

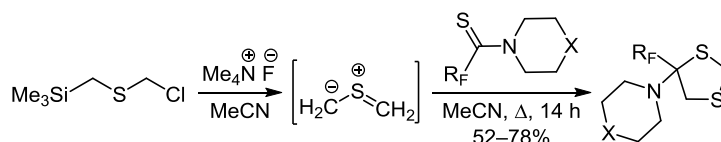
Синтез 4-полифторалкил-1,3-дитиоланов реакцией [3+2]-циклоприсоединения тиокарбонилилида к амидам полифторалкантиокарбоновых кислот

Сергей С. Михайличенко^{1*}, Юрий Н. Маркитанов¹, Тимофей В. Руденко²,
Эдуард Б. Русанов¹, Юрий Г. Шермолович¹

¹ Институт органической химии НАН Украины,
ул. Мурманская, 5, Киев 02660, Украина; e-mail: smykh@ioch.kiev.ua

² НПО "Енамин",
ул. Красноткацкая, 78, Киев 02094, Украина; e-mail: trudenko@mail.enamine.net

Поступило 29.12.2018
Принято 24.01.2019



Новые 4-полифторалкил-1,3-дитиоланы были синтезированы реакцией амидов полифторалкантиокарбоновых кислот с тиокарбонилилидом, генерированными *in situ* путем десилилирования (триметилсилилметил)(хлорметил)сульфида при действии фторида тетраметиламмония.

Ключевые слова: 1,3-дитиолан, полифторалкантиокарбоновые кислоты, тиоамид, тиокарбонилилид, [3+2]-циклоприсоединение.

Синтез фторсодержащих гетероциклов является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей химии биологически активных соединений.¹ Введение атомов фтора или полифторалкильных групп в гетероциклические соединения оказывает существенное влияние на их физические, химические и биологические свойства.² Синтез фторированных гетероциклов в настоящее время стал самостоятельным разделом химии гетероциклических соединений.³

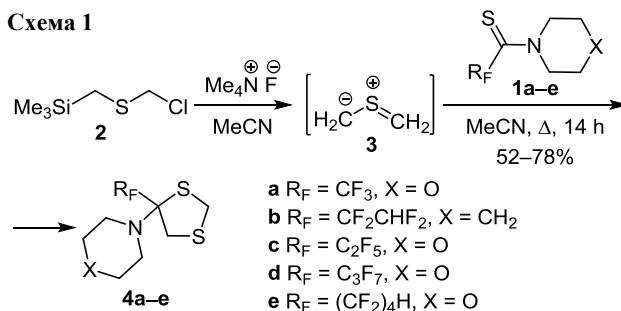
Один из наиболее интенсивно изучающихся подходов к синтезу фторсодержащих гетероциклов заключается в использовании простых реакционноспособных фторированных соединений (строительных блоков).^{1,3,4} Ранее мы показали, что в качестве таких строительных блоков могут использоваться производные полифторалкантиокарбоновых кислот (хлорангидриды, *O*-эфиры, тиоэфиры, амиды), которые реагируют как с диенами по схеме [4+2]-циклоприсоединения,⁵ так и с 1,3-диполями, образуя продукты [3+2]-циклоприсоединения.^{6–8}

В предыдущих работах мы показали высокую активность фторсодержащих тиоамидов в реакциях [3+2]-циклоприсоединения с такими 1,3-диполями, как азометинилиды⁷ и нитрилимиды.⁸ В настоящей работе мы исследовали реакции амидов полифторалкантиокарбоновых кислот **1** с тиокарбонилилидом **3**, генери-

рованным *in situ* из (триметилсилилметил)(хлорметил)сульфида **2** под действием фторида тетраметиламмония. Метод генерирования тиокарбонилилида **3**, который основан на десилилировании сульфида **2** обработкой фторидом цезия в ацетонитриле, был впервые предложен в 1986 г.⁹

Мы нашли, что *N,N*-дизамещенные тиоамиды **1a–e**, содержащие различные полифторалкильные заместители (CF₃, CF₂CHF₂, C₂F₅, C₃F₇, (CF₂)₄H), реагируют с тиокарбонилилидом **3** при кипячении в ацетонитриле с образованием новых 4-полифторалкил-1,3-дитиоланов **4a–e** (схема 1). Отметим, что в литературе известно только два примера синтеза 1,3-дитиоланов, содержащих фторалкильные группы в положении 4.^{10,11}

