

УДК 547.539.142 + 547.821.2 + 547.368

Синтез и реакционная способность винилсульфонов перфторбензола и галогенопиридинов: новые возможности конструирования гетероциклических систем

Г. М. Гаврилова, С. В. Амосова

ГАЛИНА МИХАЙЛОВНА ГАВРИЛОВА — кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории халькогенорганических соединений Иркутского института химии им. А.Е. Фаворского СО РАН. Область научных интересов: синтез и реакционная способность непредельных халькогеносодержащих полифтор(галоген)ароматических и гетероароматических соединений.

СВЕТЛАНА ВИКТОРОВНА АМОСОВА — доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией халькогенорганических соединений Иркутского института химии им. А.Е. Фаворского СО РАН. Область научных интересов: химия халькогенорганических соединений, в том числе непредельных и гетероциклических.

664033 Иркутск, ул. Фаворского, д. 1, Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, тел./факс (395-2)42-58-85, E-mail amosova@irioc.irk.ru

Производные конденсированных азот-, серо- и фторсодержащих гетероциклов привлекают внимание исследователей, поскольку среди них найдены важные биологически активные соединения [1, 2]. Введение атома фтора в гетероциклические соединения повышает их растворимость в липидах, а также способность проникать через клеточные мембраны.

Синтез новых фторсодержащих гетероциклических соединений, имеющих в качестве гетероатома окисленные атомы серы, также остается актуальной задачей для решения практических и теоретических проблем органической химии [3, 4].

3,6-Бис(винилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол (**1**), полученный нами [5], имеющий несколько реакционноспособных центров в одной молекуле, представляет собой удобный объект для конструирования новых фторсодержащих гетероциклических систем, в том числе конденсированных, на основе реакций нуклеофильного присоединения и замещения. Как показали наши исследования, винилсульфонилфторбензол **1** активно участвует не только в реакциях нуклеофильного присоединения и замещения, но и в реакциях радикального присоединения [6–8].

Способ получения базового соединения **1** основан на реакции окисления 3,6-бис(винилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензола (**2**) избытком 30–33%-го пероксида водорода в уксусном ангидриде с выходом 60% [5] (схема 1).

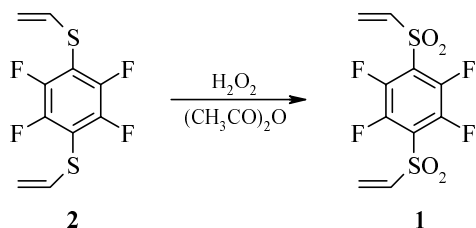


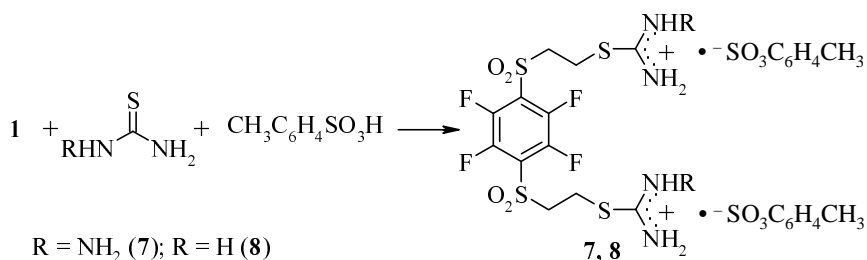
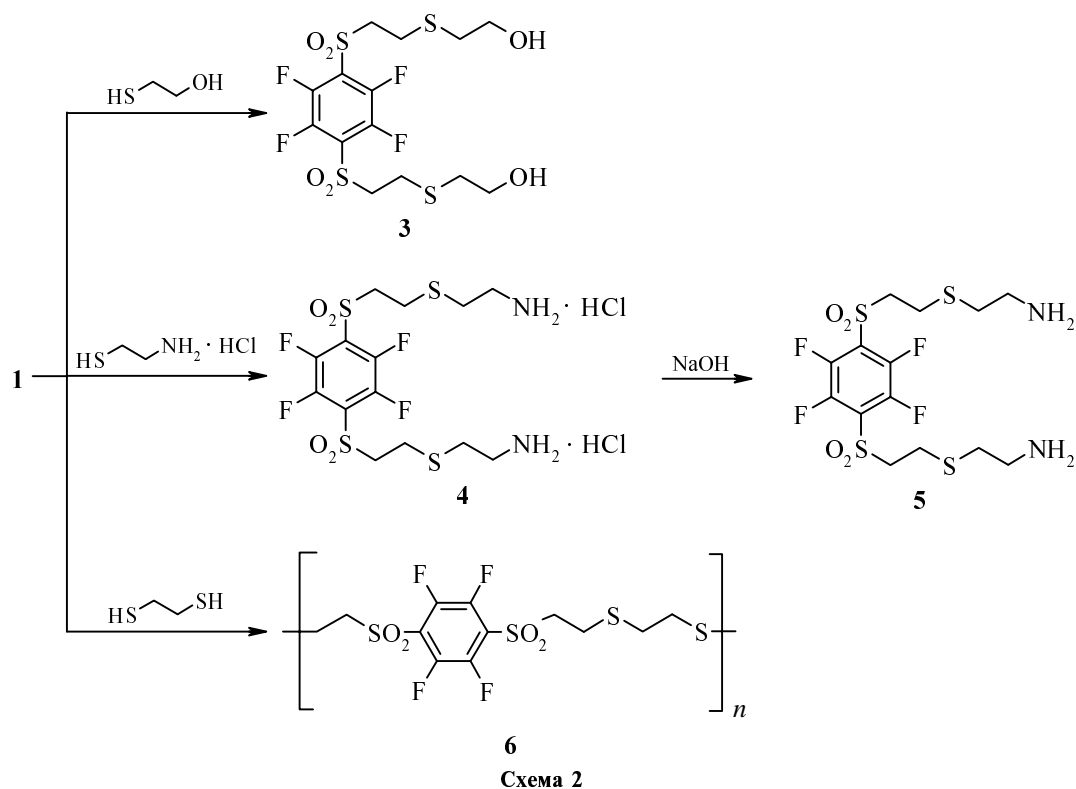
Схема 1

