

УДК 547.539.14:547.279.53

DOI: 10.15372/KhUR2023509

EDN: GIBTHQ

Синтез 1-алкилсульфонил-4-Х-2,3,5,6-тетрафторбензолов на основе сульфанильных производных

Б. В. КОЩЕЕВ, А. М. МАКСИМОВ

*Новосибирский институт органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН,
Новосибирск (Россия)**E-mail: maksimov@nioch.nsc.ru*

Аннотация

Взаимодействием алкил(4-Х-2,3,5,6-тетрафторфенил)сульфонов (Х = Н, CF₃), содержащих в качестве алкильной компоненты диформетильную и бензильную группы, с пероксидом водорода в уксусной или трифторуксусной кислоте получены соответствующие сульфанильные производные. В случае (диформетил)[4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторфенил]сульфана установлено влияние используемой кислоты на результат реакции. Показана возможность масштабирования синтеза 1-алкилсульфонил-2,3,5,6-тетрафторбензолов до десятков грамм. Выходы продуктов составили 84–97 %.

Ключевые слова: полифторароматические соединения, сульфоны, сульфаны, пероксид водорода

ВВЕДЕНИЕ

Фторсодержащие органические соединения в настоящее время находят широкое практическое применение [1–3]. Среди таких соединений особый интерес представляют арены, содержащие алкилсульфонильную группу. Например, фторалкилсульфониларены могут использоваться в качестве разбавителей экстракционных смесей для обработки радиоактивных отходов [4, 5]. Алкилсульфонилфторарены представляют интерес в качестве электролитов для литий-ионных аккумуляторов [6, 7], а также в медицине [8–10].

Основным методом синтеза полифторпроизводных алкилсульфониларенов является окисление соответствующих сульфонов [11–14]. Такие соединения могут быть получены также при взаимодействии полифтораренсульфонилбромидов с алкенами [15, 16]. При этом известные примеры бензил- и диформетилсульфонилполифтораренов ограничиваются лишь пен-

тафторфенильными производными [13, 14], несмотря на прикладной интерес к бензил- и диформетилсульфонильным производным аренов и гетероаренов [17–19]. В связи с этим заслуживает внимание разработка методов синтеза таких соединений на основе коммерчески доступных полифторбензолов или полифторбензолтиолов, например: пентафторбензола, октафтортолуола, 2,3,5,6-тетрафторбензолтиола и 4-трифторметил-2,3,5,6-тетрафторбензолтиола.

Цель данной работы – синтез бензил- и диформетилсульфонилтетрафторбензолов, содержащих в положении 4 атом водорода или трифторметильную группу.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы

Диформетил(тетрафторфенил)сульфаны и бензил(тетрафторфенил)сульфаны получены согласно [14] и [20] соответственно. Пероксид

водорода использовался в виде 33 % водного раствора (CAS 7722-84-1). Остальные реактивы и растворители имели квалификацию не ниже "ч." и были коммерчески доступными.

Методы исследования

Спектры ЯМР регистрировали на приборах Bruker AV-300 (США, 300.13 МГц (^1H), 282.36 МГц (^{19}F)), Bruker AV-400 (США, 100.61 МГц (^{13}C)) и Bruker DRX-500 (США, 500.13 МГц (^1H), 125.76 МГц (^{13}C)) в растворах в CDCl_3 (для ^1H , ^{13}C и ^{19}F) или CD_3CN (для ^1H , ^{13}C). Химические сдвиги измеряли относительно тетраметилсилана (для ^1H и ^{13}C) или CFCl_3 (для ^{19}F). ИК-спектры получены на приборе Bruker Vector 22 IR (США) в таблетках KBr. УФ-спектры регистрировали на приборе Hewlett Packard 8453 UV (США) для растворов исследуемых образцов в этаноле. Молекулярные массы и элементный состав определены методом масс-спектрометрии высокого разрешения на приборе Thermo Electron DFS (США, номинальная энергия ионизации 70 эВ). Для анализа смесей методом хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) использовали хроматограф HP 5890 (США) с масс-селективным детектором HP 5971. Энергия ионизирующих электронов 70 эВ. Вещества разделяли с помощью колонки HP-5 (30 м $\times$ 0.25 мм $\times$ 0.25 мм, газ-носитель гелий, скорость потока 1 мл/мин). Температура колонки 50–280 °С, температура источника ионов 173 °С. Температуры плавления ($T_{\text{пл}}$) определяли с помощью прибора Mettler Toledo Thermosystem FP-90 (Швейцария). Элементный анализ выполнен на CHN-анализаторе Carlo Erba (Италия) с модифицированной трубкой для сжигания образца [21], содержание фтора после сжигания образца определяли методом спектрофотометрии [22], содержание серы после сжигания образца – титрованием раствором нитрата бария [23].