Схема 1



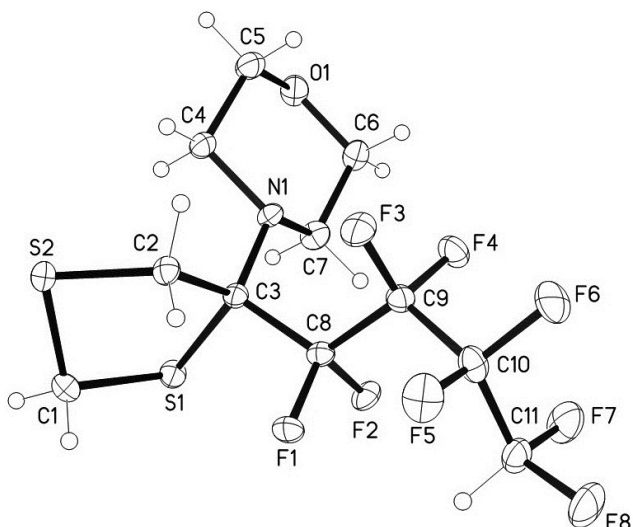


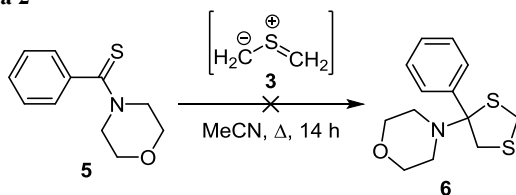
Рисунок 1. Молекулярная структура соединения **4e** в представлении атомов эллипсоидами тепловых колебаний с 50% вероятностью.

Выбор фторида тетраметиламмония как источника фторид-аниона обусловлен тем, что в его присутствии данные реакции протекают более селективно (как показали наши предварительные эксперименты), и в аналогичных условиях циклоаддукты образуются с более высокими выходами по сравнению с реакциями, в которых использовали фторид цезия. Кроме того, фторид тетраметиламмония обладает большей растворимостью в ацетонитриле. Реакции трифтортиоацетамида и *N*-пропилтрифтортиоацетамида с тиокарбониллидом **3** приводили к образованию сложной смеси продуктов.

Строение соединения **4e** подтверждено методом РСА (рис. 1), а строение соединений **4a–d** – данными спектроскопии ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{19}F . В спектрах ЯМР ^{13}C 1,3-дителиолов **4a–e** сигналы ядер четвертичного углерода C-4 дителиолового цикла наблюдаются при 91.8–96.7 м. д. В спектрах ЯМР ^{19}F сигналы ядер фтора групп CF_2 в соединениях **4b–e** проявляются в виде АВ-систем, что обусловлено наличием асимметрического атома углерода в молекулах 1,3-дителиолов.

Следует отметить, что, в отличие от полифторалкантиоамидов **1a–e**, бензотиоамид **5** не реагировал с тиокарбониллидом **3** в аналогичных условиях (схема 2), что подтверждено анализом реакционной смеси с помощью хромато-масс-спектрометрии. Следовательно, полифторалкильный заместитель существенно повышает реакционную способность тиокарбонильной группы тиоамидов, вероятно, вследствие изменения ее поляризуемости.

Схема 2



Важно отметить, что в литературе описаны реакции [3+2]-циклоприсоединения тиокарбониллидов к различным типам тиокарбонильных соединений (ароматическим и алифатическим тиокетонам, дитиоэфирам, тритиокарбонату, 1,3-тиазол-5(4*H*)-тиоам).¹² В свою очередь, нами была показана возможность использования фторсодержащих тиоамидов как дипольарофилов в реакции с тиокарбониллидом, что является новым методом синтеза 4-полифторалкил-1,3-дителиолов, которые содержат диалкиламиногруппу в положении 4.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H зарегистрированы на спектрометре Bruker Avance-400 (400 МГц) в CDCl_3 , внутренний стандарт – ТМС. Спектры ЯМР ^{13}C записаны на спектрометре Bruker Avance-500 (125 МГц), химические сдвиги приведены относительно сигналов растворителя CDCl_3 (δ_{C} 77.2 м. д.). Сигналы ядер углерода отнесены с помощью метода АРТ. Спектры ЯМР ^{19}F зарегистрированы на спектрометре Bruker Avance-400 (376 МГц) в CDCl_3 , внутренний стандарт – C_6F_6 (δ_{F} –162.9 м. д.). Хромато-масс-спектры записаны на приборе Agilent 1100, оснащенный диодно-матричным и масс-селективным детектором Agilent LC/MSD SL, ионизация электро-распылением при атмосферном давлении (70 эВ). Элементный анализ проведен в аналитической лаборатории Института органической химии НАН Украины методом экспресс-гравиметрии (С, Н), методом сжигания по Шенигеру (S) и методом Дюма–Прегля (N). Температуры плавления определены на приборе Voetius. Для колоночной хроматографии (диаметр колонки 2 см, длина колонки 30 см) использован силикагель марки Merck 60 (70–230 мкм). Для тонко-слоевой хроматографии использованы пластины марки Macherey–Nagel, Polygram[®] Sil G/UV254.