Синтез исходного соединения **2** [9] разработан нами при систематическом изучении реакций гекса-

фторбензола с этентиолат-анионами, которые легко генерируются из дивинилсульфида под действием натрия в жидком аммиаке. Эти исследования стали возможными в результате разработки ряда эффективных и доступных способов получения дивинилсульфида из ацетилен и сернистых соединений: сероводорода, сульфидов щелочных металлов, ди- и полисульфидов щелочных металлов, элементарной серы, сероуглерода и разнообразных тионовых систем в суперосновных средах [10–12].

3,6-Бис(винилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол в реакциях нуклеофильного присоединения и замещения

Окисление атомов серы винилсульфонильных групп соединения **2** меняет свойства двойной связи, что позволяет наряду с реакциями нуклеофильного замещения в винилсульфонилфторбензоле **1** осуществлять реакции нуклеофильного присоединения. Высокая реакционная способность двойных связей соединения **1** в реакциях нуклеофильного присоединения, обусловленная активирующим действием электроноакцепторных SO₂-групп, позволяет проводить присоединение 2-меркапто-1-этанола и гидрохлорида 2-амино-1-этанттиола по обоим винилсульфонильным группам с участием SH-групп без применения основных катализаторов [13] в отличие от описанного в работах [14, 15], в которых указывается, что тиолы реагируют с винилсульфонил-производными лишь в присутствии катализатора — гидроксида трибутиламмония (тритона Б). Выход диаддуктов **3** и **4** составляет 48 и 59% соответственно. Обработкой водного раствора соединения **4** раствором щелочи при мольном соотношении **4** : NaOH = 1 : 2 (комнатная температура) получен 3,6-бис(5-амино-3-тиапентилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол (**5**) с выходом 75%. О легкости присоединения тиолов по двойным связям винилсульфонилфторбензола **1** свидетельствуют также данные о его взаимодействии с 1,2-этандитиолом, в результате которого при 20 °С образуется продукт полиприсоединения **6** [13] (схема 2).



Тиосемикарбазид, а также тиомочевина в присутствии *para*-толуолсульфокислоты в кипящем этаноле присоединяются по двойным связям винилсульфонилфторбензола **1** с участием нуклеофильного центра — атома серы, образуя соответственно ди-*para*-толуолсульфонат 3,6-бис(этилсульфон-*S*-аминоизотиуроний)-1,2,4,5-тетрафторбензола (**7**) с выходом 20% и ди-*para*-толуолсульфонат 3,6-бис(этилсульфон-*S*-изоизотиуроний)-1,2,4,5-тетрафторбензола (**8**) с выходом 80% [16] (схема 3).

Изучены также реакции бис(винилсульфонил)-тетрафторбензола **1** с циклическими аминами, такими как пирролидин, пиперидин и морфолин [17]. Найденны условия направленного одnoreакторного синтеза соединений **9—13** (схема 4). В зависимости от соотношения реагентов при 55—60 °С в ДМФА или этаноле либо образуются продукты нуклеофильного присоединения, либо продукты нуклеофильных реакций присоединения и моно(ди)замещения. При двукратном избытке амина по отношению к винилсульфо-

нилфторбензолу **1** и температуре 55—60 °С образуются продукты присоединения по обеим винилсульфонильным группам. Так, например, с пиперидином в ДМФА получен 3,6-бис(2-пиперидиноэтилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол (**9**) с выходом 40%.

При четырехкратном избытке амина наряду с реакцией присоединения происходит нуклеофильное замещение одного или двух атомов фтора бензольного кольца. В этих условиях при взаимодействии с пиперидином получены 3,6-бис(2-пиперидиноэтилсульфонил)-1-пиперидино-2,4,5-трифторбензол (**10**) с выходом 47% и следовые количества 3,6-бис(2-пиперидиноэтилсульфонил)-1,4-дипиперидино-2,5-дифторбензола (**11**). С пирролидином в тех же условиях (ДМФА, 55—60 °С) образуется 3,6-бис(2-пирролидиноэтилсульфонил)-1,4-дипирролидино-2,5-дифторбензол (**12**) с выходом 66%, в случае морфолина — 3,6-бис(2-морфолиноэтилсульфонил)-1,4-диморфолино-2,5-дифторбензол (**13**) с выходом 37%. Определяющее влияние на направление реакции и выход

