

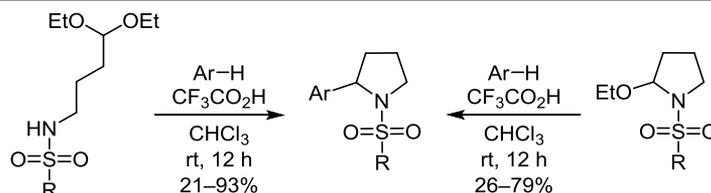
## Кислотнокатализируемая реакция фенолов с *N*-(4,4-диэтоксипентил)сульфонамидами – новый метод синтеза 2-арил-1-сульфонилпирролидинов

Андрей В. Смолочкин<sup>1</sup>, Альмир С. Газизов<sup>1\*</sup>, Екатерина А. Аникина<sup>2</sup>, Александр Р. Бурилов<sup>1</sup>, Михаил А. Пудовик<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова КазНЦ РАН, ул. Академика Арбузова, 8, Казань 420088, Россия; e-mail: agazizov@iopc.ru

<sup>2</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. Карла Маркса, 68, Казань 420015, Россия; e-mail: Smolochkin@iopc.ru

Поступило 7.10.2016  
Принято 23.01.2017



Разработан новый метод синтеза 2-арил-1-сульфонилпирролидинов, основанный на взаимодействии различных фенолов с *N*-(4,4-диэтоксипентил)сульфонамидами в присутствии трифторуксусной кислоты. Структуры полученных продуктов подтверждены данными ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, ИК спектроскопии и РСА.

**Ключевые слова:** *N*-(4,4-диэтоксипентил)сульфонамиды, 2-арил-1-сульфонилпирролидины, сульфониламиниды, фенолы, 2-этоксипирролидины.

Производные пирролидина, содержащие сульфониламинидную и арильную группы, являются важным классом органических соединений в связи с их высокой фармакологической активностью. Производные 2-арил-1-сульфонилпирролидинов могут быть использованы в качестве препаратов для лечения и профилактики тромбозомболических<sup>1,2</sup> и нейродегенеративных заболеваний, таких как болезни Хантингтона, Паркинсона<sup>3,4</sup> и Альцгеймера.<sup>5</sup> Имеются данные о способности этих соединений ингибировать матриксную металлопротеиназу 2.<sup>6</sup>

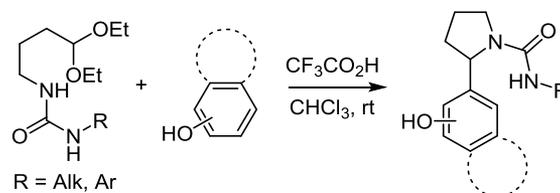
Наиболее распространенным подходом к синтезу 2-арил-1-сульфонилпирролидинов является внутримолекулярная циклизация арилзамещенных непредельных соединений, содержащих сульфониламинидную группу. В качестве примеров можно привести циклизацию производных 3-бутен-1-амина,<sup>7–14</sup> 3-бутин-1-амина<sup>15</sup> или 4-пентен-1-амина.<sup>16–18</sup> Описан синтез этих соединений окислительной циклизацией сульфониламинидов,<sup>19–22</sup> карбонилированием производных *N*-тозилпентенамина,<sup>23,24</sup> взаимодействием 2-арилпирролидинов с сульфониламинидными.<sup>25</sup> В качестве катализаторов при этом наиболее часто используются соли палладия(II),<sup>7,8,21</sup> родия<sup>24</sup> или гипервалентные соеди-

нения иода.<sup>14,19–21</sup> Общими недостатками существующих методов синтеза 2-арил-1-сульфонилпирролидинов являются использование дорогостоящих катализаторов и реагентов, жесткие условия реакций, необходимость зачастую трудоемкого синтеза исходных соединений. Таким образом, разработка нового эффективного метода синтеза 2-арил-1-сульфонилпирролидинов представляет большой интерес.

Ранее нами был разработан метод синтеза 2-арил-1-карбоксамидопирролидинов, основанный на катализируемой трифторуксусной кислотой реакции 4,4-диэтоксипентилмочевин с фенолами и позволяющий получать целевые соединения с высокими выходами и в мягких условиях (схема 1).<sup>26–30</sup>

Так как амидная и сульфониламинидная группы изостеричны и обладают сходными электронными

Схема 1



характеристиками, мы предположили, что использование в этой реакции *N*-(4,4-диэтоксипентил)сульфонил-амидов вместо 4,4-диэтоксипентилмочевин позволит нам осуществить синтез 2-арил-1-сульфонилпирролидинов. Наше предположение было дополнительно подтверждено имеющимися в литературе упоминаниями<sup>31,32</sup> об образовании гетероциклических продуктов при взаимодействии 4,4-диэтоксипентан-1-амина с арилсульфонилхлоридами.

Синтез исходных *N*-(4,4-диэтоксипентил)арилсульфонил-амидов **1a,b** осуществлялся в соответствии с ранее описанным методом,<sup>33</sup> заключающимся во взаимодействии 4,4-диэтоксипентан-1-амина с *para*-толуол- и бензолсульфонилхлоридами в присутствии триэтиламина (схема 2). Кроме того, нами дополнительно были получены *N*-(4,4-диэтоксипентил)алкилсульфонил-амиды **1c,d** с целью выявить влияние природы заместителя у атома серы на возможность внутримолекулярной циклизации этих соединений.

Полученный ацеталь **1a** был вовлечен в реакцию с 4-хлоррезорцином, 2-нафтолом и 2,7-дигидрокси-нафталином в  $\text{CHCl}_3$  в присутствии эквимолярного количества трифторуксусной кислоты (схема 2). Продуктами реакции оказались соответствующие 2-арил-1-*para*-толуолсульфонилпирролидины **2a**, **3a** и **4a** (табл. 1).