Синтез 4-замещенных 1-алкилсульфонил-2,3,5,6-тетрафтораренов. Общая методика

К сульфону добавляли карбоновую кислоту, затем пероксид водорода, далее перемешивали реакционную смесь при указанной ниже температуре. Протекание процесса контролировали с помощью спектроскопии ЯМР ^{19}F . После окончания реакции в случае вариантов 1–3, 5–7 полученную массу охлаждали до –20 °С (в случае вариантов 5–7 перед охлаждением добавляли двукратное по отношению к общему объему H_2O_2 и кислоты количество воды), выпавшие кри-

сталлы отфильтровывали, промывали 5 % раствором Na_2CO_3 (2 $\times$ 300 мл) для удаления остатков кислоты, потом водой до нейтральной реакции, затем высушивали в токе воздуха.

В случае варианта 4 к полученной массе добавляли 10 мл CH_2Cl_2 и 10 мл воды, органический слой отделяли, промывали 10 мл воды, затем 5 % раствором Na_2CO_3 (2 $\times$ 10 мл) и далее водой до нейтральной реакции, сушили MgSO_4 . Растворитель отгоняли на ротационном испарителе, полученный остаток анализировали при помощи методов ^1H , ^{19}F ЯМР-спектроскопии и ГХ-МС.

Вариант 1. Из 1.001 г бензил[4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторфенил]сульфана **1a** (2.942 ммоль), 2.90 мл пероксида водорода (31.80 ммоль), 9.50 мл уксусной кислоты (166.11 ммоль) при 100 °С в течение 2 ч получено 0.942 г 1-(бензилсульфонил)-4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторбензола **2a** (выход 86 %).

Вариант 2. Из 57.94 г **1a** (170.28 ммоль), 155 мл пероксида водорода (1.70 моль), 480 мл уксусной кислоты (8.39 моль) при 100 °С в течение 2 ч получено 58.21 г **2a** (выход 92 %).