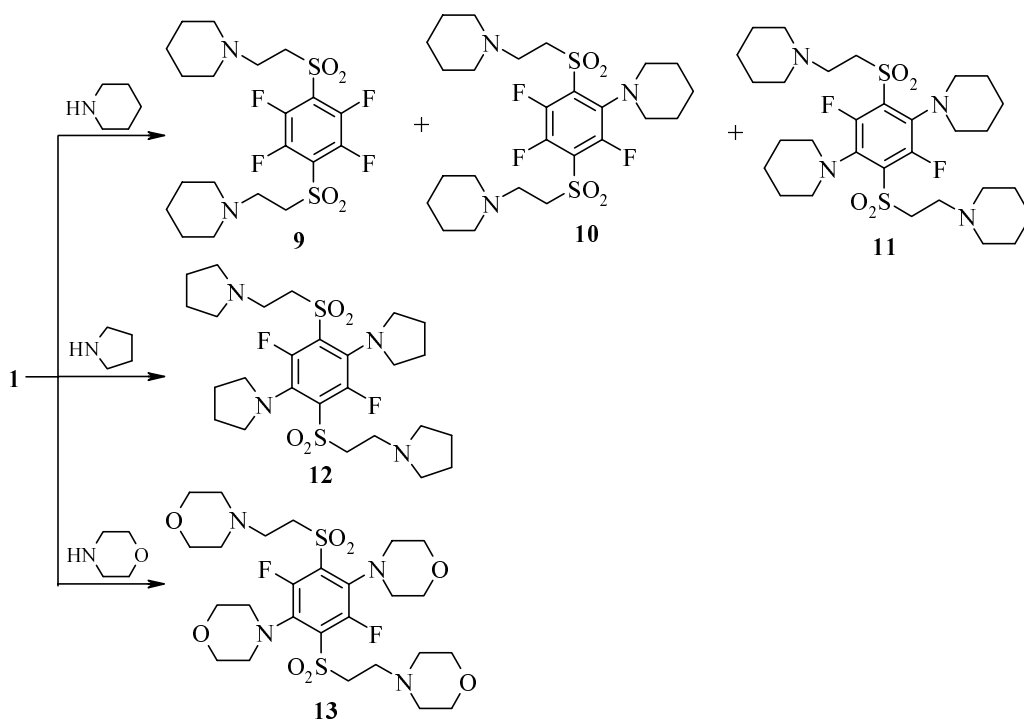


Схема 4

продуктов оказывает соотношение реагентов. Избыток амина необходим для связывания фтористого водорода, который образуется в реакции нуклеофильного замещения. Так, например, в реакции винилсульфонилфторбензола **1** с пиперидином при соотношении реагентов 1 : 6 существенно повышается выход соединения **11** до 65%. При взаимодействии винилсульфонилтетрафторбензола **1** с морфолином (55–60 °С), взятом в большом избытке в качестве растворителя и реагента, выход соединения **13** увеличивается с 37 до 60%. Следовательно, реакции бис(винилсульфонил)-тетрафторбензола **1** с циклическими аминами можно проводить и без посторонних растворителей.

Разработанный метод синтеза соединений **9–13** позволяет осуществлять реакцию ступенчато и вводить в молекулу соединения **1** различные заместители. Так, реакцией нуклеофильного замещения двух атомов фтора в соединении **9** на морфолин (ДМФА, 55–60 °С) получен 3,6-бис(2-пиперидиноэтилсульфонил)-1,4-диморфолино-2,5-дифторбензол **14** с выходом до 70% (схема 5).

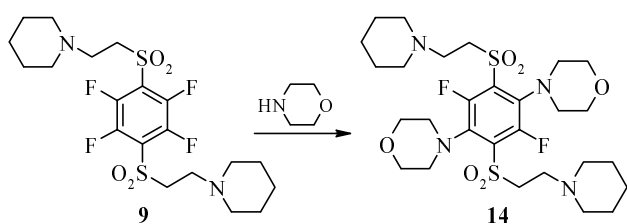


Схема 5

Для сравнения реакционной способности винилсульфонилфторбензола **1** и винилсульфанилфторбензола **2** в реакциях нуклеофильного замещения была изучена реакция соединения **2** с пиперидином при соотношении реагентов 1 : 4 в ДМФА при 100 °С. В этих условиях происходит только монозамещение с образованием 3,6-бис(винилсульфанил)-1-пиперидино-2,4,5-трифторбензола (**15**) с выходом 34% (схема 6).

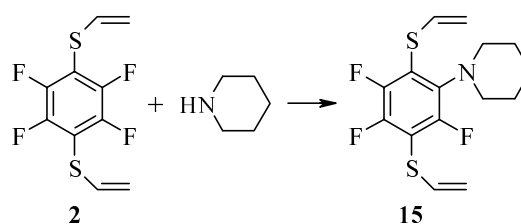


Схема 6

При том же соотношении реагентов, но при более низкой температуре (55–60 °С), бис(винилсульфонил)-производное **1** с пирролидином, пиперидином и морфолином образует продукты дизамещения **11–13**. Полученные результаты подтверждают повышенную реакционную способность бис(винилсульфонил)тетрафторбензола **1** в реакциях нуклеофильного замещения по сравнению с бис(винилсульфанил)тетрафторбензолом **2** и гексафторбензолом [18]. Это обусловлено активирующим действием электроакцепторных SO₂-групп соединения **1** и согласуется с данными [19] об электронном влиянии серосодержащих заместителей в полифторированном бензольном коль-

це на константу скорости реакции замещения фтора различными нуклеофилами, в том числе пиперидином.

Синтез гетероциклических соединений на основе 3,6-бис(винилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензола

Реакции бис(винилсульфонил)тетрафторбензола **1** с 2-аминоэтанолом и аллиламином (ДМФА или этанол, 50–55 °С) неожиданно привели к гетероциклическим соединениям **16** и **17** за счет участия одной аминогруппы 2-аминоэтанола [20, 21] или аллиламина [5, 21] в двух реакциях: нуклеофильного присоединения и замещения атома фтора в бензольном кольце (схема 7).