На следующем этапе мы изучили взаимодействие 4-хлоррезорцина, 2-нафтола и 2,7-нафталиндиола с

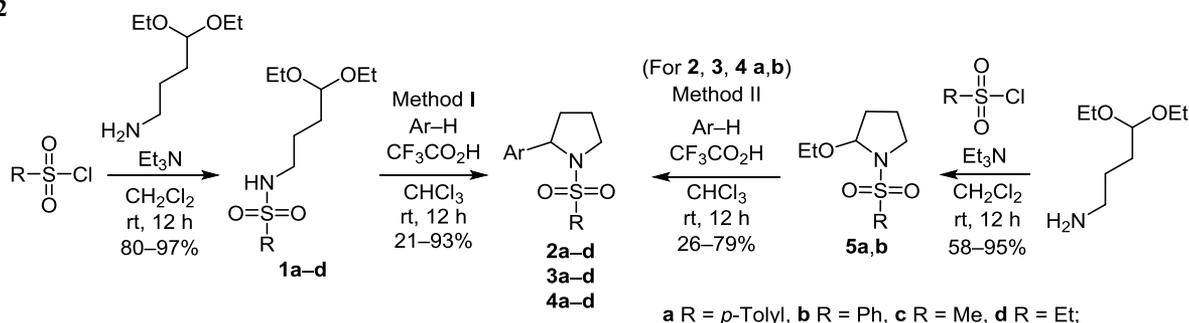
ацеталами **1b–d**. Были получены соответствующие производные пирролидина **2c,d**, **3c,d** и **4c,d**. Выходы целевых соединений варьировались от 21 до 93% (табл. 1). Следует отметить, что, согласно данным спектроскопии ЯМР, содержание 2-арилпирролидинов **2a,c,d**, **3a,c,d** и **4a,c,d** в реакционных смесях составляло 80–95%, при этом какого-либо явно выраженного влияния структурных и электронных особенностей исходных *N*-(4,4-диэтоксипентил)сульфонил-амидов и фенолов на протекание реакции не наблюдалось. Значительное же различие в выходах индивидуальных соединений обусловлено их различной растворимостью, и, как следствие, потерями в ходе их очистки.

Соединения **2b**, **3b** и **4b**, согласно спектральным данным, присутствовали в реакционной смеси в крайне незначительном количестве, однако выделить их в индивидуальном виде нам не удалось.

Согласно литературным данным, 2-алкоксипирролидины в присутствии кислот Льюиса способны вступать в реакцию замещения с кремнийорганическими соединениями,<sup>34–38</sup> алкенами, активированными электроноакцепторными группами,<sup>39,40</sup> с карбонильными соединениями,<sup>41,42</sup> с пространственно-затрудненными фенолами<sup>43</sup> с образованием соответствующих 2-замещенных производных пирролидина.

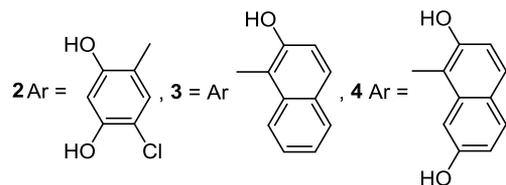
Мы предположили, что использование 1-сульфонил-2-этоксипирролидинов **5** вместо соответствующих аце-

Схема 2

Таблица 1. Выходы продуктов взаимодействия фенолов с ацеталами **1a–d**

Фенол	Сульфонамид	Продукт	Выход, %
	<b>1a</b>	<b>2a</b>	43
	<b>1b</b>	<b>2b</b>	—*
	<b>1c</b>	<b>2c</b>	82
	<b>1d</b>	<b>2d</b>	45
	<b>1a</b>	<b>3a</b>	93
	<b>1b</b>	<b>3b</b>	—*
	<b>1c</b>	<b>3c</b>	93
	<b>1a</b>	<b>4a</b>	71
	<b>1b</b>	<b>4b</b>	—*
	<b>1c</b>	<b>4c</b>	62
	<b>1d</b>	<b>4d</b>	40

\* Выделить продукт в индивидуальном виде не удалось.

Таблица 2. Выходы продуктов взаимодействия фенолов с 2-этокси-1-тозилпирролидинами **5a,b**

Фенол	Пирролидины	Продукт	Выход, %
	<b>5a</b>	<b>2a</b>	53
	<b>5b</b>	<b>2b</b>	79
	<b>5a</b>	<b>3a</b>	71
	<b>5b</b>	<b>3b</b>	64
	<b>5a</b>	<b>4a</b>	34
	<b>5b</b>	<b>4b</b>	26

талей **1** в этой реакции также будет приводить к образованию 2-арил-1-сульфонилпирролидинов **2–4** (схема 2).

В работе<sup>33</sup> описан метод получения 1-тозил-2-этоксипирролидина циклизацией *N*-(4,4-диэтоксипутил)-4-метилбензолсульфонамида в кислой среде. В результате проведенных нами исследований были подобраны условия, позволяющие получать 2-этоксипирролидин **5a** в одну стадию, без выделения промежуточного ацетала **1a**. Аналогичным образом был синтезирован *N*-бензолсульфонил-2-этоксипирролидин **5b** (схема 2).

Было установлено, что взаимодействие 2-этоксипирролидина **5a** с 4-хлоррезорцином, 2-нафтолом и 2,7-нафталиндиолом в  $\text{CHCl}_3$  в присутствии трифторуксусной кислоты приводит к образованию соответствующих 2-арил-1-сульфонилпирролидинов **2a**, **3a** и **4a** (схема 2, табл. 2). Следует отметить, что в результате взаимодействия 2-этоксипирролидина **5b** с соответствующими фенолами нам удалось выделить соединения **2b**, **3b** и **4b** с выходом 26–79%. Так же, как и в случае ацеталей **1a–d**, разница в выходах индивидуальных соединений **2a,b**, **3a,b** и **4a,b** объясняется не столько природой исходных соединений, сколько потерями при выделении и очистке продуктов.