Все растворители предварительно высушены и перегнаны согласно стандартным методикам. Фторид тетраметиламмония предварительно высушен в вакууме (0.1 мм Hg) при нагревании (70 °С) в течение 3 сут. Тиоамиды **1a,c**,⁷ **1b,d**¹³ описаны в литературе. (Триметилсилилметил)(хлорметил)сульфид **2** получен по опубликованному методу.¹⁴

1-(Морфолин-4-ил)-2,2,3,3,4,4,5,5-октафторпентан-1-тион (1e).¹⁵ Выход 83%, темно-красная маслянистая жидкость, т. кип. 135–138 °С (12 мм Hg). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 3.68–4.06 (6H, м) и 4.27–4.45 (2H, м, 4CH₂); 6.23 (1H, т. т., $^2J_{\text{HF}} = 52.1$, $^3J_{\text{HF}} = 5.7$, HCF₂). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (*J*, Гц): –98.0 ÷ –98.2 (2F, м, CF₂); –122.4 ÷ –122.6 (2F, м, CF₂); –130.3 ÷ –130.5 (2F, м, CF₂); –138.3 (2F, д. м., $^2J_{\text{FH}} = 52.1$, HCF₂). Найдено, %: С 32.60; Н 2.83; N 4.29; S 9.60. $\text{C}_9\text{H}_9\text{F}_8\text{NOS}$. Вычислено, %: С 32.64; Н 2.74; N 4.23; S 9.68.

Получение производных 1,3-дителиолов 4a–e (общая методика). К раствору 1.0 ммоль тиоамида **1a–e** в 9 мл безводного ацетонитрила при перемешивании добавляют 0.25 г (1.5 ммоль) сульфида **2** и 0.19 г (2.0 ммоль) фторида тетраметиламмония в атмосфере аргона. Реакционную смесь кипятят в колбе с обратным холодиль-

ником в течение 7 ч, затем добавляют 0.25 г (1.5 ммоль) сульфида **2** и 0.19 г (2.0 ммоль) фторида тетраметил-аммония и кипятят еще 7 ч. После охлаждения реакционной смеси до комнатной температуры, осадок отфильтровывают, фильтрат упаривают при пониженном давлении. Остаток хроматографируют на силикагеле (элюент для очистки соединения **4b** – гексан–дихлорметан, 9:1, для очистки остальных соединений – гексан–этилацетат, 19:1).

4-[4-(Трифторметил)-1,3-дитиолан-4-ил]морфолин (4a). Выход 0.15 г (58%), бесцветные кристаллы, т. пл. 60–61 °С. R_f 0.37 (гексан–этилацетат, 9:1). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.80–2.93 (4H, м, CH_2NCH_2); 3.35 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.5$) и 3.43 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.5$, CH_2); 3.63–3.78 (4H, м, CH_2OCH_2); 4.01 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.0$) и 4.06 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.0$, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 36.1 (CH_2); 41.0 (CH_2); 48.9 (CH_2NCH_2); 67.2 (CH_2OCH_2); 91.8 (к, $^2J_{\text{CF}} = 24.8$, CCF_3); 126.1 (к, $^1J_{\text{CF}} = 288.4$, CF_3). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: –67.9 (3F, с, CF_3). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 260 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: С 37.00; Н 4.76; N 5.45; S 24.77. $\text{C}_8\text{H}_{12}\text{F}_3\text{NOS}_2$. Вычислено, %: С 37.05; Н 4.66; N 5.40; S 24.73.