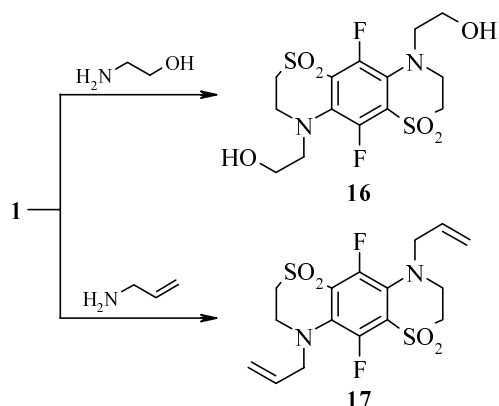


Схема 7

Гидроксильная группа 2-аминоэтанола в этих условиях в реакцию не вступает. Выходы гетероциклов **16** и **17** составляют 90% и 40% соответственно.

Строение гетероциклов **16** и **17** установлено рентгеноструктурными исследованиями (рис. 1, 2).

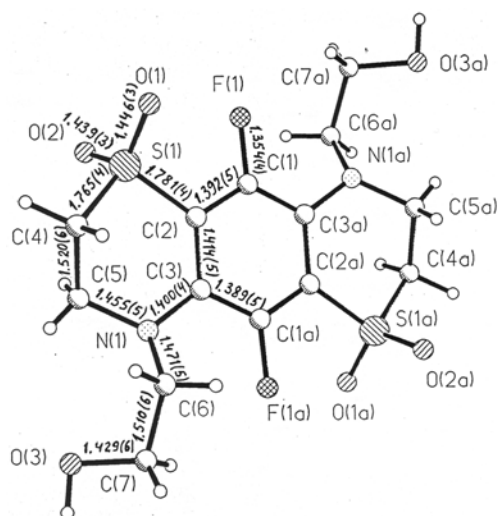


Рис. 1. Общий вид centrosимметричной молекулы соединения **16**.

Приведены длины связей в симметрически независимой части молекулы

Общий вид centrosимметричной молекулы **16** с длинами связей в симметрически независимой ее части показан на рисунке 1. В данном соединении шестичленные гетероциклы имеют конформацию полукресла: атомы C(4) и C(5), C(4a) и C(5a) выходят из плоскости остальных четырех атомов на –0,371 и 0,446 Å (0,371 и –0,446 Å) соответственно. В молекуле приблизительно плоский фрагмент включает бензольное кольцо и прилежащие к нему атомы S(1), N(1), F(1), а также S(1a), N(1a), F(1a). Гидроксиэтильные заместители заметно развернуты в разные стороны относительно плоской части молекулы.

Общий вид centrosимметричной молекулы **17** с длинами связей в симметрически независимой ее части показан на рисунке 2, он аналогичен общему виду молекулы **16**. Аллильные заместители заметно развернуты в разные стороны.

Взаимодействие соединения **1** с тиосемикарбазидом [16, 22] в этаноле или ДМФА (20 °С) идет ступенчато, и при соотношении реагентов 1 : 2 образуется бис(2-тиосемикарбазидоэтилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол (**18**) с выходом 73%. Изменение условий реакции — повышение температуры до 75–80 °С, и четырехкратный избыток тиосемикарбазид — неожиданно привели к новой реакции в ДМФА — образованию фторированного конденсированного гетероцикла **19**, содержащего азот и серу. Он образуется в результате нуклеофильного присоединения NH₂-группы в положении 1 тиосемикарбазид по двойным связям бисвинилсульфонил-производного **1**, внутримолекулярного замещения атома фтора в *орто*-положении к замещенной SO₂-группе с участием NH-группы и последующего замещения фтора в *мета*-положении с участием второго нуклеофильного центра — атома серы.

Стадийный характер реакции соединения **1** с тиосемикарбазидом был подтвержден образованием гетероцикла **19** из диадукта **18** при нагревании его в ДМФА при 70–80 °С в присутствии трибутиламина,

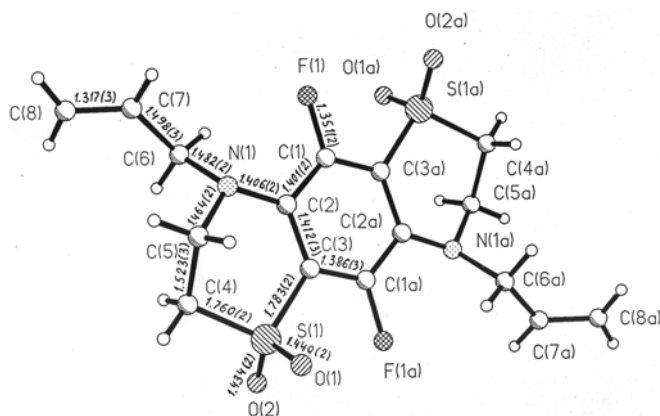


Рис. 2. Общий вид centrosимметричной молекулы **17**.

