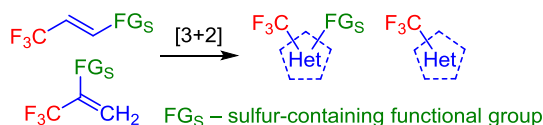


Синтез пятичленных гетероциклов реакциями [3+2]-циклоприсоединения серосодержащих производных 3,3,3-трифторпропена

Юрий Н. Маркитанов¹, Вадим М. Тимошенко^{1*}

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

Поступило 5.11.2021
Принято 6.12.2021



В настоящем мини-обзоре представлены литературные данные о применении производных 3,3,3-трифторпропена, имеющих в положении 1 или 2 серосодержащий заместитель, в синтезе функционализированных пятичленных гетероциклов – пирролов, пирролинов, пирролидинов, тетрагидропиринов, пирозолов, пирозолинов, пирозолидинов, изоксазолов, изоксазолинов, изоксазолидинов, триазолов – реакциями [3+2]-циклоприсоединения с 1,3-диполярными реагентами.

Ключевые слова: серосодержащий заместитель, 3,3,3-трифторпропен, 1,3-диполь, диполярнофил, циклоприсоединение.

Реакции [3+2]-циклоприсоединения являются одним из наиболее универсальных методов синтеза пятичленных гетероциклов.¹ Применение в данных циклизациях в качестве диполярнофилов производных 3,3,3-трифторпропена, имеющих у связи C=C электроноакцепторные трифторметильный и серосодержащий заместители, а также гетероатомных 1,3-диполей открывает удобный синтетический путь к получению различных классов пятичленных гетероциклов, содержащих как группу CF₃, так и гетерофункцию, – потенциально биологически активных соединений. Геометрия и природа заместителей в алкеновых субстратах [3+2]-циклоприсоединений оказывает влияние как на строение продуктов, так и на стереохимию протекания реакций. При этом особенность таких функциональных групп, как сульфонильная, выступать в роли уходящей группы может приводить к более широкому спектру возможных продуктов циклизаций, чего не наблюдается, к примеру, в реакциях диполярнофилов со сложноэфирной группой. В подобных реакциях, сопровождающихся отщеплением серосодержащего фрагмента, исходные замещенные производные 3,3,3-трифторпропена можно рассматривать как эквивалент 3,3,3-трифторпропина.

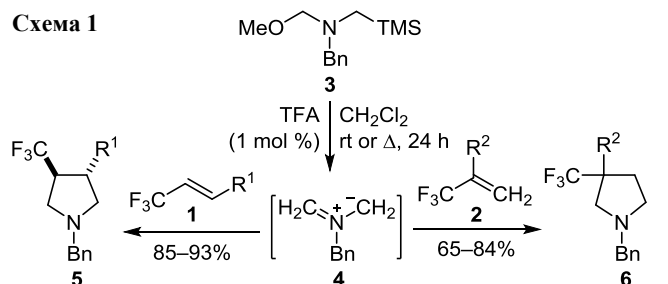
Изложенные в обзоре данные о синтезе пятичленных гетероциклов с применением методологии [3+2]-циклоприсоединения производных 3,3,3-трифторпропена, имеющих в положении 1 или 2 серосодержащий заместитель, сгруппированы по типу образующегося гетеро-

циклического соединения. В некоторых случаях обсуждается также синтетическое или биологическое применение получаемых гетероциклов.

Циклоприсоединение к азотинилидам. Синтез пирролидинов

Реакция циклоприсоединения *N*-бензилазотинилида **4**, который генерируется *in situ* из (метоксиметил)(триметилсилилметил)-*N*-бензиламина (**3**) в присутствии каталитических количеств TFA в CH₂Cl₂ при комнатной температуре, к производным 3,3,3-трифторпропена, замещенным в положении 1 (соединение **1**)² или 2 (соединение **2**)³ серосодержащей функциональной группой, приводит к образованию *N*-бензил-4-(трифторметил)- и *N*-бензил-3-(трифторметил)пирролидинов **5**, **6** с выходами 85–93 и 65–84% соответственно (схема 1). В случае *транс*-олефинов **1** циклоприсоединение с образованием аддуктов **5** протекает

