

Синтез 5-(полифторалкил)-1,3-тиазолидинов из производных полифторалкантиокарбоновых кислот

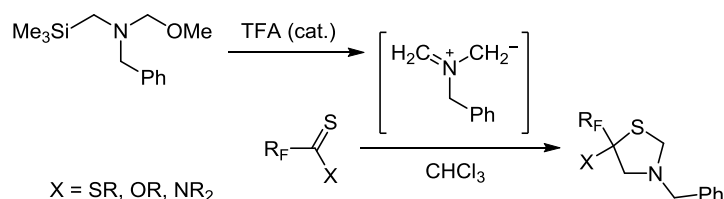
Сергей С. Михайличенко^{1,2}, Сергей А. Серый¹,
Надежда В. Пикун¹, Юрий Г. Шермолович^{1*}

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

² НПО "Енамин", ул. Александра Матросова, 23, Киев 01103, Украина

Поступило 9.09.2015

Принято 3.10.2015



Новые 5-(полифторалкил)-1,3-тиазолидины были синтезированы реакцией производных полифторалкантиокарбоновых кислот с азометин-илидом, генерированным *in situ* путем кислотно-катализируемого десилилирования *N*-бензил-*N*-(метоксиметил)-*N*-[(триметилсилил)метил]амин.

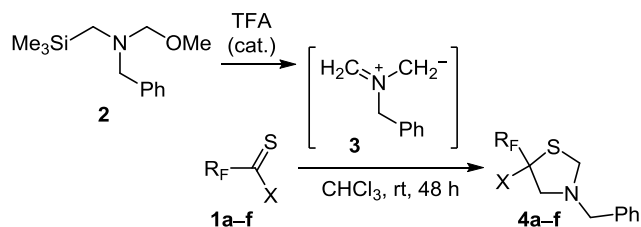
Ключевые слова: азометин-илид, дитиоэфир, полифторалкантиокарбоновые кислоты, 1,3-тиазолидин, тиоамид, тиоэфир, циклоприсоединение.

Синтез фторсодержащих гетероциклических соединений является одной из наиболее интенсивно развивающихся областей химии биологически активных соединений.^{1,2} Введение атомов фтора или полифторалкильных групп в гетероциклические соединения оказывает существенное влияние на их физические, химические и биологические свойства.³ Один из наиболее интенсивно изучающихся подходов к синтезу фторсодержащих гетероциклов заключается в использовании простых реакционноспособных фторсодержащих молекул (строительных блоков).³ 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

В настоящей работе мы исследовали реакции производных полифторалкантиокарбоновых кислот **1** с азометин-илидом **3**, генерированным *in situ* кислотно-катализируемым десилилированием α -силиламина **2**.

Мы нашли, что дитиоэфир **1a**^{5a} реагирует с азометин-илидом **3** с образованием 1,3-тиазолидина **4a** (табл. 1). Соединение **4a** было выделено с выходом 86% в виде смеси диастереомеров в соотношении 53:47, определен-

Таблица 1. Выходы продуктов реакции производных полифторалкантиокарбоновых кислот **1a–f** с азометин-илидом **3**



Исходное соединение	R _F	X	Продукт	Выход, %
1a	CF ₂ CHF ₂	SCH(Me)Ph	4a	86
1b	CF ₂ CHF ₂		4b	90
1c	CF ₃	Морфолин-4-ил	4c	76
1d	C ₂ F ₅	Морфолин-4-ил	4d	80
1e	CF ₂ CHF ₂	Пиперидин-1-ил	4e	82
1f	C ₃ F ₇	Морфолин-4-ил	4f	77

ном по данным жидкостной хромато-масс-спектрометрии. Аналогично данная реакция протекала и с *O*-ментиловым эфиром тетрафторпропионовой кислоты **1b**,^{5a} в результате которой был получен 1,3-тиазолидин **4b**, по данным газовой хромато-масс-спектрометрии представляющий собой смесь диастереомеров в соотношении 56:44.

Данная реакция была применена также к амидам полифторалкантиокарбонных кислот, содержащим фторалкильные заместители различной длины ($R_F = CF_3, CF_2CF_2H, C_2F_5, C_3F_7$). Оказалось, что в данных условиях реагировали только *N,N*-дизамещенные тиамиды **1c–f**, образуя соответствующие 1,3-тиазолидины **4c–f**, тогда как трифтортиоацетамид и *N*-пропилтрифтортиоацетамид в данную реакцию не вступали.