Приведены длины связей в симметрически независимой части молекулы

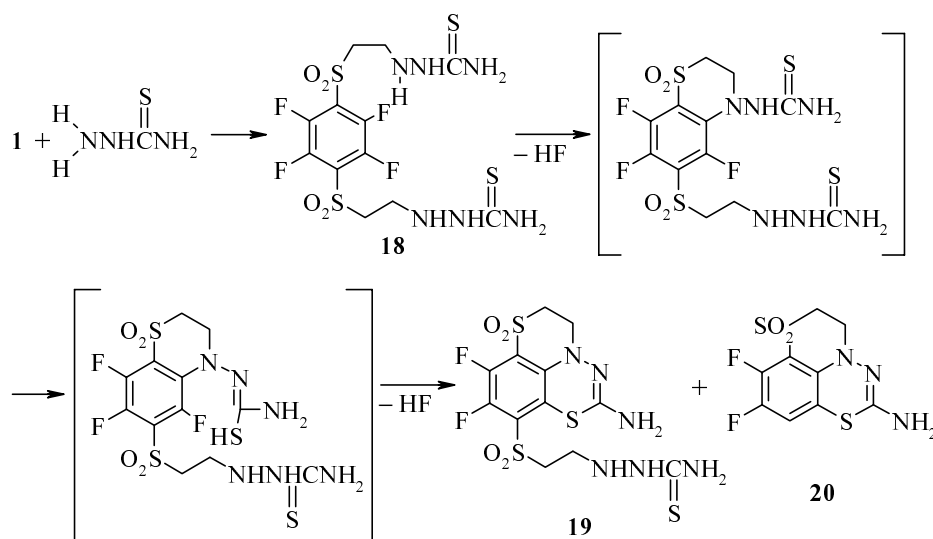


Схема 8

при этом выход гетероциклического соединения **19** увеличивается до 81%. Следует подчеркнуть, что в этих условиях, т.е. при использовании более сильного основания — трибутиламина, идет образование еще одного нового соединения — гетероцикла **20** с выходом 18% (схема 8).

3,6-Бис(винилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензол в реакциях радикального присоединения

Известно, что для винилсульфонильной группы не свойственны реакции радикального присоединения [14, 23]. В результате наших исследований впервые обнаружена высокая реакционная способность винилсульфонильных групп соединения **1** в радикальных реакциях. Найдена новая реакция гомолитического присоединения тетрагидрофурана по обеим винилсульфонильным группам **1** в мягких условиях без дополнительного внесения инициатора радикальных процессов [6, 7]. 3,6-Бис[2-(тетрагидрофурил-2)этилсульфонил]-1,2,4,5-тетрафторбензол **21** получен с выходом 42%. Реакция идет под действием пероксидов, образующихся из самого тетрагидрофурана, склонного к легкому аутоокислению в присутствии воздуха (схема 9). Следует отметить, что наряду с реакцией присоединения α -тетрагидрофурильных радикалов по винилсульфонильным группам соединения **1** наблюдается раскрытие тетрагидрофуранового цикла в соединении **21**, что приводит к получению смеси теломеров.

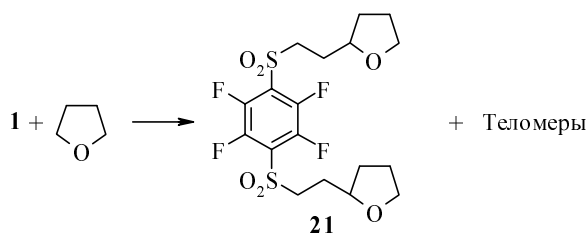


Схема 9

Строение диаддукта **21** доказано методами ЯМР ^1H и ^{13}C с использованием двумерных экспериментов COSY и HSQC. Анализ одномерных сечений спектра ^1H — ^{13}C HSQC на частотах углерода позволил различить общий спектр ЯМР ^1H на подспектры, соответствующие резонансу протонов при данном атоме углерода, и осуществить полное отнесение сигналов в спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C [6].

Установлено необычное присоединение диалкилфосфитов к бис(винилсульфонил)тетрафторбензолу **1** при термическом иницировании (70°C) [8], хотя известно, что по радикальному механизму диалкилфосфиты присоединяются по кратным связям в присутствии радикальных инициаторов или УФ-облучения [24]. В результате этого взаимодействия (70°C) образуются 3,6-бис(2-алкоксифосфоэтилсульфонил)-1,2,4,5-тетрафторбензолы **22** и **23** с выходами 45–47% (схема 10).

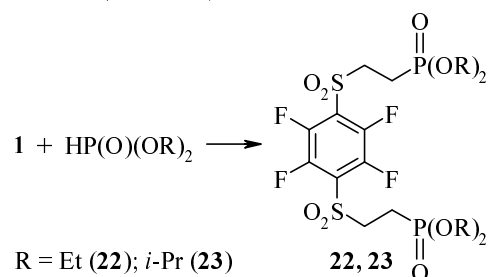


Схема 10

В исследуемой реакции методом ЭПР зафиксировано образование диэтоксифосфонильных радикалов с помощью спинового захвата 2-метил-2-нитропропаном. В связи с этим изучено влияние радикального иницирования, ингибирования (гидрохиноном) и температуры на протекание данной реакции.

Принимая во внимание наблюдаемое в спектре ЭПР эффективное редокс-взаимодействие диэтилфосфита с бисвинилсульфонатом **1** и значительный электроноакцепторный характер винилсульфонильных

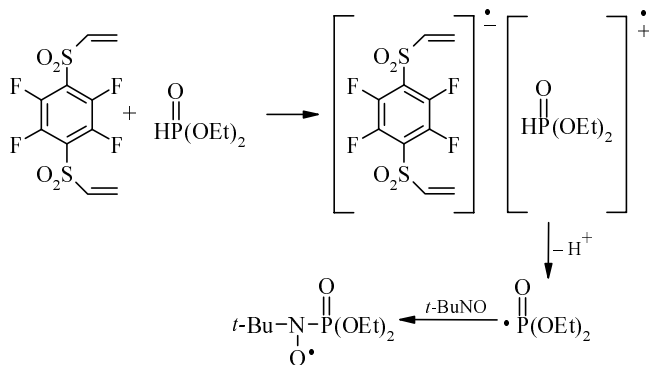


Схема 11

групп, а также торможение реакции гидрохиноном [25], можно предположить существование стадии одноэлектронного переноса с образованием ион-радикалов в реакции гомолитического характера (схема 11).