Структуры полученных соединений были подтверждены методами ИК и ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  спектроскопии. Пространственное строение соединения **3a** было установлено методом рентгеноструктурного анализа кристаллов, полученных после перекристаллизации из ДМСО. Данные рентгеноструктурного анализа показали, что длины связей, валентные и торсионные углы находятся в пределах значений, стандартных для каждого типа связи (рис. 1). Интересной особенностью молекулярного строения данного соединения является образование "псевдоцикла"  $\text{C}_1\text{C}_2\text{O}_{23}\text{H}_2\text{N}_1\text{C}_{11}$  в плоскости нафталинового фрагмента за счет внутримолекулярной водородной связи  $\text{OH}\cdots\text{N}$  типа:  $\text{O}(23)\cdots\text{H}(23)\cdots\text{N}(1)$ , (расстояния  $\text{H}(23)\cdots\text{N}(1)$  1.80(6) Å,  $\text{O}(23)\cdots\text{N}(1)$  2.647(6) Å, угол  $\text{O}(23)\text{—H}(23)\cdots\text{N}(1)$  155(5)°). Упаковка молекул в кристалле (рис. 2) представляет собой слои, образованные взаимодействиями  $\text{CH}\cdots\text{O}$  с участием атомов кислорода группы  $\text{SO}_2$  (расстояния  $\text{C}\cdots\text{O}$  составляют 3.249(6) и 3.448(7) Å) и  $\pi$ - $\pi$ -взаимодействиями между бензольными и нафтольными циклами (расстояния между плоскостями взаимодействующих ароматических фрагментов 3.0–3.7 Å).

Таким образом, реакция *N*-(4,4-диэтоксипутил)-сульфонамидов с фенолами бензольного ряда, а также нафтолами позволяет в мягких условиях получать 2-арил-1-сульфонилпирролидины, содержащие как ароматические, так и алифатические заместители у сульфонамидной группы.

### Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на спектрометре UR-20 (400–3600  $\text{cm}^{-1}$ ) в таблетках KBr. Спектры ЯМР  $^1\text{H}$  записаны на спектрометре Bruker MSL 400 (400 МГц) в ДМСО- $d_6$ ,  $\text{CDCl}_3$  и  $\text{CD}_3\text{OD}$ . Внутренний стандарт – сигналы остаточных протонов дейтерированного растворителя (для ДМСО- $d_6$   $\delta$  2.50, для  $\text{CDCl}_3$   $\delta$  7.26,

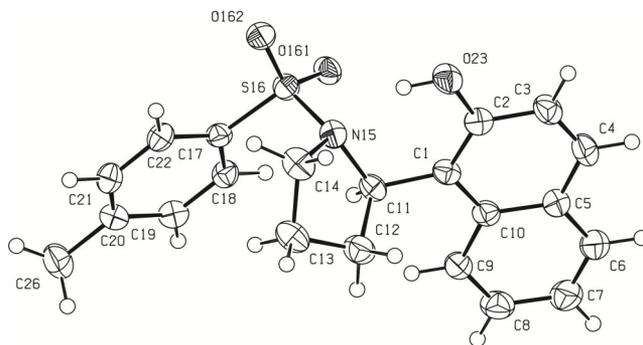


Рисунок 1. Молекулярная структура соединения **3a** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью.

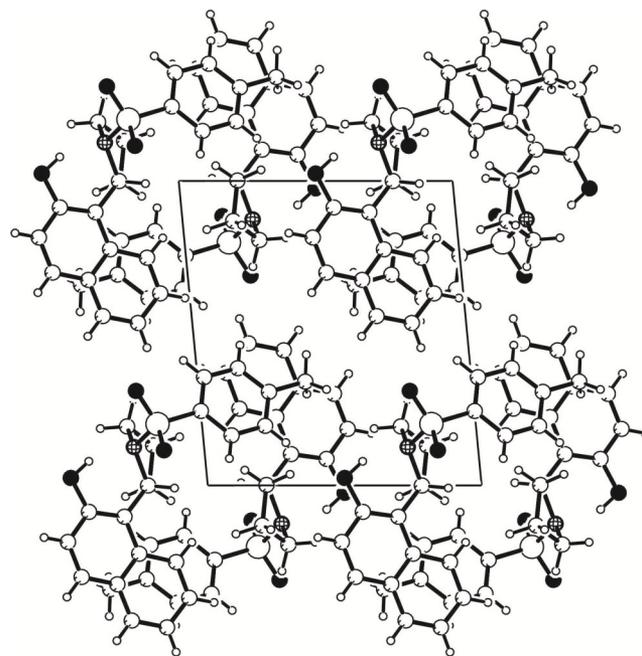


Рисунок 2. Упаковка молекул в кристалле соединения **3a**.

для  $\text{CD}_3\text{OD}$   $\delta$  3.31 м. д.). Спектры ЯМР  $^{13}\text{C}$  записаны на спектрометре Bruker Avance 600 (150 МГц) в ДМСО- $d_6$ ,  $\text{CDCl}_3$  и  $\text{CD}_3\text{OD}$ . Внутренний стандарт – сигналы остаточных ядер дейтерированного растворителя (для ДМСО- $d_6$   $\delta$  39.5, для  $\text{CDCl}_3$   $\delta$  77.0, для  $\text{CD}_3\text{OD}$   $\delta$  49.0 м. д.). Элементный анализ выполнен на приборе Carlo Erba EA 1108. Содержание хлора и серы определялось методом Шёнигера.<sup>44</sup> Температуры плавления определены в стеклянных капиллярах на приборе Stuart SMP 10.

**Синтез *N*-(4,4-диэтоксипутил)сульфонамидов **1a–d**** (общая методика). К раствору 20 ммоль соответствующего сульфонила хлорида и 3.5 мл  $\text{Et}_3\text{N}$  в 100 мл  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  при охлаждении (5–8 °С) добавляют 3.4 г (20 ммоль) 4,4-диэтоксипутил-1-амин. Потом реакционную смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 12 ч, после чего промывают 100 мл насыщенного раствора  $\text{NaHCO}_3$ , органическую часть отделяют и остатки растворителей удаляют в вакууме.

***N*-(4,4-Диэтоксипутил)-4-метилбензолсульфонамид (**1a**)**. Выход 6.20 г (93%), желтое масло. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta$ , м. д. (*J*, Гц): 1.19 (6H, т, *J* = 7.1, 2 $\text{CH}_3$ ); 1.54–

1.64 (4H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.44 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 2.94–3.01 (2H, м, CH<sub>2</sub>); 3.42–3.51 (2H, м, CH<sub>2</sub>); 3.58–3.66 (2H, м, CH<sub>2</sub>); 4.42 (1H, т,  $J = 5.1$ , CH); 4.88 (1H, уш. с, NH); 7.31 (2H, д,  $J = 8.0$ , H Ar); 7.76 (2H, д,  $J = 8.2$ , H Ar).