1-[4-(1,1,2,2-Тетрафторэтил)-1,3-дитиолан-4-ил]-пиперидин (4b). Выход 0.15 г (52%), бесцветные кристаллы, т. пл. 70–71 °С. R_f 0.26 (гексан–дихлорметан, 9:1). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.38–1.65 (6H, м, $(\text{CH}_2)_3$); 2.62–2.82 (4H, м, CH_2NCH_2); 3.26 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.8$) и 3.40 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.8$, CH_2); 3.88 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.2$) и 4.05 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.2$, CH_2); 6.16 (1H, т. м, $^2J_{\text{HF}} = 53.1$, HCF_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.4, 26.5 ($(\text{CH}_2)_3$); 35.8 (CH_2); 41.2–41.4 (м, CH_2); 49.5 (CH_2NCH_2); 94.8 (д. д, $^2J_{\text{CF}} = 23.4$, $^2J_{\text{CF}} = 23.1$, CCF_2AF_2); 109.9 (д. д. д. д, $^1J_{\text{CF}} = 249.3$, $^1J_{\text{CF}} = 249.0$, $^2J_{\text{CF}} = 26.1$, $^2J_{\text{CF}} = 25.7$, HCF_2AF_2); 117.3 (д. д. д. д, $^1J_{\text{CF}} = 255.3$, $^1J_{\text{CF}} = 255.0$, $^2J_{\text{CF}} = 27.2$, $^2J_{\text{CF}} = 27.0$, CF_2AF_2). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (J , Гц): –98.5 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 269.0$) и –120.2 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 269.0$, CF_2); –134.6 (1F, д. д. м, $^2J_{\text{FF}} = 296.5$, $^2J_{\text{FH}} = 53.1$) и –141.1 (1F, д. д. м, $^2J_{\text{FF}} = 296.5$, $^2J_{\text{FH}} = 53.1$, HCF_2). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 290 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: С 41.47; Н 5.30; N 4.80; S 22.21. $\text{C}_{10}\text{H}_{15}\text{F}_4\text{NS}_2$. Вычислено, %: С 41.51; Н 5.23; N 4.84; S 22.16.

4-[4-(Пентафторэтил)-1,3-дитиолан-4-ил]морфолин (4c). Выход 0.20 г (65%), бесцветные кристаллы, т. пл. 120–121 °С. R_f 0.38 (гексан–этилацетат, 9:1). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.63–2.91 (4H, м, CH_2NCH_2); 3.31 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.6$) и 3.41 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 13.6$, CH_2); 3.60–3.79 (4H, м, CH_2OCH_2); 3.94 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.5$) и 4.08 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.5$, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 36.2 (CH_2); 41.1–41.3 (м, CH_2); 49.0 (2C, CH_2NCH_2); 66.7 (2C, CH_2OCH_2); 94.9 (д. д, $^2J_{\text{CF}} = 24.6$, $^2J_{\text{CF}} = 24.3$, CCF_2AF_2); 115.6 (д. д. к, $^1J_{\text{CF}} = 262.9$, $^1J_{\text{CF}} = 262.6$, $^2J_{\text{CF}} = 34.9$, $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{AF}_2$); 119.4 (к. д. д, $^1J_{\text{CF}} = 288.5$, $^2J_{\text{CF}} = 36.5$, $^2J_{\text{CF}} = 36.4$, $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{AF}_2$). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (J , Гц): –79.8 (3F, с, CF_3); –99.4 (1F, д, $^2J_{\text{FF}} = 279.0$) и –108.3 (1F, д, $^2J_{\text{FF}} = 279.0$, CF_2). Масс-

спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 310 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: С 34.98; Н 3.97; N 4.55; S 20.70. $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{F}_5\text{NOS}_2$. Вычислено, %: С 34.95; Н 3.91; N 4.53; S 20.73.