При иницировании реакции динитрилом азоизомасляной кислоты выход диаддуктов **22** и **23** увеличивается до 60%. Строение соединений **22** и **23** доказано методами ИК и ЯМР ^1H и ^{31}P спектроскопии.

Обнаруженная нами высокая реакционная способность винилсульфонильных групп соединения **1** в реакциях радикального присоединения α -тетрагидрофурил- и диалкоксифосфонильных радикалов проявляется также при сополимеризации соединения **1** со стиролом в условиях радикального иницирования [26]. Для сравнения реакционной способности бис(винилсульфонил)тетрафторбензола **1** в радикальной сополимеризации со стиролом в реакцию был вовлечен его структурный аналог — бис(винилсульфанил)тетрафторбензол **2**. Для мономеров были определены константы сополимеризации и следующие факторы активности: e — фактор полярности и Q — параметр, пропорциональный степени сопряжения двойной связи с заместителями. При рассмотрении количественной зависимости реакционной способности мономеров в сополимеризации от параметров, характеризующих их строение, проведено сопоставление реакционной способности ($1/r_2$) и активностей мономеров (e и Q) с их различными физико-химическими характеристиками, в том числе, химическими сдвига-

ми (XС) в спектрах ЯМР этих мономеров, а также разностью XС C_α и C_β атомов винильной группы. Сравнительная оценка активностей бисвинилсульфонилзамещенного **1** и бисвинилсульфанилзамещенного **2** в ряду с дивинилсульфидом, метилвинил-, фенолвинил- и дивинилсульфонами показала, что введение атомов фтора в бензольное кольцо усиливает эффекты сопряжения винильной группы с заместителем. Винильную группу соединения **1** можно характеризовать как «сопряженную» в отличие от таковой в винилсульфонах (метилвинил-, фенолвинил- и дивинилсульфонах). Значительное сопряжение этой группы с тетрафторзамещенным бензольным кольцом обуславливает ее повышенную реакционную способность в реакциях радикального присоединения.

Синтез винилсульфонил(галогено)пиридинов и их реакционная способность

Благодаря высокой реакционной способности в реакциях нуклеофильного замещения галогенопиридины с различными заместителями нашли широкое применение в синтезе функциональноразмещенных пиридинов [27—30]. Введение в молекулу пиридина винилсульфанильных групп, способных к полимеризации и сополимеризации, или винилсульфонильных групп, активных в реакциях нуклеофильного присоединения, значительно расширяет область использования функциональноразмещенных пиридинов. В работах [31—33] описаны методы синтеза, строение и химические свойства функциональноразмещенных винилсульфанилпиридинов. Данные о 2,3,5,6-тетрахлорпиридил-4-винилсульфоне и 2-метил-3,5,6-трихлорпиридил-4-винилсульфоне, полученных дегидрохлорированием соответствующих 4-пиридилхлорэтилсульфонов под действием триэтиламина, приведены в работах [34, 35].

Ранее нами на основе 2,6-дихлор-, 2,6-дибром-, 2,5-дибром- и 3,5-дибромпиридинов и дивинилсульфида — синтона винилтиолат-анионов был получен ряд винилсульфанил(галогено)пиридинов **24—28** с выходами 58, 52, 55, 33 и 62% соответственно [36] (схема 12).

Реакцией окисления соединений **24—26** избытком пероксида водорода в уксусном ангидриде при 20—25 °С синтезированы 2-(винилсульфонил)-6-хлор- (**29**), 5-бром-2-(винилсульфонил)- (**30**) и 2,6-бис(ви-