Строение соединений **4a–f** подтверждено данными спектроскопии ЯМР 1H , ^{13}C и ^{19}F , а состав – данными масс-спектрометрии и элементного анализа.

Следует отметить, что в литературе известны немногочисленные примеры реакций [3+2] циклоприсоединения азометин-илида к тиокарбонильным соединениям (тиокетонам,^{7a–c} дитиоэфиром,^{6,7b} тритиокарбонату,^{7b} 1,3-тиазол-5(4*H*)-тионом^{7d–f}). В свою очередь, нами была показана возможность использования тиоэфиров и тиамидов как диполярофилов в реакции с азометин-илидами.

Таким образом, в данной работе предложен новый метод синтеза фторсодержащих 1,3-тиазолидинов, содержащих различные заместители в положении 5, из производных полифторалкантиокарбонных кислот.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР 1H зарегистрированы на приборах Bruker Avance-400 (400 МГц, соединение **4a**) и Varian VXR-300 (300 МГц, остальные соединения) в $CDCl_3$, внутренний стандарт – ТМС. Спектры ЯМР ^{13}C зарегистрированы на приборе Bruker Avance-400 (100 МГц), химические сдвиги приведены относительно сигнала растворителя $CDCl_3$ (δ_C 77.2 м. д.). Сигналы ядер углерода отнесены с помощью метода АРТ. Спектры ЯМР ^{19}F зарегистрированы на приборе Varian Gemini-200 (188 МГц) в $CDCl_3$, внутренний стандарт C_6F_6 (δ_F –162.9 м. д.). Масс-спектр FAB соединения **4b** записан на масс-спектрометре 7070 EQ VG Analytical (энергия пучка аргона 6 эВ). Масс-спектры ЖХ/МС остальных соединений 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 выполнен 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 30 см) использован силикагель марки Merck 60 (70–230 мкм), элюент $CHCl_3$ –петролейный эфир, 1:1. Для тонкослойной хроматографии использованы пластины марки Macherey-Nagel, Polygram® Sil G/UV254. Все раствори-

тели предварительно высушены и перегнаны согласно стандартным методикам. Соединения **1a,b**,^{5a} и **1e,f**,⁸ описаны в литературе. Все исходные тиамиды получены по опубликованному методу.⁸

4-(2,2,2-Трифторэтантиоил)морфолин (1c). Выход 93%, бледно-желтые кристаллы, т. пл. 45–46 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м. д.: 3.72–3.98 (6H, м) и 4.24–4.35 (2H, м, $4CH_2$). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: –62.7 (3F, с, CF_3). Найдено, %: С 36.08; Н 4.12; N 7.11; S 15.98. $C_6H_8F_3NOS$. Вычислено, %: С 36.18; Н 4.05; N 7.03; S 16.10.

4-(2,2,3,3-Пентафторпропантиоил)морфолин (1d). Выход 86%, желтые кристаллы, т. пл. 61–62 °С. Спектр ЯМР 1H , δ , м. д.: 3.67–4.09 (6H, м) и 4.22–4.43 (2H, м, $4CH_2$). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д.: –80.7 (3F, с, CF_3); –104.7 (2F, с, CF_2). Найдено, %: С 33.71; Н 3.31; N 5.70; S 12.90. $C_7H_8F_5NOS$. Вычислено, %: С 33.74; Н 3.24; N 5.62; S 12.87.

Получение производных 1,3-тиазолидинов 4a–f (общая методика). К раствору 1 ммоль производного полифторалкантиокарбонной кислоты **1a–f** в 8 мл $CHCl_3$ добавляют 1.2 ммоль амина **2** и 2–3 капли трифторуксусной кислоты. Реакционную смесь перемешивают 24 ч при комнатной температуре, добавляют 0.5 ммоль амина **2** и перемешивают еще 24 ч. Затем растворитель упаривают в вакууме, а остаток хроматографируют на силикагеле.