Схема 1

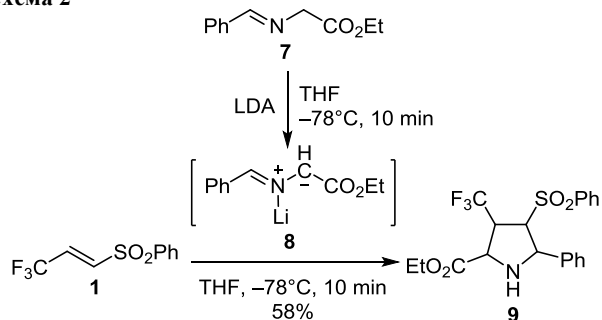


R¹ = SO₂Me, SO₂NMe₂, S(O)(NCO₂Et)Me; R² = SPh, S(O)Ph, SO₂Ph

стереоспецифично. При восстановительном дебензилировании соединений **5** водородом на палладиевом катализаторе были получены соответствующие *NH*-пирролидины.²

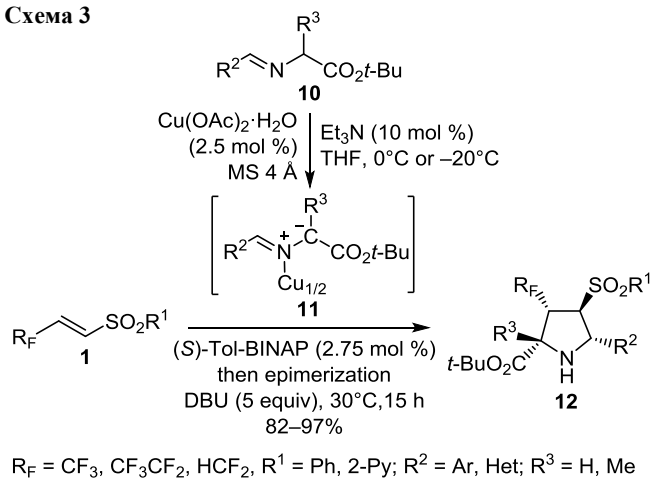
При использовании в реакции с 1-фенилсульфонил-3,3,3-трифторпропеном (**1**) азометинида – енолята *N*-бензилиденглицината **8**, генерируемого действием LDA на имин **7** в ТГФ при -78°C , региоселективно образуется 2,3,4,5-тетразамещенный *NH*-пирролидин **9** в виде смеси стереоизомеров с выходом 58% (схема 2).⁴

Схема 2



С применением хиральных комплексов меди Cu(II) и (*S*)-Tol-BINAP реакции асимметрического циклоприсоединения различных (β -полифторалкил/алкенил)-арилсульфонов **1** в присутствии Et_3N в ТГФ с иминоэфирами глицина и аланина **10** – предшественниками азометинида **11** – использовались в качестве практического метода получения полизамещенных полифторалкилпирролидинов **12** с четырьмя хиральными центрами с высокими выходами (82–97%), а также высокой энантио- и диастереоселективностью (схема 3).⁵

Схема 3

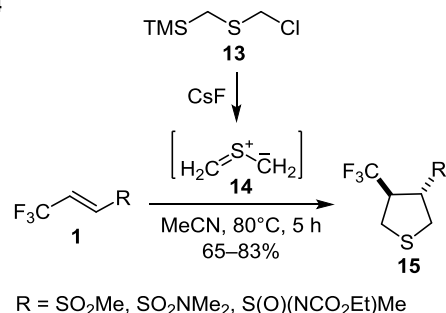


Циклоприсоединение к тиокарбониллиду. Синтез тетрагидротиофенов

Циклоприсоединение тиокарбониллида **14**, который генерируется *in situ* из (хлорметил)(триметилсилилметил)сульфида (**13**) в присутствии CsF при кипячении в MeCN, к производным (*E*)-3,3,3-трифторпропена **1**, содержащим в положении 1 сульфонильный, сульфамидный или сульфоксиминный замести-

тель, протекает стереоспецифично с образованием 4-(трифторметил)тетрагидротиофенов **15** с выходами 65–83% (схема 4).⁶ В результате реакций окисления и окислительного иминирования тиолов **15** были синтезированы функционализированные циклические 4-(трифторметил)тетрагидротиофенил-*S*-оксиды, *S,S*-диоксиды, а также *S*-имино-*S*-оксиды.⁶