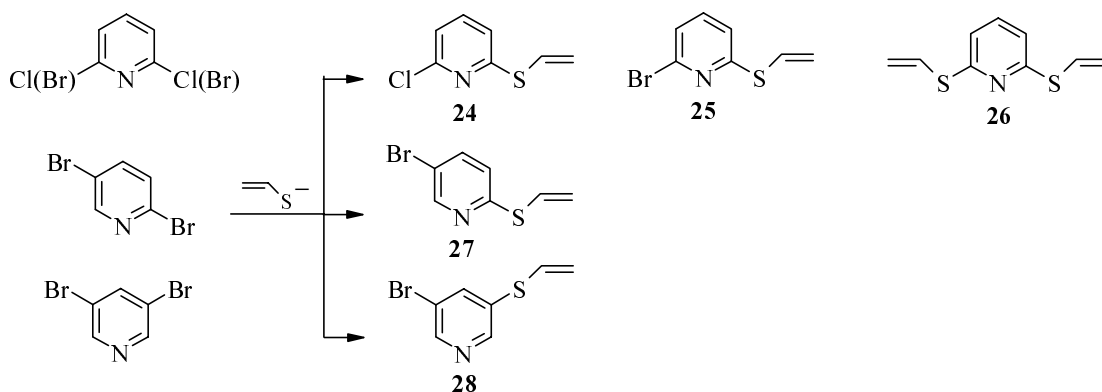


Схема 12

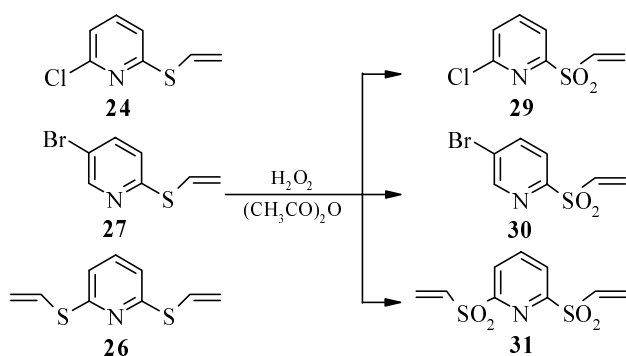


Схема 13

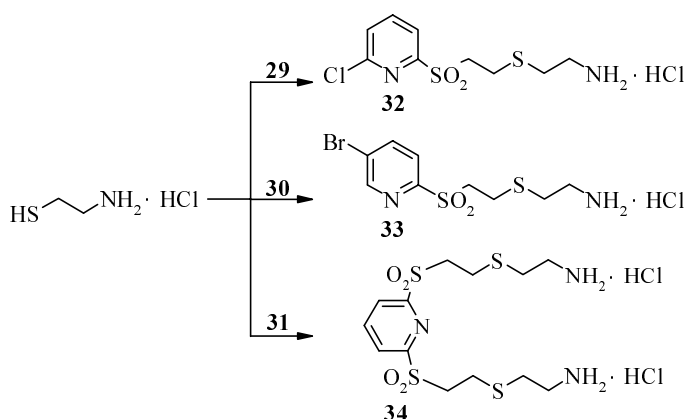


Схема 14

нилсульфонил)пиридин (**31**) с выходами 52, 50 и 36% соответственно [37] (схема 13).

Реакциями нуклеофильного присоединения гидрохлорида 2-амино-1-этантiola с участием SH-группы к соединениям **29**–**31** в присутствии катализатора гидроксида трибутиламмония (тритона Б) синтезированы водорастворимые аддукты — гидрохлориды 2-(5-амино-3-тиапентилсульфонил)-6-хлор- (**32**), 2-(5-амино-3-тиапентилсульфонил)-5-бром- (**33**) и 2,6-бис(5-амино-3-тиапентилсульфонил)пиридина (**34**) с выходами 64, 42 и 72% соответственно [37] (схема 14).

Взаимодействием тиосемикарбазида с соединениями **29** и **30** в этаноле (70 °С) или ДМФА при 20 °С (схема 15) получены 2-[2-(тиосемикарбазидо)этилсульфонил]-6-хлор- (**35**) и 5-бром-2-[2-(тиосемикарбазидо)этилсульфонил]пиридин (**36**) с выходом 23% [37].

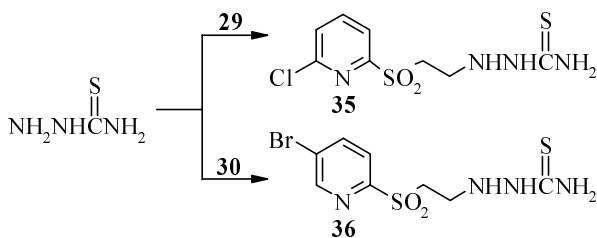


Схема 15

Строение соединений **30**–**31** [38] и **32**–**36** [37] подтверждено методами ИК и ЯМР ¹H и ¹³C спектроскопии.

Известно, что введение в пиридиновый цикл тиосемикарбазидного или тиосемикарбазонового фрагмента приводит к созданию лекарственных веществ, обладающих сильным противотуберкулезным действием [39, 40]. В ряду этих соединений найдены также гербициды и стимуляторы роста растений [40]. Из приведенных в настоящей статье данных следует, что винилсульфонил(галогено)пиридины представляют собой перспективные синтоны для синтеза различных полифункциональных соединений, в том числе потенциальных биологически активных соединений.

Таким образом, в обзоре на примерах рассмотренных реакций продемонстрирован новый эффективный, нередко единственно возможный, подход к конструированию новых гетероциклических систем. Он включает введение винилсульфанильных групп в полигалогено(фтор)содержащие электрофильные реагенты [41] с помощью дивинилсульфида [42], их окисление до полигалогено(фтор)содержащих винилсульфонов и построение на их основе различных полифункциональных фторсодержащих бензолов и гетероциклических соединений, а также конденсированных фторсодержащих гетероциклов.