3-Бензил-5-[(1-фенилэтил)тио]-5-(1,1,2,2-тетрафторэтил)-1,3-тиазолидин (4a). Выход 0.36 г (86%), желтое масло, R_f 0.56 ($CHCl_3$ – петролейный эфир, 1:1). Спектр ЯМР 1H , δ , м. д. (*J*, Гц) (смесь двух диастереомеров в соотношении 47:53): 1.64 (1.41H, д, $^3J = 6.8$, CH_3); 1.66* (1.59H, д, $^3J = 7.5$, CH_3); 3.16* (0.53H, АВ система, $J_{AB} = 13.8$) и 3.36* (0.53H, АВ система, $J_{AB} = 13.8$, CH_2); 3.35 (0.47H, АВ система, $J_{AB} = 13.2$) и 3.50 (0.47H, АВ система, $J_{AB} = 13.2$, CH_2); 3.80* (0.53H, АВ система, $J_{AB} = 13.8$, CH_2); 3.81–3.89 (0.94H, м, CH_2); 4.10 (0.47H, АВ система, $J_{AB} = 9.7$, CH_A); 4.16–4.26 (1.53H, м, CH_B , CH_2^*); 4.27* (0.53H, к, $^3J = 7.5$, $CHMe$); 4.33 (0.47H, к, $^3J = 6.8$, $CHMe$); 6.12* (0.53H, т. д. д, $^2J_{HF} = 53.0$, $^3J_{HF} = 7.6$, $^3J_{HF} = 4.0$, CF_2H); 6.42 (0.47H, т. д. д, $^2J_{HF} = 53.2$, $^3J_{HF} = 7.4$, $^3J_{HF} = 3.7$, CF_2H); 7.02–7.58** (10H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (*J*, Гц): 24.1 (CH_3); 25.2* (CH_3); 47.7 ($CHMe$); 47.9* ($CHMe$); 58.7 (CH_2); 58.8* (CH_2); 62.6* (CH_2); 63.0 (CH_2); 65.0* (CH_2); 66.2 (CH_2); 72.1* (д. д, $^2J_{CF} = 23.0$, $^2J_{CF} = 21.0$, CH_2-C-CF_2); 72.2 (д. д, $^2J_{CF} = 23.0$, $^2J_{CF} = 21.0$, CH_2-C-CF_2); 106.6–120.0** (м, CF_2CF_2H); 127.1**, 127.4** (2C), 127.5**, 127.6**, 128.5** (2C), 128.7**, 128.8**, 129.0**, 129.1** (С Ph); 138.4 (C-1 Ph); 138.5* (C-1 Ph); 144.1 (C-1' Ph); 144.3* (C-1' Ph). Спектр ЯМР ^{19}F , δ , м. д. (*J*, Гц): –108.7 (0.47F, АВ система, $J_{AB} = 259.1$) и –117.4 (0.47F, АВ система, $J_{AB} = 259.1$, CF_2); –110.1* (0.53F, АВ система, $J_{AB} = 261.1$) и –118.1* (0.53F, АВ система, $J_{AB} = 261.1$, CF_2); –135.0 ÷ –138.9** (2F, м, CF_2H). Масс-спектр, *m/z*: 416 $[M+H]^+$. Найдено, %: С 57.90; Н 5.07; N 3.42;

* Здесь и далее сигналы преобладающего изомера отмечены одной звездочкой, сигналы обоих диастереомеров – двумя звездочками.

S 15.49. C₂₀H₂₁F₄N₂S. Вычислено, %: С 57.81; Н 5.09; N 3.37; S 15.43.