**N-(4,4-Диэтоксипутил)бензолсульфонамид (1b).** Выход 4.82 г (80%), желтое масло. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.11 (6H, т,  $J = 7.1$ , 2CH<sub>3</sub>); 1.44–1.59 (4H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.92 (2H, кв,  $J = 6.5$ , CH<sub>2</sub>); 3.35–3.42 (2H, м, CH<sub>2</sub>); 3.50–3.59 (2H, м, CH<sub>2</sub>); 4.36 (1H, т,  $J = 5.1$ , CH); 5.41 (1H, с, NH); 7.44 (2H, т,  $J = 7.7$ , H Ph); 7.50 (1H, т,  $J = 7.4$ , H Ph); 7.81 (2H, д,  $J = 7.7$ , H Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 15.2; 15.3; 24.6; 30.8; 43.1; 61.4; 102.5; 126.9; 129.0; 132.4; 140.2.

**N-(4,4-Диэтоксипутил)метансульфонамид (1c).** Выход 3.76 г (97%), желтое масло. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 0.97 (6H, т,  $J = 7.1$ , 2CH<sub>3</sub>); 1.35–1.51 (4H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.72 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 2.84–2.93 (2H, м), 3.21–3.33 (2H, м) и 3.36–3.50 (2H, м, 3CH<sub>2</sub>); 4.23–4.31 (1H, м, CH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 15.1; 24.9; 30.6; 39.6; 42.8; 61.2; 102.4.

**N-(4,4-Диэтоксипутил)этансульфонамид (1d).** Выход 4.60 г (90%), желтое масло. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.17 (6H, т,  $J = 7.1$ , 2CH<sub>3</sub>); 1.20 (3H, т,  $J = 7.5$ , CH<sub>3</sub>); 1.45–1.59 (4H, м), 2.89 (2H, кв,  $J = 7.4$ ), 2.96 (2H, кв,  $J = 5.9$ ), 3.29–3.41 (2H, м) и 3.45–3.58 (2H, м, 6CH<sub>2</sub>); 4.34 (1H, т,  $J = 5.1$ , CH); 5.12 (1H, т,  $J = 5.4$ , NH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 8.1; 15.2; 25.2; 30.7; 42.8; 46.5; 61.3; 102.4.

**Синтез 2-этоксипирролидинов 5a,b** (общая методика). К раствору 3.4 г (20 ммоль) 4,4-диэтоксипутил-1-амин и 3.5 мл Et<sub>3</sub>N в 100 мл CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> при охлаждении (5–8 °С) добавляют 20 ммоль соответствующего сульфонилхлорида и реакционную смесь перемешивают при комнатной температуре в течение 12 ч. Потом реакционную смесь промывают 100 мл насыщенного раствора NaHCO<sub>3</sub>, органическую часть отделяют и растворитель удаляют в вакууме.

**1-Тозил-2-этоксипирролидин (5a).** Выход 2.21 г (58%), бежевый порошок, т. пл. 85–86 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1161 (SO<sub>2</sub>), 1596 (CH Ar). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.20 (3H, т,  $J = 7.0$ , CH<sub>3</sub>); 1.35–1.52 (1H, м), 1.69–1.80 (1H, м), 1.82–1.92 (1H, м) и 1.95–2.09 (1H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.44 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 3.09–3.20 (1H, м), 3.37–3.44 (1H, м), 3.54–3.60 (1H, м) и 3.78–3.84 (1H, м, 2CH<sub>2</sub>); 5.20–5.25 (1H, м, CH); 7.32 (2H, д,  $J = 8.1$ , H Ar); 7.74 (2H, д,  $J = 8.2$ , H Ar). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 15.0; 21.5; 23.2; 32.9; 47.2; 63.1; 90.2; 127.4; 129.6; 136.1; 143.3. Найдено, %: С 58.09; Н 7.23; N 5.07; S 11.81. C<sub>13</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>3</sub>S. Вычислено, %: С 57.97; Н 7.11; N 5.20; S 11.90.

**1-(Фенилсульфонил)-2-этоксипирролидин (5b).** Выход 4.59 (95%), бежевый порошок, т. пл. 81–82 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1156 (SO<sub>2</sub>), 1585 (CH Ar). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.11 (3H, т,  $J = 7.1$ , CH<sub>3</sub>); 1.30–1.42 (1H, м), 1.64–1.73 (1H, м), 1.76–1.85 (1H, м), 1.90–2.07 (1H, м), 3.06–3.15 (1H, м), 3.30–3.40 (1H, м), 3.42–3.53 (1H, м) и 3.68–3.78 (1H, м, 4CH<sub>2</sub>); 5.12–5.20 (1H, м, CH); 7.39–7.47 (2H, м, H Ph); 7.48–7.56 (1H, м, H Ph); 7.75–7.82 (2H, м, H Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C

(CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 15.0; 23.2; 32.9; 47.3; 63.1; 90.2; 127.3; 129.0; 132.6; 139.0. Найдено, %: С 58.18; Н 7.28; N 5.31; S 12.71. C<sub>13</sub>H<sub>19</sub>NO<sub>3</sub>S. Вычислено, %: С 57.97; Н, 7.11; N 5.20; S 12.56.

**Синтез 2-арил-1-сульфонилпирролидинов 2–4** (общая методика). Метод I. К раствору 1.59 ммоль N-(4,4-диэтоксипутил)сульфонамида **1** в 10 мл CHCl<sub>3</sub> добавляют 0.80 ммоль соответствующего фенола и 0.12 мл (1.59 ммоль) трифторуксусной кислоты и реакционную смесь перемешивают в течение 12 ч при комнатной температуре. Затем растворитель удаляют в вакууме, остаток промывают Et<sub>2</sub>O и отфильтровывают. Получают белый порошок, который сушат в вакууме.