Этот общий подход имеет большие перспективы и с успехом может быть распространен на различные полигалогеносодержащие электрофильные реагенты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мокрушина Е.А., Чарушин В.Н., Чупахин О.Н. Хим.-фармацевт. ж., 1995, т. 29, № 9, с. 5–19.
2. Носова Э.В., Кравченко М.А., Липунова Г.Н. и др. Там же, 2002, т. 36, № 11, с. 12–14.
3. Реакционная способность полифторароматических соединений. Под ред. Г.Г. Яковсона. Новосибирск: Наука СО, 1983, с. 17.
4. Исаева Н. Соединения фтора. Синтез и применение. М.: Мир, 1990, 306 с.
5. Амосова С.В., Гостевская В.И., Гаврилова Г.М. и др. Изв. АН. Сер. хим., 1996, № 2, с. 430–433.
6. Амосова С.В., Гаврилова Г.М., Гостевская В.И. и др. Химия гетероцикл. соедин., 2002, № 1, с. 40–44.
7. Амосова С.В., Гаврилова Г.М. Ж. орган. химии, 2003, т. 39, вып. 5, с. 752–753.
8. Амосова С.В., Гаврилова Г.М., Вакульская Т.И. и др. Там же, 2003, т. 39, вып. 4, с. 568–571.
9. Амосова С.В., Гостевская В.И., Гаврилова Г.М. и др. Там же, 1992, т. 28, вып. 7, с. 1463–1466.
10. Trofimov B.A., Amosova S.V. Sulfur Reports, 1984, v. 3, № 9, p. 323–400.
11. Trofimov B.A., Amosova S.V. US Pat. 3887623, 1973.
12. Trofimov B.A., Amosova S.V., Gusarova N.K., Musorin G. K. Tetrahedron, 1982, v. 38, p. 713–718.
13. Амосова С.В., Гаврилова Г.М., Гостевская В.И. Ж. орган. химии, 2001, т. 37, вып. 1, с. 103–105.

14. Шостаковский М.Ф., Прилежаева Е.И., Цымбал Л.В. и др. Ж. общей химии, 1961, т. 31, вып. 8, с. 2496–2503.
15. Прилежаева Е.Н., Шапиро Э.С. Докл. АН СССР, 1967, т. 174, № 6, с. 1345–1348.
16. Amosova S.V., Gavrilova G.M., Albanov A.I. J. Sulfur Chem., 2004, v. 25, № 4, p. 269–274.
17. Амосова С.В., Гаврилова Г.М., Албанов А.И., Калистратова Е.Ф. Ж. орган. химии, 2005 (в печати).
18. Bellas M., Price D., Suschitzky H. J. Chem. Soc. (C), 1967, № 13, p. 1249–1254.
19. Родионов П.П., Фурин Г.Г., Якобсон Г.Г. Кинетика и катализ, 1985, т. 26, вып. 3, с. 548–552.
20. Амосова С.В., Гостевская В.И., Гаврилова Г.М. и др. Химия гетероцикл. соедин., 1996, № 9, с. 1195–1198.
21. Amosova S.V., Gavrilova G.M., Cherkashina V.G. 2-nd Int. Conf. «Chemistry and Biological Activity of Synthetic and Natural Compounds». Ed. V.G. Kartsev. M.: IBS PRESS, 2003, т. 2, с. 13–15, с. 255–256.
22. Амосова С.В., Гаврилова Г.М., Черкашина В.Г., Албанов А.И. Химия гетероцикл. соедин., 2004, № 9, с. 1410–1411.
23. Прилежаева Е.Н., Шапиро Э.С. Докл. АН СССР, 1967, т. 174, № 6, с. 1345–1348.
24. Левин А.Я., Воркунова Е.И. Гомолитическая химия фосфора. М.: Наука, 1978, с. 221–226.
25. Пудовик А.Н., Батыева Э.С., Ильясов А.В., Нестеренко В.Д. и др. Ж. общей химии, 1973, т. 43, вып. 7, с. 1451–1456.
26. Амосова С.В., Бирюкова Е.И., Гаврилова Г.М. и др. Химия в интересах устойчивого развития, 2004, т. 12, с. 599–603.
27. Testaferrì L., Tiecco M., Bartoli D., Massoli A. Tetrahedron, 1985, v. 41, № 7, p. 1373–1384.
28. Родионов П.П., Фурин Г.Г. Изв. СО АН СССР. Сер. хим., 1990, № 4, с. 3–26.
29. Ефремов И.В., Синягин А.М., Помыткин И.А. Химия гетероцикл. соедин., 1996, № 7, с. 932–935.
30. Фурин Г.Г. Ж. орган. химии, 1997, т. 33, вып. 9, с. 1287–1319.
31. Ким Д.Г., Пряхина О.В. Химия гетероцикл. соедин., 1996, № 8, с. 1026–1037.
32. Афонин А.В. Дис. ... докт. хим. наук. ИГУ, Иркутск, 1995, 423 с.
33. Afonin A.V., Vashchenko A.V., Tatsuya N. e. a. Canad. J. Chem., 1999, v. 77, p. 416.
34. Моцинский С.Д., Сологуб Л.С., Иващенко Я.Н., Ягупольский Л.М. Химия гетероцикл. соедин., 1972, № 12, с. 1634–1637.
35. Сологуб Л.С., Моцинский С.Д., Иващенко Я.Н., Левчук Ю.Н. Там же, 1972, № 4, с. 514–519.
36. Амосова С.В., Гостевская В.И., Гаврилова Г.М., Афонин А.В. Ж. орган. химии, 2003, т. 39, вып. 5, с. 760–764.
37. Амосова С.В., Гаврилова Г.М. Там же, 2004, т. 40, вып. 11, с. 1705–1708.
38. Afonin A.V., Ushakov I.A., Kuznetsova S.Yu., Andriyankova L.V. Magn. Reson. Chem., 2003, v. 41, p. 557–566.
39. Виноградова Т.И., Александрова А.Е., Антонова Е.В. и др. Проблемы туберкулеза, 1999, № 2, с. 88.
40. Китаев Ю.П., Бузыкин Б.И. Гидразоны. М.: Наука, 1974, 415 с.
41. Gavrilova G.M., Amosova S.V. Heteroatom Chemistry, 2005 (в печати).
42. Трофимов Б.А., Амосова С.В. Дивинилсульфид и его производные. Новосибирск: Наука СО, 1983, 264 с.