Сульфен **2a**. Белые кристаллы. $T_{\text{пл}}$ 158 °С. Найдено: m/z 372.0057 $[\text{M}]^+$, С 45.26, Н 2.30, F 35.41, S 8.25. Вычислено: $\text{M} = 372.0050$. $\text{C}_{14}\text{H}_7\text{O}_3\text{F}_7\text{S}$. С 45.17, Н 1.90, F 35.73, S 8.61. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3072 о.сл (CH), 3053 о.сл (CH), 2968 о.сл (CH), 2918 о.сл (CH), 1963 о.сл, 1902 о.сл, 1819 о.сл, 1778 о.сл, 1651 сл, 1497 о.с (Ar_F), 1352 с (CF), 1327 с (SO_2), 1259 ср (CF), 1198 ср (CF), 1159 о.с (SO_2), 991 с (CF), 945 с, 781 ср (CS), 715 ср (CS). УФ-спектр, λ_{max} , нм, (lg ϵ): 290 (3.49). Спектр ЯМР ^1H (CD_3CN , δ , м. д., 500.13 Гц): 4.73 (2H, с, CH_2), 7.31–7.35 (2H, м, H-2,6 $^{\text{Bn}}$), 7.36–7.45 (3H, м, H-3,5 $^{\text{Bn}}$ + H-4 $^{\text{Bn}}$). Спектр ЯМР ^{13}C (CD_3CN , δ , м. д., 125.76 Гц): 64.1 (CH_2), 114.9 (кв.т, $^2J_{\text{CF}} \sim 35$ Гц, $^2J_{\text{CF}} \sim 13$ Гц, C-4), 121.4 (кв, $^1J_{\text{CF}} = 274.4$, CF_3), 122.7 (т, $^2J_{\text{CF}} = 15.0$ Гц, C-1), 127.2 (C-1 $^{\text{Bn}}$), 129.9 (C-2,6 $^{\text{Bn}}$ или C-3,5 $^{\text{Bn}}$), 130.5 (C-4 $^{\text{Bn}}$), 132.3 (C-2,6 $^{\text{Bn}}$ или C-3,5 $^{\text{Bn}}$), 145.7 (дм, $^1J_{\text{CF}} = 262.6$ Гц, C-2,6 или C-3,5), 146.1 (дм, $^1J_{\text{CF}} = 259.4$ Гц, C-2,6 или C-3,5). Спектр ЯМР ^{19}F (CDCl_3 , δ , м. д., 282.36 Гц): –137.6 (м, F-3,5), –134.7 (м, F-2,6), –58.0 (т, $^4J_{\text{FF}} = 22.1$ Гц, CF_3).

Вариант 3. Из 45.89 г бензил(2,3,5,6-тетрафторфенил)сульфана **1b** (168.55 ммоль), 155 мл пероксида водорода (1.70 моль), 480 мл уксусной кислоты (8.39 моль) при 100 °С в течение 2 ч получено 43.23 г 3-(бензилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензола **2b** (выход 84 %).

Сульфен **2b**. Белые кристаллы. $T_{\text{пл}}$ 155–156 °С. Найдено: m/z 304.0170 $[\text{M}]^+$, С 51.32, Н 2.60, F 24.58, S 10.47. Вычислено: $\text{M} = 304.0176$.

$C_{13}H_8F_4O_2S$. С 51.32, Н 2.65, F 24.98, S 10.54. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3111 о.сл (CH), 3066 сл (CH), 2982 о.сл (CH), 2920 о.сл (CH), 1971 о.сл, 1907 о.сл, 1842 о.сл, 1780 о.сл, 1614 сл, 1495 о.с (Ar_F), 1344 с (SO_2), 1246 ср (CF), 1182 ср (CF), 1149 о.с (SO_2), 1132 ср (CF), 933 с, 799 ср (CS), 711 ср (CS). УФ-спектр, λ_{max} , нм, (lg ϵ): 282 (3.43). Спектр ЯМР 1H (CD_3CN , δ , м. д., 500.13 Гц): 4.67 (2H, с, CH_2), 7.26–7.32 (2H, м, H-2,6^{Bn}), 7.33–7.43 (3H, м, H-3,5^{Bn} + H-4^{Bn}), 7.67 (1H, т.т, $^3J_{HF} = 9.9$ Гц, $^4J_{HF} = 7.4$ Гц, H-6). Спектр ЯМР ^{13}C (CD_3CN , δ , м. д., 125.76 Гц): 64.0 (CH_2), 113.3 (т, $^2J_{CF} = 23.1$ Гц, C-6), 119.3 (т, $^2J_{CF} = 23.1$ Гц, C-3), 127.8 (C-1^{Bn}), 129.8 (C-2,6^{Bn} или C-3,5^{Bn}), 130.3 (C-4^{Bn}), 132.2 (C-2,6^{Bn} или C-3,5^{Bn}), 145.6 (д.м, $^1J_{CF} = 257.1$ Гц, C-1,5 или C-2,4), 147.3 (д.м, $^1J_{CF} = 248.8$ Гц, C-1,5 или C-2,4). Спектр ЯМР ^{19}F ($CDCl_3$, δ , м. д., 282.36 Гц): –137.2 (м, F-1,5), –136.3 (м, F-2,4).