3-Бензил-5-[[1R,2S,5R)-2-изопропил-5-метилциклогексил]окси]-5-(1,1,2,2-тетрафторэтил)-1,3-тиазолидин (4b). Выход 0.39 г (90%), светло-желтое масло, R_f 0.50 (CHCl₃ – петролейный эфир, 1:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц) (смесь двух диастереомеров в соотношении 44:56): 0.71 (1.32H, д, ³J = 7.0, 5'-CH₃); 0.79* (1.68H, д, ⁴J = 6.9, 5'-CH₃); 0.82–1.77** (13H, м, CH(CH₃)₂, 2',5'-CH, 3',4'-CH₂, 6'-CH_{ax}); 1.90–2.10 (1.56H, м, 6'-CH_{eq}*, CHMe₂**); 2.41 (0.44H, д, м, ²J = 12.0, 6'-CH_{eq}); 2.79* (0.56H, АВ система, ²J = 11.4) и 3.35* (0.56H, АВ система, ²J = 11.4, CH₂); 3.15 (0.44H, АВ система, ²J = 12.0) и 3.26 (0.44H, АВ система, ²J = 12.0, CH₂); 3.48* (0.56H, АВ система, ²J = 7.2, CH_A); 3.57–3.87 (2.56H, м, CH₂, CH₂*, CH_B*); 3.97 (0.44H, д. д. д, ³J = 10.6, ³J = 10.1, ³J = 4.1, 1'-CH); 4.06–4.14 (0.88H, м, CH₂); 4.18* (0.56H, д. д. д, ³J = 10.6, ³J = 10.1, ³J = 4.2, 1'-CH); 5.89–6.34** (1H, м, CF₂H); 7.28–7.40** (5H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 16.0 (CH₃); 16.5* (CH₃); 21.7 (CH₃); 21.8* (CH₃); 22.4** (CH₃); 23.1* (CH₂); 23.2 (CH₂); 24.7* (CH); 25.2 (CH); 31.6 (CH); 31.9* (CH); 34.4* (CH₂); 34.5 (CH₂); 43.4 (CH₂); 43.5* (CH₂); 48.8 (CH); 49.3* (CH); 58.1* (CH₂); 58.9 (CH₂); 59.0 (CH₂); 59.3* (CH₂); 62.8–63.0* (м, CH₂–C–CF₂); 64.1–64.4 (м, CH₂–C–CF₂); 75.1* (CH–O); 76.8 (CH–O); 99.9–100.8** (м, CH₂–C–CF₂); 104.2–118.0** (м, CF₂CF₂H); 127.7 (C-4 Ph); 127.8* (C-4 Ph); 128.6 (2C Ph); 128.7* (2C Ph); 128.9* (2C Ph); 129.0 (2C Ph); 137.7* (C-1 Ph); 137.8 (C-1 Ph). Спектр ЯМР ¹⁹F, δ, м. д. (J, Гц): –119.5 (0.44F, д. д, ²J = 257.4, ³J = 11.9) и –126.9 (0.44F, д, ²J = 257.4, CF₂); –120.5* (0.56F, д. д, ²J = 260.6, ³J = 12.1) и –127.7* (0.56F, д, ²J = 260.6, CF₂); –137.7 (0.44F, д. д. д, ²J = 299.0, ²J_{FH} = 52.3, ³J = 11.9) и –140.2 (0.44F, д. д, ²J = 299.0, ²J_{FH} = 52.3, CF₂H); –138.6* (0.56F, д. д. д, ²J = 299.5, ²J_{FH} = 52.5, ³J = 12.1) и –140.5* (0.56F, д. д, ²J = 299.5, ²J_{FH} = 52.5, CF₂H). Масс-спектр, m/z: 432 [M–H][–]. Найдено, %: С 60.92; Н 7.32; N 3.27; S 7.35. C₂₂H₃₁F₄N₂OS. Вычислено, %: С 60.95; Н 7.21; N 3.23; S 7.40.

4-[3-Бензил-5-(трифторметил)-1,3-тиазолидин-5-ил]-морфолин (4c). Выход 0.25 г (76%), бесцветное масло, R_f 0.27 (CHCl₃ – петролейный эфир, 4:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.76–2.96 (4H, м, CH₂NCH₂ морфолин); 3.05 (1H, АВ система, J_{AB} = 12.8) и 3.39 (1H, АВ система, J_{AB} = 12.8, CH₂); 3.63–3.77 (4H, м, CH₂OCH₂); 3.84 (1H, АВ система, J_{AB} = 13.3) и 3.90 (1H, АВ система, J_{AB} = 13.3, CH₂); 4.05 (1H, АВ система, J_{AB} = 8.6) и 4.15 (1H, АВ система, J_{AB} = 8.6, CH₂); 7.28–7.40 (5H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 49.9 (2C, CH₂NCH₂ морфолин); 58.8 (CH₂); 60.8 (CH₂); 61.5 (CH₂); 67.6 (2C, CH₂OCH₂); 88.1 (к, ²J_{CF} = 24.2, C–CF₃); 126.7 (к, ¹J_{CF} = 288.8, CF₃); 127.7 (C-4 Ph); 128.6 (2C Ph); 128.8 (2C Ph); 138.3 (C-1 Ph). Спектр ЯМР ¹⁹F, δ, м. д. (J, Гц): –67.0 (3F, с, CF₃). Масс-спектр, m/z: 333 [M+H]⁺. Найдено, %: С 54.17; Н 5.82; N 8.51; S 9.70. C₁₅H₁₉F₃N₂OS. Вычислено, %: С 54.20; Н 5.76; N 8.43; S 9.65.

