аффольтер, К. *Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных*; Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний: Москва, 2006.
- Dawson, W.; Newbold, G. T.; Spring F. S. *J. Chem. Soc.* **1949**, 2579.
- Pflegel, P.; Wagner, G. *Z. Chem. (Stuttgart, Ger.)* **1968**, 8, 179.
- Marxer, A.; Salzmann, U.; Hofer F. *Helv. Chim. Acta* **1971**, 54, 2507.
- McMurry, J. E.; Musser, J. H.; Fleming, I.; Fortunak, J.; Nübling, C. *Org. Synth.* **1977**, 56, 65.