Метод II. К раствору 1.86 ммоль 2-этоксипирролидина **5** в 10 мл CHCl<sub>3</sub> добавляют 0.93 ммоль соответствующего фенола и 0.14 мл (1.86 ммоль) трифторуксусной кислоты и реакционную смесь перемешивают в течение 12 ч при комнатной температуре. Затем растворитель удаляют в вакууме, остаток промывают Et<sub>2</sub>O и отфильтровывают. Получают белый порошок, который сушат в вакууме.

**6-(1-Тозилпирролидин-2-ил)-4-хлорбензол-1,3-диол (2a).** Выход 0.25 г (43%, метод I), 0.36 г (53%, метод II), белый порошок, т. пл. 144–145 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1152 (SO<sub>2</sub>), 1598 (CH Ar), 3422 (O–H). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.54–1.63 (1H, м) и 1.67–1.88 (3H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.41 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 3.31–3.39 (1H, м) и 3.55–3.63 (1H, м, CH<sub>2</sub>); 4.92–4.97 (1H, м, CH); 6.42 (1H, с, H Ar); 7.11 (1H, с, H Ar); 7.36 (2H, д,  $J = 8.0$ , H Ar); 7.70 (2H, д,  $J = 8.3$ , H Ar). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д.: 20.2; 23.4; 33.7; 49.2; 58.4; 103.2; 110.3; 122.6; 127.3; 127.7; 129.4; 134.5; 143.8; 152.1; 153.1. Найдено, %: С 55.70; Н 5.15; Cl 9.47; N 3.93; S 8.56. C<sub>17</sub>H<sub>18</sub>ClNO<sub>4</sub>S. Вычислено, %: С 55.51; Н 4.93; Cl 9.64; N 3.81; S 8.72.

**1-(1-Тозилпирролидин-2-ил)нафтален-2-ол (3a).** Выход 0.54 г (93%, метод I), 0.48 г (71%, метод II), белый порошок, т. пл. 162–163 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1162 (SO<sub>2</sub>), 1598 (CH Ar), 3200, 3438 (O–H). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.23–1.37 (1H, м), 1.87–1.97 (1H, м) и 2.00–2.21 (2H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.41 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 3.59–3.67 (1H, м) и 3.70–3.81 (1H, м, CH<sub>2</sub>); 5.37–5.44 (1H, м, CH); 7.16 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.29 (1H, т,  $J = 7.4$ , H Ar); 7.40 (2H, д,  $J = 7.0$ , H Ar); 7.46 (1H, т,  $J = 7.3$ , H Ar); 7.69 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.73 (2H, д,  $J = 8.1$ , H Ar); 7.79 (1H, д,  $J = 7.9$ , H Ar); 8.15 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 9.81 (1H, с, OH). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д.: 21.5; 25.5; 32.8; 50.1; 56.9; 118.7; 118.8; 122.6; 123.7; 126.3; 128.0; 129.1 (2C); 129.2; 130.0; 132.4; 134.4; 143.6; 153.2. Найдено, %: С 68.71; Н 5.65; N 3.93; S 8.66. C<sub>21</sub>H<sub>21</sub>NO<sub>3</sub>S. Вычислено, %: С 68.64; Н 5.76; N 3.81; S 8.72.

**1-(1-Тозилпирролидин-2-ил)нафтален-2,7-диол (4a).** Выход 0.43 г (71%, метод I), 0.24 г (34%, метод II), белый порошок, т. пл. 168–169 °С. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 1156 (SO<sub>2</sub>), 1597 (CH Ar), 3423 (O–H). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. ( $J$ , Гц): 1.17–1.28 (1H, м), 1.86–2.02 (2H, м) и 2.05–2.17 (1H, м, 2CH<sub>2</sub>); 2.42 (3H, с, CH<sub>3</sub>); 3.59–3.68 (1H, м) и 3.79–3.89 (1H, м, CH<sub>2</sub>); 5.28–5.37 (1H, м, CH); 6.85 (1H, д,  $^3J = 8.7$ ,  $^4J = 2.2$ , H Ar); 6.90 (1H, д,

$J = 8.7$ , H Ar); 7.38 (1H, д,  $J = 2.0$ , H Ar); 7.40 (2H, д,  $J = 6.6$ , H Ar); 7.52 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 7.61 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.78 (2H, д,  $J = 7.9$ , H Ar); 9.63 (1H, уш. с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 21.5; 25.4; 32.3; 50.1; 56.9; 106.0; 115.0; 115.3; 117.0; 123.8; 128.1; 128.9; 130.0; 130.6; 133.9; 134.3; 143.5; 153.5; 155.6. Найдено, %: C 65.61; H 5.65; N 3.53; S 8.40.  $\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{NO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 65.78; H 5.52; N 3.65; S 8.36.

**6-[1-(Метилсульфонил)пирролидин-2-ил]-4-хлорбензол-1,3-диол (2с)** получают по методу I. Выход 0.38 г (82%), белый порошок, т. пл. 227–230 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1152 ( $\text{SO}_2$ ), 1600 (CH Ar), 3390, 3439 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.59–1.95 (3H, м) и 2.07–2.26 (1H, м,  $2\text{CH}_2$ ); 2.89 (3H, с,  $\text{CH}_3$ ); 3.30–3.44 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ); 4.77–4.89 (1H, м, CH); 6.49 (1H, с, H Ar); 7.06 (1H, с, H Ar); 9.61 (1H, с, OH); 9.78 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 24.1; 34.1; 34.5; 49.3; 58.2; 104.0; 109.5; 122.9; 127.8; 152.5; 153.5. Найдено, %: C 45.05; H 4.69; Cl 12.34; N 5.01; S 11.17.  $\text{C}_{11}\text{H}_{14}\text{ClNO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 45.28; H 4.84; Cl 12.15; N 4.80; S 10.99.