4-[3-Бензил-5-(пентафторэтил)-1,3-тиазолидин-5-ил]морфолин (4d). Выход 0.31 г (80%), бесцветные

кристаллы, т. пл. 74–75 °С. R_f 0.30 (CHCl₃ – петролейный эфир, 1:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.55–2.81 (5H, м, CH_A, CH₂NCH₂ морфолин); 3.29 (1H, АВ система, J_{AB} = 11.7, CH_B); 3.53 (1H, АВ система, J_{AB} = 6.9) и 3.99 (1H, АВ система, J_{AB} = 6.9, CH₂); 3.58–3.75 (6H, м, CH₂, CH₂OCH₂); 7.23–7.40 (5H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 48.9 (CH₂); 49.0 (CH₂); 57.4 (CH₂); 58.9 (CH₂); 60.6 (CH₂); 66.8 (2C, O(CH₂)₂); 87.7 (д. д, ²J_{CFa} = 23.2, ²J_{CFb} = 23.1, CH₂–C–CF₂); 109.0–121.5 (2C, м, CF₂CF₃); 127.8 (C-4 Ph); 128.6 (2C Ph); 128.7 (2C Ph); 137.5 (C-1 Ph). Спектр ЯМР ¹⁹F, δ, м. д. (J, Гц): –80.6 (3F, с, CF₃); –105.1 (1F, АВ система, J_{AB} = 281.3) и –108.1 (1F, АВ система, J_{AB} = 281.3, CF₂). Масс-спектр, m/z: 383 [M+H]⁺. Найдено, %: С 50.27; Н 5.04; N 7.28; S 8.45. C₁₆H₁₉F₅N₂OS. Вычислено, %: С 50.26; Н 5.01; N 7.33; S 8.38.

1-[3-Бензил-5-(1,1,2,2-тетрафторэтил)-1,3-тиазолидин-5-ил]пиперидин (4e). Выход 0.30 г (82%), желтое масло, R_f 0.63 (CHCl₃ – петролейный эфир, 1:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 1.38–1.64 (6H, м, 3CH₂ пиперидин); 2.60–2.74 (4H, м, CH₂NCH₂ пиперидин); 2.81 (1H, АВ система, J_{AB} = 11.7) и 3.25 (1H, АВ система, J_{AB} = 11.7, CH₂); 3.56 (1H, АВ система, J_{AB} = 7.1) и 3.92 (1H, АВ система, J_{AB} = 7.1, CH₂); 3.66 (1H, АВ система, J_{AB} = 13.1) и 3.72 (1H, АВ система, J_{AB} = 13.1, CH₂); 5.90–6.33 (1H, м, CF₂H); 7.23–7.39 (5H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 24.5 (CH₂ пиперидин); 26.6 (2CH₂ пиперидин); 49.6 (CH₂ пиперидин); 49.7 (CH₂ пиперидин); 57.5 (CH₂); 59.0 (CH₂); 61.0–61.3 (м, CH₂–C–CF₂); 87.7 (д. д, ²J_{CF} = 22.8, ²J_{CF} = 22.4, CH₂–C–CF₂); 107.0–120.5 (2C, м, CF₂CF₂H); 127.6 (C-4 Ph); 128.6 (2C Ph); 128.8 (2C Ph); 138.0 (C-1 Ph). Спектр ЯМР ¹⁹F, δ, м. д. (J, Гц): –104.9 (1F, АВ система, J_{AB} = 265.9) и –119.8 (1F, АВ система, J_{AB} = 265.9, CF₂); –136.4 (1F, д. д, ²J = 296.1, ²J_{FH} = 53.1) и –141.4 (1F, д. д, ²J = 296.1, ²J_{FH} = 53.1, CF₂H). Масс-спектр, m/z: 363 [M+H]⁺. Найдено, %: С 56.32; Н 6.14; N 7.75; S 8.87. C₁₇H₂₂F₄N₂S. Вычислено, %: С 56.34; Н 6.12; N 7.73; S 8.85.