Вариант 4. Из 0.457 г (диформетил)[4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторфенил]сульфана **1в** (1.523 ммоль), 0.70 мл пероксида водорода (70.48 ммоль), 1.75 мл уксусной кислоты (30.60 ммоль) при 100 °С в течение 17 ч получено 0.420 г смеси, содержащей исходный сульфанил **1в**, 1-[(диформетан)сульфонил]-4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторбензол **2в** и 1-[(диформетан)сульфинил]-4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторбензол **3** в соотношении 20 : 13 : 67 соответственно согласно данным ЯМР ^{19}F и ГХ-МС.

Сульфоксид **3**. ГХ-МС: найдено m/z 316 $[M]^+$, 1S. Вычислено: M = 316, 1S. Спектр ЯМР 1H (по реакционной смеси) ($CDCl_3$, δ , м. д., 300.13 Гц): 6.85 (1H, т, $^2J_{FH} = 54.8$ Гц, CF_2H) [24]. Спектр ЯМР ^{19}F (по реакционной смеси) ($CDCl_3$, δ , м. д., 282.36 Гц): –136.9 (2F, м, F-3,5), –136.3 (2F, м, F-2,6), –118.6 (1F, д.д.т, $^2J_{FF} = 267.2$ Гц, $^2J_{FH} = 54.6$ Гц, $^5J_{FF} = 3.5$ Гц, CF_2H), –117.2 (1F, д.д.т, $^2J_{FF} = 267.2$ Гц, $^2J_{FH} = 55.0$ Гц, $^5J_{FF} = 5.4$ Гц, CF_2H), –57.9 (3F, т, $^4J_{FF} = 22.1$ Гц, CF_3) [24].

Вариант 5. Из 1.802 г **1в** (6.004 ммоль), 5.50 мл пероксида водорода (60.30 ммоль), 4.60 мл трифторуксусной кислоты (60.11 ммоль) при 95 °С в течение 5 ч получено 1.794 г **2в** (выход 90 %).

Вариант 6. Из 49.73 г **1в** (165.69 ммоль), 150 мл пероксида водорода (1.64 моль), 130 мл трифторуксусной кислоты (1.70 моль) при 97 °С в течение 5 ч получено 53.27 г **2в** (выход 97 %).

Сульфон **2в**. Белые кристаллы. $T_{пл}$ 65–67 °С. Найдено: m/z 331.9547 $[M]^+$, С 28.70, Н 0.30, F 51.11, S 9.67. Вычислено: M = 331.9548. $C_8HF_9O_2S$. С 28.93, Н 0.30, F 51.48, S 9.65. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 2987 сл (CH), 1649 сл, 1497 о.с (Ar_F), 1371 с (CF), 1329 о.с (SO_2), 1308 ср (CF), 1250 ср (CF),

1190 с (CF), 1165 с (CF), 1128 с (SO_2), 993 с (CF), 947 с, 787 сл (CS), 717 ср (CS). УФ-спектр, λ_{max} , нм, (lg ϵ): 207 (4.23), 216 (4.23), 297 (3.78). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , м. д., 500.13 Гц): 6.35 (1H, т, $^2J_{HF} = 53.4$ Гц, CF_2H). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , м. д., 100.61 Гц): 114.8 (т, $^1J_{CF} = 288.9$ Гц, CF_2H), 116.4 (т, $^2J_{CF} = 14.1$ Гц, C-1), 117.0 (кв.т, $^2J_{CF} \sim 35.5$ Гц, $^2J_{CF} \sim 12.5$ Гц, C-4), 119.8 (кв, $^1J_{CF} = 276.6$, CF_3), 144.7 (д.м, $^1J_{CF} = 266.3$ Гц, C-2,6 или C-3,5), 146.0 (д.м, $^1J_{CF} = 266.9$ Гц, C-2,6 или C-3,5). Спектр ЯМР ^{19}F ($CDCl_3$, δ , м. д., 282.36 Гц): –135.5 (2F, м, F-3,5), –131.0 (2F, м, F-2,6), –121.6 (2F, д.т, $^2J_{FH} = 53.3$ Гц, $^5J_{FF} = 5.4$ Гц, CF_2H), –57.6 (3F, т, $^4J_{FF} = 21.9$ Гц, CF_3).