**1-[1-(Метилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтаген-2-ол (3с)** получают по методу I. Выход 0.43 г (93%), белый порошок, т. пл. 183–184 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1129 ( $\text{SO}_2$ ), 1583 (CH Ar), 2972, 3063, 3383 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.91–2.02 (1H, м), 2.04–2.12 (1H, м), 2.16–2.24 (1H, м) и 2.25–2.32 (1H, м,  $2\text{CH}_2$ ); 2.83 (3H, с,  $\text{CH}_3$ ); 3.66–3.74 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ); 5.55–5.64 (1H, м, CH); 7.15 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.28 (1H, т,  $J = 7.4$ , H Ar); 7.44 (1H, т,  $J = 7.1$ , H Ar); 7.68 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.78 (1H, д,  $J = 7.8$ , H Ar); 8.18 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 9.78 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 25.9; 33.1; 34.9; 49.7; 56.9; 118.9; 119.1; 122.6; 123.6; 126.3; 128.9; 129.0; 129.2; 132.6; 153.2. Найдено, %: C 61.71; H 6.03; N 4.95; S 10.82.  $\text{C}_{15}\text{H}_{17}\text{NO}_3\text{S}$ . Вычислено, %: C 61.83; H 5.88; N 4.81; S 11.01.

**1-[1-(Метилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтаген-2,7-диол (4с)** получают по методу I. Выход 0.30 г (62%), белый порошок, т. пл. 175–176 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1129 ( $\text{SO}_2$ ), 1590 (CH Ar), 2926, 2977, 3258, 3421 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.89–2.01 (1H, м) и 2.03–2.12 (1H, м,  $\text{CH}_2$ ); 2.15–2.30 (2H, м, CH); 2.79 (3H, с,  $\text{CH}_3$ ); 3.65–3.81 (2H, м,  $\text{CH}_2$ ); 5.44–5.53 (1H, м, CH); 6.85 (1H, д, д,  $^3J = 8.7$ ,  $^4J = 2.2$ , H Ar); 7.00 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.39 (1H, д,  $J = 1.9$ , H Ar); 7.52 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.60 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 9.55 (1H, с, OH); 9.61 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 25.8; 32.7; 35.1; 49.6; 56.9; 105.9; 115.0; 115.4; 116.9; 123.7; 128.9; 130.6; 134.1; 153.5; 155.7. Найдено, %: C 58.81; H 5.33; N 4.75; S 10.29.  $\text{C}_{15}\text{H}_{17}\text{NO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 58.62; H 5.58; N 4.56; S 10.43.

**4-Хлор-6-[1-(этилсульфонил)пирролидин-2-ил]-бензол-1,3-диол (2д)** получают по методу I. Выход 0.22 г (45%), белый порошок, т. пл. 171–172 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1140 ( $\text{SO}_2$ ), 1600 (CH Ar), 3406, 3456 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CD}_3\text{OD}$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.31 (3H, т,  $J = 7.4$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.85–2.02 (3H, м), 2.21–2.34 (1H, м), 3.01 (2H, кв,  $J = 7.4$ ) и 3.54–3.60 (2H, м,  $4\text{CH}_2$ ); 5.01–5.08 (1H, м, CH); 6.44 (1H, с, H Ar); 7.16 (1H, с, H Ar).

Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\text{CD}_3\text{OD}$ ),  $\delta$ , м. д.: 6.7; 24.0; 33.9; 43.8; 48.8; 58.3; 103.4; 110.2; 122.5; 127.8; 152.3; 153.3. Найдено, %: C 47.33; H 5.12; Cl 11.70; N 4.38; S 10.64.  $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{ClNO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 47.14; H 5.27; Cl 11.59; N 4.58; S 10.49.

**1-[1-(Этилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтаген-2-ол (3д)** получают по методу I. Выход 0.10 г (21%), белый порошок, т. пл. 176–177 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1139 ( $\text{SO}_2$ ), 1582 (CH Ar), 2882, 2969, 3409 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.07 (3H, т,  $J = 7.3$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.85–2.00 (1H, м), 2.04–2.13 (1H, м), 2.19–2.33 (2H, м), 2.71–2.86 (2H, м), 3.64–3.71 (1H, м) и 3.76–3.83 (1H, м,  $4\text{CH}_2$ ); 5.62–5.75 (1H, м, CH); 7.16 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.28 (1H, т,  $J = 7.4$ , H Ar); 7.44 (1H, т,  $J = 7.3$ , H Ar); 7.69 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.78 (1H, д,  $J = 7.9$ , H Ar); 8.14 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 9.80 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 8.0; 26.5; 33.1; 44.1; 49.6; 56.5; 118.7; 118.9; 122.6; 123.4; 126.4; 128.9; 129.0; 129.3; 132.7; 153.4. Найдено, %: C 63.18; H 6.15; N 4.77; S 10.49.  $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{NO}_3\text{S}$ . Вычислено, %: C 62.93; H 6.27; N 4.59; S 10.57.

**1-[1-(Этилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтаген-2,7-диол (4д)** получают по методу I. Выход 0.20 г (40%), белый порошок, т. пл. 118–120 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1141 ( $\text{SO}_2$ ), 1592 (CH Ar), 3411 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.06 (3H, т,  $J = 7.3$ ,  $\text{CH}_3$ ); 1.84–2.01 (1H, м), 2.04–2.13 (1H, м), 2.16–2.32 (2H, м), 2.67–2.85 (2H, м) и 3.67–3.86 (2H, м,  $4\text{CH}_2$ ); 5.55–5.67 (1H, м, CH); 6.84 (1H, д,  $J = 6.9$ , H Ar); 6.90 (1H, д,  $J = 8.5$ , H Ar); 7.36 (1H, с, H Ar); 7.52 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.60 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 9.56 (1H, с, OH); 9.62 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 8.0; 26.3; 32.8; 44.3; 49.4; 56.5; 105.6; 115.1; 115.4; 116.7; 123.6; 129.1; 130.6; 131.6; 134.1; 153.7; 155.7. Найдено, %: C 59.95; H 6.11; N 4.51; S 10.18.  $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{NO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 59.79; H 5.96; N 4.36; S 9.98.