4-[3-Бензил-5-(гептафторпропил)-1,3-тиазолидин-5-ил]морфолин (4f). Выход 0.33 г (77%), желтое масло, R_f 0.34 (CHCl₃ – петролейный эфир, 1:1). Спектр ЯМР ¹H, δ, м. д. (J, Гц): 2.57–2.83 (5H, м, CH_A, CH₂NCH₂ морфолин); 3.30–3.43 (1H, м, CH_B); 3.52 (1H, АВ система, J_{AB} = 7.2) и 3.99 (1H, АВ система, J_{AB} = 7.2, CH₂); 3.58–3.77 (6H, м, CH₂, CH₂OCH₂ морфолин); 7.23–7.41 (5H, м, Н Ph). Спектр ЯМР ¹³C, δ, м. д. (J, Гц): 49.0 (CH₂); 49.1 (CH₂); 57.2 (CH₂); 58.9 (CH₂); 60.3–60.6 (м, CH₂–C–CF₂); 66.8 (2C, CH₂OCH₂); 88.8 –89.5 (м, CH₂–C–CF₂); 109.0–120.1 (3C, м, CF₃CF₂CF₂); 127.8 (C-4 Ph); 128.6 (2C Ph); 128.7 (2C Ph); 137.6 (C-1 Ph). Спектр ЯМР ¹⁹F, δ, м. д. (J, Гц): –81.9 ÷ –82.3 (3F, м, CF₃); –100.6 (1F, АВ система, J_{AB} = 287.3) и –106.7 (1F, АВ система, J_{AB} = 287.3, CF₂); –122.1 (1F, АВ система, J_{AB} = 290.4) и –129.0 (1F, АВ система, J_{AB} = 290.4, CF₂). Масс-спектр, m/z: 433 [M+H]⁺. Найдено, %: С 47.20; Н 4.47; N 6.52; S 7.39. C₁₇H₁₉F₇N₂OS. Вычислено, %: С 47.22; Н 4.43; N 6.48; S 7.42.

Список литературы

- (a) *Fluorinated Heterocyclic Compounds: Synthesis, Chemistry, and Applications*; Petrov, V. A., Ed.; John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2009. (b) *Fluorine in Heterocyclic Chemistry*; Nenajdenko, V. G., Ed.; Springer, Heidelberg, New York, London, 2014. (c) Gakh, A. A.; Shermolovich, Yu. *Curr. Top. Med. Chem.* **2014**, 14, 952. (d) Wang, J.; Sánchez-Roselló, M.; Aceña, J. L.; del Pozo, C.; Sorochinsky, A. E.; Fustero, S.; Soloshonok, V. A.; Liu, H. *Chem. Rev.* **2014**, 114, 2432.
- (a) Lipunova, G. N.; Nosova, E. V.; Charushin, V. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, 50, 764. [Химия гетероцикл. соединений **2014**, 831.] (b) Saloutina, L. V.; Zapevalov, A. Ya.; Slepukhin, P. A.; Kodess, M. I.; Saloutin, V. I.; Chupakhin, O. N. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2014**, 50, 958. [Химия гетероцикл. соединений **2014**, 1040.] (c) Mykhaylychenko, S. S.; Pikun, N. V.; Rusanov, E. B.; Shermolovich, Yu. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2015**, 51, 128. [Химия гетероцикл. соединений **2015**, 51, 128.]
- (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.
- 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.; Шермолевич, Ю. Г. *Журн. орган. химии* **1995**, 31, 1027.
- (a) Padwa, A.; Dent, W. *J. Org. Chem.* **1987**, 52, 235. (b) Planchenault, D.; Wisedale, R.; Gallagher, T.; Hales, N. J. *J. Org. Chem.* **1997**, 62, 3438. (c) Gerbert, A.; Linden, A.; Heimgartner, H. *Heterocycles* **2001**, 54, 691. (d) Gerbert, A.; Linden, A.; Mloston, G.; Heimgartner, H. *Polish J. Chem.* **2003**, 77, 867. (e) Gerbert, A.; Heimgartner, H. *Helv. Chim. Acta* **2002**, 85, 2073. (f) Mloston, G.; Linden, A.; Heimgartner, H. *Helv. Chim. Acta* **1998**, 81, 558.
- Mykhaylychenko, S. S.; Bouillon, J.-P.; Shermolovich, Yu. G. *J. Fluorine Chem.* **2009**, 130, 878.