Вариант 7. Из 45.64 г (диформетил)(2,3,5,6-тетрафторфенил)сульфана **1г** (196.60 ммоль), 180 мл пероксида водорода (1.97 моль), 150 мл трифторуксусной кислоты (1.96 моль) при 90 °С в течение 5 ч получено 47.20 г 3-[(диформетан)сульфонил]-1,2,4,5-тетрафторбензола **2г** (выход 91 %).

Сульфон **2г**. Белые кристаллы. $T_{пл}$ 32–34 °С. Найдено: m/z 263.9675 $[M]^+$, С 32.10, Н 1.00, F 42.85, S 12.20. Вычислено: M = 263.9674. $C_7H_2F_6O_2S$. С 31.83, Н 0.76, F 43.16, S 12.14. ИК-спектр, ν , cm^{-1} : 3122 о.сл (CH), 3082 о.сл (CH), 1653 сл, 1502 о.с (Ar_F), 1379 ср (CF), 1329 с (SO_2), 1252 ср (CF), 1176 ср (CF), 1126 ср (SO_2), 1111 ср (CF), 795 о.сл (CS), 715 с (CS). УФ-спектр, λ_{max} , нм, (lg ϵ): 205 (4.21), 218 (4.25), 288 (3.76). Спектр ЯМР 1H ($CDCl_3$, δ , м. д., 500.13 Гц): 6.38 (1H, т, $^2J_{HF} = 53.3$ Гц, CF_2H), 7.52 (1H, т.т, $^3J_{HF} = 9.0$ Гц, $^4J_{HF} = 7.2$ Гц, H-6). Спектр ЯМР ^{13}C ($CDCl_3$, δ , м. д., 100.61 Гц): 113.3 (т, $^2J_{CF} = 13.6$ Гц, C-3), 114.3 (т, $^2J_{CF} \sim 22.3$ Гц, C-6), 114.7 (т, $^1J_{CF} = 287.9$ Гц, CF_2H), 145.7 (д.м, $^1J_{CF} = 280.6$ Гц, C-1,5 или C-2,4), 146.0 (д.м, $^1J_{CF} = 252.4$ Гц, C-1,5 или C-2,4). Спектр ЯМР ^{19}F ($CDCl_3$, δ , м. д., 282.36 Гц): –134.7 (2F, м, F-1,5 или F-2,4), –134.1 (2F, м, F-1,5 или F-2,4), –122.8 (2F, д.т, $^2J_{FH} = 53.3$ Гц, $^5J_{FF} = 5.1$ Гц, CF_2H).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В качестве исходных соединений для синтеза выбраны бензил- и диформетилсульфанильные производные **1а–г**, методики получения которых из коммерчески доступных полифторароматических соединений были разработаны ранее [14, 20]. Нагревание бензилсульфана **1а** с H_2O_2 в АсОН при 100 °С приводит к образованию индивидуального сульфана **2а** с выходом 86 %. При масштабировании эксперимента в аналогичных условиях из сульфа-

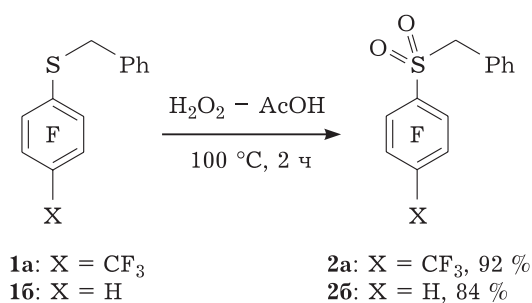


Схема 1.