**6-[1-(Фенилсульфонил)пирролидин-2-ил]-4-хлорбензол-1,3-диол (2б)** получают по методу II. Выход 0.52 г (79%), белый порошок, т. пл. 148–150 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1150 ( $\text{SO}_2$ ), 1602 (CH Ar), 3438, 3611 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.41–1.52 (1H, м), 1.56–1.75 (3H, м), 3.20–3.29 (1H, м) и 3.51–3.63 (1H, м,  $3\text{CH}_2$ ); 4.75–4.84 (1H, м, CH); 6.51 (1H, с, H Ar); 7.06 (1H, с, H Ar); 7.65 (2H, т,  $J = 7.2$ , H Ar); 7.72 (1H, т,  $J = 7.3$ , H Ar); 7.81 (2H, д,  $J = 7.0$ , H Ar); 9.64 (1H, с, OH); 9.82 (1H, с, OH). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 23.8; 34.0; 49.6; 58.4; 104.0; 109.6; 122.5; 127.6; 127.9; 129.9; 133.5; 137.5; 152.7; 153.5. Найдено, %: C 54.47; H 4.39; Cl 9.86; N 3.80; S 9.22.  $\text{C}_{16}\text{H}_{16}\text{ClNO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 54.31; H 4.56; Cl 10.02; N 3.96; S 9.06.

**1-[1-(Фенилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтаген-2-ол (3б)** получают по методу II. Выход 0.42 г (64%), белый порошок, т. пл. 84–86 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 1159 ( $\text{SO}_2$ ), 1585 ( $\text{CH}_{\text{Ar}}$ ), 3411 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.55–1.73 (1H, м), 2.00–2.12 (1H, м), 2.16–2.37 (2H, м) и 3.79–3.87 (2H, м,  $3\text{CH}_2$ ); 5.58–5.67 (1H, м, CH); 7.00 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.29–7.23 (1H, м, H Ar); 7.39–7.46 (3H, м, H Ar); 7.52–7.58 (1H, м, H Ar); 7.61 (1H, д,  $J = 8.8$ , H Ar); 7.68–7.76 (3H,

м, H Ar); 8.14 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 25.1; 32.4; 49.5; 57.1; 117.5; 117.6; 122.0; 122.7; 125.6; 127.4; 128.3; 128.4; 128.9; 129.2; 132.3 (2C); 137.5; 152.8. Найдено, %: C 68.18; H 5.19; N 3.83; S 8.87.  $\text{C}_{16}\text{H}_{19}\text{NO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 67.97; H 5.42; N 3.96; S 9.07.

**1-[1-(Фенилсульфонил)пирролидин-2-ил]нафтален-2,7-диол (4b)** получают по методу II. Выход 1.18 г (26%), белый порошок, т. пл. 118–119 °С. ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 1155 ( $\text{SO}_2$ ), 1598 (CH Ar), 3278, 3424 (O–H). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.19–1.30 (1H, м), 1.86 (2H, м), 2.07–2.18 (1H, м), 3.63–3.73 (1H, м) и 3.78–3.89 (1H, м,  $3\text{CH}_2$ ); 5.30–5.42 (1H, м, CH); 6.84 (1H, д,  $J = 8.7$ ,  $J = 2.2$ , H Ar); 6.89 (1H, д,  $J = 8.6$ , H Ar); 7.38 (1H, с, H Ar); 7.51 (1H, д,  $J = 8.7$ , H Ar); 7.58–7.65 (4H, м, H Ar); 7.69 (1H, т,  $J = 7.4$ , H Ar); 7.87 (1H, д,  $J = 7.6$ , H Ar). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  (ДМСО- $d_6$ ),  $\delta$ , м. д.: 25.4; 32.3; 50.1; 57.0; 115.0; 115.3; 117.0; 117.0; 123.9; 126.6; 128.0; 129.0; 129.4; 129.5; 130.7; 133.3; 153.6; 155.6. Найдено, %: C 65.16; H 4.97; N 3.98; S 8.55.  $\text{C}_{20}\text{H}_{19}\text{NO}_4\text{S}$ . Вычислено, %: C 65.02; H 5.18; N 3.79; S 8.68.

**Рентгеноструктурное исследование кристаллов соединения 3a** проведено на дифрактометре Bruker SMART Apex II (графитовый монохроматор,  $\lambda(\text{MoK}\alpha) = 0.71073 \text{ \AA}$ ). Кристаллы соединения **3a**,  $\text{C}_{21}\text{H}_{21}\text{NO}_3\text{S}$ , триклинные. При 20 °С:  $a$  8.315(12),  $b$  9.836(14),  $c$  11.323(16)  $\text{ \AA}$ ,  $\alpha$  92.846(15),  $\beta$  103.917(15),  $\gamma$  99.573(16)°;  $V$  882(2)  $\text{ \AA}^3$ ;  $Z$  2;  $d_{\text{выч}}$  1.383  $\text{ г/см}^3$ , пространственная группа  $P\bar{1}$ . Измерены интенсивности 6448 отражений, 1081 из которых с  $I \geq 2\sigma$ . Окончательные значения факторов расходимости  $R$  0.0607,  $wR_2$  0.1. Структура расшифрована и уточнена сначала в изотропном, а затем в анизотропном приближении по программе SHELXL-97.<sup>45</sup> Атомы водорода помещены в вычисленные положения. Рисунки молекул и анализ межмолекулярных взаимодействий выполнены с помощью программы PLATON.<sup>46</sup> Данные PCA структуры **3a** депонированы в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 1487182).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской государственной программы (грант 16-13-10023).