4-[4-(Гептафторпропил)-1,3-дитиолан-4-ил]морфолин (4d). Выход 0.28 г (78%), бесцветные кристаллы, т. пл. 121–122 °С. R_f 0.38 (гексан–этилацетат, 9:1). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.64–2.92 (4H, м, CH_2NCH_2); 3.31–3.44 (2H, м, CH_2); 3.61–3.80 (4H, м, CH_2OCH_2); 3.92 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.4$) и 4.05 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.4$, CH_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 35.9 (CH_2); 40.9–41.2 (м, CH_2); 49.1 (CH_2NCH_2); 66.7 (CH_2OCH_2); 95.9–96.5 (м, CCF_2); 107.2–119.9 (м, $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{CF}_2$). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (J , Гц): –82.1 (3F, д. д, $^3J_{\text{FF}} = 15.0$, $^3J_{\text{FF}} = 14.8$, CF_3); –94.7 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 285.2$) и –106.9 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 285.2$, CF_2); –121.7 (1F, д. д. д, $^2J_{\text{FF}} = 291.3$, $^3J_{\text{FF}} = 16.3$, $^3J_{\text{FF}} = 15.9$) и –127.1 (1F, д. д. д, $^2J_{\text{FF}} = 291.3$, $^3J_{\text{FF}} = 17.3$, $^3J_{\text{FF}} = 16.8$, CCF_2). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 360 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: С 33.39; Н 3.46; N 3.86; S 17.91. $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{F}_7\text{NOS}_2$. Вычислено, %: С 33.43; Н 3.37; N 3.90; S 17.85.

4-[4-(1,1,2,2,3,3,4,4-Октафторбутил)-1,3-дитиолан-4-ил]морфолин (4e). Выход 0.27 г (69%), бесцветные кристаллы, т. пл. 124–125 °С. R_f 0.38 (гексан–этилацетат, 9:1). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 2.63–2.93 (4H, м, CH_2NCH_2); 3.30–3.46 (2H, м, CH_2); 3.60–3.81 (4H, м, CH_2OCH_2); 3.92 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.7$) и 4.05 (1H, АВ-система, $J_{\text{AB}} = 10.7$, CH_2); 6.05 (1H, т. м, $^2J_{\text{HF}} = 52.4$, HCF_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 35.9 (CH_2); 40.9–41.2 (м, CH_2); 49.1 (CH_2NCH_2); 66.7 (CH_2OCH_2); 96.3–96.7 (м, CCF_2); 108.0 (т. т, $^1J_{\text{CF}} = 254.9$, $^2J_{\text{CF}} = 30.6$, HCF_2); 108.2–120.0 (м, $\text{CF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2$). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (J , Гц): –93.4 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 285.2$) и –106.4 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 285.2$, CF_2); –119.5 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 298.6$) и –124.5 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 298.6$, CF_2); –130.5 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 289.8$) и –131.6 (1F, д. м, $^2J_{\text{FF}} = 289.8$, CF_2); –136.8 (1F, д. д. м, $^2J_{\text{FF}} = 308.3$, $^2J_{\text{FH}} = 52.4$) и –139.3 (1F, д. д. м, $^2J_{\text{FF}} = 308.3$, $^2J_{\text{FH}} = 52.4$, HCF_2). Масс-спектр, m/z ($I_{\text{отн}}$, %): 392 $[\text{M}+\text{H}]^+$ (100). Найдено, %: С 33.79; Н 3.41; N 3.61; S 16.34. $\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{F}_8\text{NOS}_2$. Вычислено, %: С 33.76; Н 3.35; N 3.58; S 16.39.

Рентгеноструктурное исследование монокристалла соединения 4e. Кристаллы соединения **4e** ($\text{C}_{11}\text{H}_{13}\text{F}_8\text{NOS}_2$, M 391.34) триклинные, пространственная группа $P\bar{1}$, a 6.0541(8), b 9.4832(11), c 13.7649(19) Å; α 105.657(3); β 93.354(3); γ 104.313(4)°; V 730.66(16) Å³; Z 2; $d_{\text{расч}}$ 1.779; μ 0.455 мм^{–1}; $F(000)$ 396. Рентгеноструктурное исследование монокристалла соединения **4e** с линейными размерами 0.19 × 0.29 × 0.40 мм проведено при температуре 123 К на дифрактометре Bruker Smart Apex II (MoK α -излучение, графитовый монохроматор, $\theta_{\text{макс}}$ 26.0°, сегмент сферы – $7 \leq h \leq 7$, $-11 \leq k \leq 11$, $-16 \leq l \leq 16$). Всего было собрано 8577 отражений, из которых 2873 являются независимыми (R -фактор усреднения 0.0254). Структура расшифрована прямым методом и уточнена МНК в полноматричном анизотропном приближении с использованием комплекса программ Bruker SHELXTL.¹⁶ Положения атомов водорода рассчитаны геометрически и уточнены по