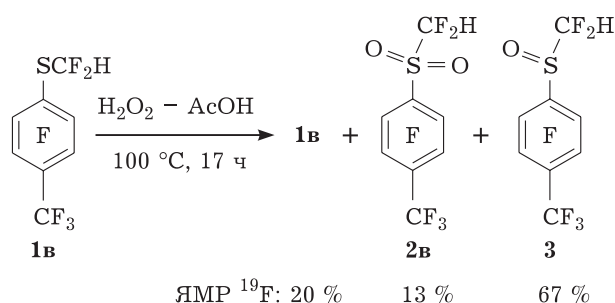


Схема 2.

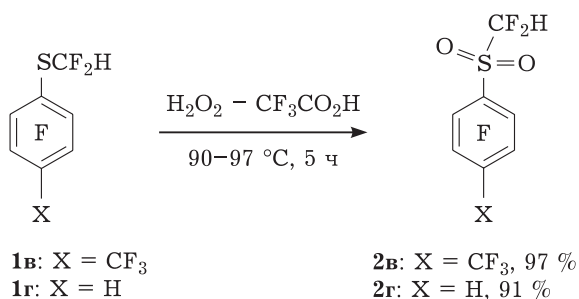


Схема 3.

нов **1a** и **16** получены сульфоны **2a** и **26** в количестве нескольких десятков грамм с выходом 92 и 84 % соответственно (схема 1).

В то же время в реакции дифторметильного сульфана **1b** с H₂O₂ в AcOH образуется смесь, состоящая в основном из продукта неполного окисления атома серы – сульфоксида **3**, а также целевого сульфона **2b** и исходного соединения **1b**, согласно данным ЯМР ¹H, ¹⁹F, а также ГХ-МС (схема 2).

Следует отметить, что в аналогичной реакции (дифторметил)(пентафторфенил)сульфана также не удается достичь полной конверсии в сульфон [14]; в этом случае окислителем выступала генерирующаяся *in situ* надуксусная кислота [25]. Известно, что трифторнадуксусная

кислота благодаря наличию акцепторной CF₃-группы является более сильным окислителем, способным взаимодействовать с гетероатомными производными электронодефицитных аренов, устойчивых к действию надуксусной или надбензойной кислот [26]; с ее помощью также можно превращать сульфаны в сульфоны [12]. Нами показано, что при замене AcOH на CF₃CO₂H сульфан **1b** полностью превращается в соответствующий сульфон **2b**, выход составил 97 %. В аналогичной реакции сульфана **1g** также происходит образование исключительно сульфонильного производного **2g** с выходом 91 % (схема 3). Данным способом сульфоны **2b** и **2g** были получены в количестве нескольких десятков грамм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что при взаимодействии бензил(2,3,5,6-тетрафторфенил)сульфанов, содержащих в положении 4 атом водорода или трифторметильную группу, с H₂O₂ в AcOH происходит исчерпывающее окисление атома серы, в результате чего образуются 1-бензилсульфонил-2,3,5,6-тетрафторбензолы. В то же время в реакции (дифторметил)[4-(трифторметил)-2,3,5,6-тетрафторфенил]сульфана образуется смесь соответствующих сульфоксида и сульфона. При использовании трифторуксусной кислоты вместо AcOH удалось полностью превратить данный сульфан, а также (дифторметил)(2,3,5,6-тетрафторфенил)сульфан в соответствующие сульфоны.

Показана возможность масштабирования синтеза 1-алкилсульфонил-2,3,5,6-тетрафторбензолов до десятков грамм. Выходы продуктов составили 84–97 %.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-73-00300.

Авторы выражают благодарность Химическому исследовательскому центру коллективного пользования СО РАН за проведение аналитических и спектральных исследований.

Программа Marvin использована для наименования химических соединений – MarvinSketch 21.18.0, Chemaxon (<https://www.chemaxon.com>).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Kirsch P. Modern Fluoroorganic Chemistry: Synthesis, Reactivity, Applications. Second, Completely Revised and Enlarged Edition. Weinheim: Wiley-VCH, 2013. 379 p.