### Список литературы

- Noguchi, T.; Tanaka, N.; Nishimata, T.; Goto, R.; Hayakawa, M.; Sugidachi, A.; Ogawa, T.; Asai, F.; Matsui, Y.; Fujimoto, K. *Chem. Pharm. Bull.* **2006**, *54*, 163.
- Noguchi, T.; Tanaka, N.; Nishimata, T.; Goto, R.; Hayakawa, M.; Sugidachi, A.; Ogawa, T.; Asai, F.; Fujimoto, K. *Chem. Pharm. Bull.* **2007**, *55*, 1494.
- Bhattacharya, S.; Cameron, S.; Dowling, M.; Fernando, D.; Ebner, D.; Filipinski, K.; Kung, D.; Lee, E.; Smith, A.; Tu, M. US Patent 2003212066.
- Mute, V.; Vieira, E.; Wichmann, J. US Patent 6284785.
- Guo, T.; Gu, H.; Hobbs, D. W.; Rokosz, L. L.; Stauffer, T. M.; Jacob, B.; Clader, J. W. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2007**, *17*, 3010.
- Cheng, X.-C.; Wang, Q.; Fang, H.; Tang, W.; Xu, W.-F. *Bioorg. Med. Chem.* **2008**, *16*, 7932.
- Xu, T.; Qiu, S.; Liu, G. *J. Organomet. Chem.* **2011**, *696*, 46.
- Tamaru, Y.; Hojo, M.; Kawamura, S.; Yoshida, Z. *J. Org. Chem.* **1986**, *51*, 4089.

- Schlummer, B.; Hartwig, J. F. *Org. Lett.* **2002**, *4*, 1471.
- Leger, P. R.; Murphy, R. A.; Pushkarskaya, E.; Sarpong, R. *Chem.–Eur. J.* **2015**, *21*, 4377.
- Yin, Y.; Zhao G. *J. Fluorine Chem.* **2007**, *128*, 40.
- Kresze, G.; Wagner, U. *Liebigs Ann. Chem.* **1972**, *762*, 93.
- Hideo, T.; Yoichiro, H.; Takahito, M.; Hiromasa, N.; Masataka, Y. *J. Org. Chem.* **1998**, *63*, 5193.
- O'Broin, C. Q.; Fernández, P.; Martínez, C.; Muñoz, K. *Org. Lett.* **2016**, *18*, 436.
- Yeom, H.-S.; So, E.; Shin, S. *Chem.–Eur. J.* **2011**, *17*, 1764.
- Guo, R.; Huang, J.; Huang, H.; Zhao, X. *Org. Lett.* **2016**, *18*, 504.
- Zhou, L.; Chen, J.; Tan, C. K.; Yeung, Y.-Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 9164.
- Cheng, T.; Meng, S.; Huang, Y. *Org. Lett.* **2013**, *15*, 1958.
- Fan, R.; Wen, F.; Qin, L.; Pu, D.; Wang, B. *Tetrahedron Lett.* **2007**, *48*, 7444.
- Togo, H.; Hoshina, Y.; Muraki, T.; Nakayama, H.; Yokoyama, M. *J. Org. Chem.* **1998**, *63*, 5193.
- Martínez, C.; Muñoz, K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2015**, *54*, 8287.
- Kamijo, S.; Amaoka, Y.; Inoue, M. *Tetrahedron Lett.* **2011**, *52*, 4654.
- Cernak, T. A.; Lambert, T. H. *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 3124.
- Dübon, P.; Farwick, A.; Helmchen, G. *Synlett.* **2009**, 1413.
- Evans, P.; McCabe, T.; Morgan, B. S.; Reau, S. *Org. Lett.* **2005**, *7*, 43.
- Gazizov, A. S.; Smolobochkin, A. V.; Voronina, J. K.; Burilov, A. R.; Pudovik, M. A. *Synth. Commun.* **2015**, *45*, 1215.
- Gazizov, A. S.; Smolobochkin, A. V.; Voronina, J. K.; Burilov, A. R.; Pudovik, M. A. *Tetrahedron* **2015**, *71*, 445.
- Gazizov, A. S.; Smolobochkin, A. V.; Voronina, J. K.; Burilov, A. R.; Pudovik, M. A. *ARKIVOC* **2014**, (iv), 319.
- Gazizov, A. S.; Smolobochkin, A. V.; Burilov, A. R.; Pudovik, M. A. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, *50*, 707. [*Химия гетероцикл. соединений* **2014**, 769.]
- Smolobochkin, A. V.; Gazizov, A. S.; Vagapova, L. I.; Burilov, A. R.; Pudovik, M. A. *Russ. Chem. Bull., Int. Ed.* **2014**, *63*, 284. [*Изв. АН, Сер. хим.* **2014**, 284.]
- Wei, P. H. L.; Bell, S. C.; Childress, S. J. *J. Heterocycl. Chem.* **1966**, *3*, 1.
- Xu, K.; Zhang, S.; Hu, Y.; Zha, Z.; Wang, Z. *Chem.–Eur. J.* **2013**, *19*, 3573.
- King, F. D.; Caddick, S. *Org. Biomol. Chem.* **2011**, *9*, 4361.
- Kamogawa, S.; Ikeda, T.; Kuriyama, M.; Matsumura, Y.; Onomura, O. *Heterocycles* **2010**, *82*, 325.
- Steffan, T.; Renukappa-Gutke, T.; Höfner, G.; Wanner, K. T. *Bioorg. Med. Chem.* **2015**, *23*, 1284.
- Aurrecoechea, J. M.; Suero, R.; de Torres, E. *J. Org. Chem.* **2006**, *71*, 8767.
- de Oliveira, M. C. F.; Santos, L. S.; Pilli, R. A. *Tetrahedron Lett.* **2001**, *42*, 6995.
- Martin, S. F.; Barr, K. J.; Smith, D. W.; Bur, S. K. *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*, 6990.
- Nagasaka, T.; Tamano, H.; Maekawa, T.; Hamaguchi, F. *Heterocycles* **1987**, *26*, 617.
- Myers, E. L.; de Vries, J. G.; Aggarwal, V. K. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2007**, *46*, 1893.
- Camilo, N. S.; Pilli, R. A. *Tetrahedron Lett.* **2004**, *45*, 2821.
- de Godoy, L. A. F.; Camilo, N. S.; Pilli, R. A. *Tetrahedron Lett.* **2006**, *47*, 7853.
- Maki, T.; Araki, Y.; Ishida, Y.; Onomura, O.; Matsumura, Y. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 3371.
- Климова, В. А. *Основные микрометоды анализа органических соединений*; Химия: Москва, 1975, с. 104.
- Sheldrick, G. M. *SHELX-97 (Release 97-2). Programs for Crystal Structure Analysis*; University of Göttingen, 1997.
- Spek, A. L. *Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Adv.* **1990**, *A46*, 34.