модели "наездник". В уточнении использовано 2584 отражения с $I > 2\sigma(I)$ (208 уточняемых параметра, использована весовая схема $\omega = 1/[\sigma^2(F\sigma^2) + (0.0343P)^2 + 0.3097P]$, где $P = (F\sigma^2 + 2Fc^2)/3$. Окончательные значения факторов расходимости $R_1(F)$ 0.0280, $wR_2(F^2)$ 0.0695 по отражениям с $I > 2\sigma(I)$, $R_1(F)$ 0.0324, $wR_2(F^2)$ 0.0724, GOF 1.079 по всем независимым отражениям. Остаточная электронная плотность из разностного ряда Фурье после последнего цикла уточнения 0.35 и -0.35 $e/\text{Å}^3$. Полные кристаллографические данные депонированы в Кембриджском банке структурных данных (депонент CCDC 1887722).

Список литературы

- (a) *Fluorinated Heterocyclic Compounds: Synthesis, Chemistry, and Applications*; Petrov, V. A., Ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, New Jersey, 2009. (b) Gakh, A. A.; Shermolovich, Yu. G. *Curr. Top. Med. Chem.* **2014**, 14, 952.
- (a) Kirk, K. L. *Org. Process Res. Dev.* **2008**, 12, 305. (b) Hagmann, W. K. *J. Med. Chem.* **2008**, 51, 4359. (c) Prakash, G. K. S.; Chacko, S. *Curr. Opin. Drug Discovery Dev.* **2008**, 11, 793.
- (a) Shermolovich, Yu. G.; Pazenok, S. V. *Top. Heterocycl. Chem.* **2012**, 27, 101. (b) *Fluorine in Heterocyclic Chemistry*; Nenajdenko, V. G., Ed.; Springer: Heidelberg, 2014.
- Davis, F. A.; Kasu, P. V. N. *Org. Prep. Proc. Int.* **1999**, 31, 125.
- (a) Timoshenko, V. M.; Siry, S. A.; Rozhenko, A. B.; Shermolovich, Yu. G. *J. Fluorine Chem.* **2010**, 131, 172. (b) Siry, S. A.; Timoshenko, V. M. *Tetrahedron Lett.* **2010**, 51, 6406. (c) Mikhailichenko, S. S.; Bouillon, J.-P.; Besson, T.; Shermolovich, Yu. G. *Tetrahedron Lett.* **2010**, 51, 990.
- Млостонь, Г.; Романьски, Я.; Русанов, Э. Б.; Чернега, А. Н.; Шермолович, Ю. Г. *Журн. орган. химии* **1995**, 31, 1027.
- Mykhaylychenko, S. S.; Siry, S. A.; Pikun, N. V.; Shermolovich, Yu. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2015**, 51, 861. [*Химия гетероцикл. соединений* **2015**, 51, 861.]
- Mykhaylychenko, S. S.; Pikun, N. V.; Rusanov, E. B.; Rozhenko, A. B.; Shermolovich, Yu. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2017**, 53, 1268. [*Химия гетероцикл. соединений* **2017**, 53, 1268.]
- Hosomi, A.; Matsuyama, Y.; Sakurai, H. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1986**, 1073.
- Middleton, W. J.; Sharkey W. H. *J. Org. Chem.* **1965**, 30, 1384.
- Popkova, V. Ya.; Bekker, R. A.; Mysov, E. I.; Galakhov, M. V.; Knunyants, I. L. *Bull. Acad. Sci. USSR, Div. Chem. Sci.* **1985**, 34, 2536. [*Изв. АН СССР, Сер. хим.* **1985**, 2740.]
- (a) Mloston, G.; Linden, A.; Heimgartner, H. *Helv. Chim. Acta* **1991**, 74, 1386. (b) Huisgen, R.; Li, X.; Mloston, G.; Fulka, C. *Eur. J. Org. Chem.* **2000**, 1695.
- Mykhaylychenko, S. S.; Bouillon, J.-P.; Shermolovich, Yu. G. *J. Fluorine Chem.* **2009**, 130, 878.
- Karlson, S.; Högberg, H.-E. *Org. Lett.* **1999**, 1, 1667.
- Pikun, N. V.; Mykhaylychenko, S. S.; Rusanov, E. B.; Shermolovich, Yu. G. *Russ. J. Org. Chem.* **2013**, 49, 1572. [*Журн. орган. химии* **2013**, 49, 1597.]
- Sheldrick, G. M. *Acta Crystallogr., Sect. A: Found. Crystallogr.* **2008**, A64, 112.