- 2 Политанская Л. В., Селиванова Г. А., Пантелеева Е. В., Третьяков Е. В., Платонов В. Е., Никульшин П. В., Виноградов А. С., Зонов Я. В., Карпов В. М., Меженкова Т. В., Васильев А. В., Колдобский А. Б., Шилова О. С., Морозова С. М., Бургарт Я. В., Щегольков Е. В., Салоутин В. И., Соколов В. Б., Аксиненко А. Ю., Ненайденко В. Г., Москалик М. Ю., Астахова В. В., Шаинян Б. А., Таболин А. А., Иоффе С. Л., Музалевский В. М., Баленкова Е. С., Шастин А. В., Тютюнов А. А., Бойко В. Э., Игумнов С. М., Дильман А. Д., Адонин Н. Ю., Бардин В. В., Масоуд С. М., Воробьева Д. В., Осипов С. Н., Носова Э. В., Липунова Г. Н., Чарушин В. Н., Прима Д. О., Макаров А. Г., Зибарев А. В., Трофимов Б. А., Собенина Л. Н., Беляева К. В., Сосновских В. Я., Обыденнов Д. Л., Усачев С. А. Перспективные точки роста и вызовы фторорганической химии // *Успехи химии*. 2019. Т. 88, № 5. С. 425–569.
- 3 Swallow S. Fluorine in medicinal chemistry // *Prog. Med. Chem.* 2015. Vol. 54. P. 65–133.
- 4 Белова Е. В., Назин Е. Р., Скворцов И. В., Соколов И. П., Родин А. В., Стефановский С. В., Мясоедов Б. Ф. Термическая стабильность и радиационная устойчивость трифторметилфенилсульфона в присутствии азотной кислоты // *Радиохимия*. 2016. Т. 58, № 5. С. 420–423.
- 5 Romanovskiy V., Smirnov I., Babain B., Todd T., Herbst S., Law J., Brewer K. The universal solvent extraction (UNEX) process. I. Development of the UNEX process solvent for the separation of cesium, strontium, and the actinides from acidic radioactive waste // *Solvent Extr. Ion Exch.* 2001. Vol. 19, No. 1. P. 1–21.
- 6 Abouimrane A., Belharouak I., Amine K. Sulfone-based electrolytes for high-voltage Li-ion batteries // *Electrochem. Commun.* 2009. Vol. 11. P. 1073–1076.
- 7 Wu F., Zhou H., Bai Y., Wang H., Wu C. Toward 5 V Li-ion batteries: Quantum chemical calculation and electrochemical characterization of sulfone-based high-voltage electrolytes // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2015. Vol. 7. P. 15098–15107.
- 8 Pat. WO 2004011457 A1, 2004.
- 9 Bryzgalov A. O., Yakovleva T. A., Politanskaya L. V., Bagryanskaya I. Y., Tolstikova T. G. Fluorinated 3,4-dihydro-2H-1,4-benzothiazin-1,1-dioxide derivatives with antiarrhythmic and hypertensive effects // *Am. J. Biomed. Sci. Res.* 2021. Vol. 13, No. 4. P. 328–338.
- 10 Matulienė J., Žvinys G., Petrauskas V., Kvietkauskaitė A., Zakšauskas A., Shubin K., Zubrienė A., Baranauskienė L., Kačenauskaitė L., Kopanchuk S., Veiksina S., Paketyrytė-Latvė V., Smirnovienė J., Juozapaitienė V., Mickevičiūtė A., Michailovienė V., Jachno J., Stravinskienė D., Sližienė A., Petrošiūtė A., Becker H., Kazokaitė-Adomaitienė J., Yaromina A., Čapkauskaitė E., Rinken A., Dudutienė V., Dubois L., Matulis D. Picomolar fluorescent probes for compound affinity determination to carbonic anhydrase IX expressed in live cancer cells // *Sci. Rep.* 2022. Vol. 12, No. 1. Art. 17644.
- 11 Robson P., Stacey M., Stephens R., Tatlow J. Aromatic polyfluorocompounds. Part VI. Penta- and 2,3,5,6-tetrafluorothiophenol // *J. Chem. Soc.* 1960. P. 4754–4760.
- 12 Politanskaya L., Tretyakov E. Directed synthesis of fluorine containing 2,3-dihydrobenzo[b][1,4]oxathiine derivatives from polyfluoroarenes // *J. Fluorine Chem.* 2020. Vol. 236. Art. 109592.
- 13 Nambo M., Keske E., Rygus J., Yim J., Crudden C. Development of versatile sulfone electrophiles for Suzuki–Miyaura cross-coupling reactions // *ACS Catal.* 2017. Vol. 7, No. 2. P. 1108–1112.
- 14 Максимов А. М., Киреевков В. В., Платонов В. Е. Получение дифторметилполифторарилсульфидов. Реакции дифторметилпентафторфенилсульфида с окислителями // *Изв. Академии наук. Сер. хим.* 1996. Т. 45, № 1. С. 162–164.
- 15 Bredikhin R. A., Usatenko D. O., Maksimov A. M., Platonov V. E. Pentafluorobenzenesulfonyl bromide: Synthesis and reactions with alkenes // *Procedia Chem.* 2015. Vol. 15. P. 265–271.
- 16 Бредихин Р. А., Максимов А. М., Платонов В. Е. Реакции полифтораренсульфонилбромидов с бромистым аллилом. Получение аллилполифторарилсульфонов // *Журн. орган. химии*. 2011. Т. 47, № 3. С. 380–384.
- 17 Pat. WO 2023047104 A1, 2023.
- 18 Gupta S., Pancholi S. Synthesis and evaluation of antitubercular activity of some thiobenzimidazolyl derivatives // *Der Pharma Chemica*. 2011. Vol. 3, No. 1. P. 274–279.
- 19 Ballari M., Cano N., Wunderlin D., Feresin G., Santiago A. One-pot sequential synthesis and antifungal activity of 2-(benzylsulfonyl)benzothiazole derivatives // *RSC Adv.* 2019. Vol. 9. Art. 29405.
- 20 Liao H.-H., Lee S.-C., Kao H., Hsu Y.-L., Hsu C.-M., Tsao Y.-T., Minoza S., Li L.-Y., Tsai Z.-N., Chang K.-C., Cheng C.-K., Chan C.-L., Chien Y.-S., Chiu C.-C. Synthesis of perfluoroaryl sulfides at electron-poor arenes *via* an S_NAr step with an unexpected mechanism // *Cell Rep. Phys. Sci.* 2022. Vol. 3. Art. 101010.
- 21 Фадеева В. П., Тихова В. Д., Никуличева О. Н. Элементный анализ органических соединений с использованием автоматических CHNS-анализаторов // *Журн. аналит. химии*. 2008. Т. 63, № 11. С. 1197–1210.
- 22 Тихова В. Д., Фадеева В. П., Никуличева О. Н., Добринская Т. А., Дерябина Ю. М. Определение фтора в составе органических функциональных материалов // *Химия уст. разв.* 2022. Т. 30, № 6. С. 660–673.
- 23 ФР.1.31.2011.10437. МИ НИОХ СО РАН № 02-2011 “Методика измерений массовой доли серы в органических веществах методом визуального титрования азотнокислым барием”. Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/16/items/285516> (дата доступа: 08.08.2023).
- 24 Koshcheev B. V., Bredikhin R. A., Maksimov A. M., Platonov V. E., Andreev R. V. Reactions of 4-substituted-1-[(difluoromethyl)sulfinyl]polyfluorobenzenes with phenolate anion // *Arkivoc.* 2020. No. 6. P. 344–361.
- 25 Cheng C., Li H., Wang J., Wang H., Yang X. A review of measurement methods for peracetic acid (PAA) // *Front. Environ. Sci. Eng.* 2020. Vol. 14, No. 5. Art. 87.
- 26 Caster K., Rao A., Mohan H. Trifluoroperacetic acid / *Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*. Hoboken: Wiley, 2012.