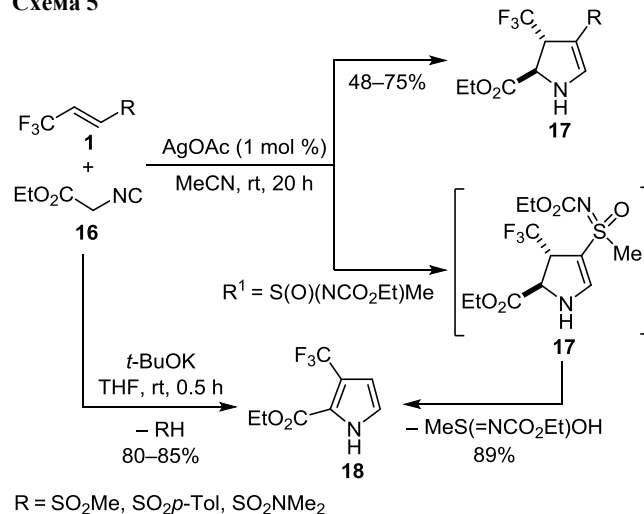
Схема 4



Циклоприсоединение к изоцианометилидам и нитриллидам. Синтез пирролинов и пирролов

Взаимодействие 1-сульфонил- и 1-сульфамоил-(*E*)-3,3,3-трифторпропенов **1** с изоциануксусным эфиром **16** в MeCN с использованием каталитических количеств AgOAc проходит региоселективно при комнатной температуре с образованием 3-(трифторметил)-2,3-дигидро-1*H*-пирролов (Δ^2 -пирролинов) **17** с выходами 48–75% (схема 5).⁷ В случае реакции алкена **1** с иминосульфонильным заместителем ($\text{R}^1 = \text{S}(\text{O})(\text{NCO}_2\text{Et})\text{Me}$) промежуточно образующийся пирролиносультфоксимин **17** претерпевает ароматизацию цикла с отщеплением метан(*N*-карбэтокс)имидосульфоновой кислоты и образованием этил-2-пирролкарбоксилата **18** (схема 5). При проведении реакции алкенов **1** и изоцианида **16** в присутствии оснований (*t*-BuOK) в ТГФ вследствие *in situ* элиминирования серосодержащего фрагмента из циклоаддуктов **17** однократно образуется пиррол **18** (схема 5).⁷ Производное пиразолина **17** с метилсульфонильной группой было использовано в синтезе 4-метансульфонил-3-(трифторметил)пирролидин-2-карбо-

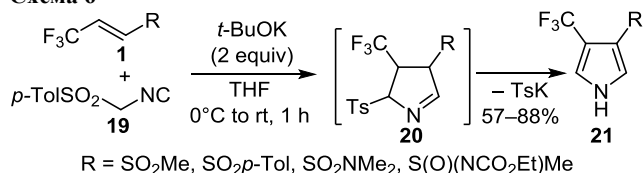
Схема 5



новой кислоты, которую можно рассматривать как фтор- и серосодержащий аналог пролина.⁷

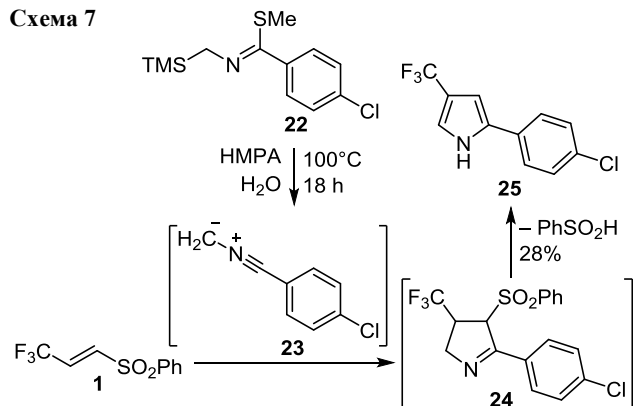
Реакции алкенов **1** с изоцианометилд-анионом, полученным из (тозилметил)изоцианида **19** в присутствии 2 экв. основания (*t*-BuOK) в ТГФ, протекают с образованием 4-(трифторметил)-1*H*-пирролов **21** с выходами 57–88% (схема 6).⁷ Промежуточно образующиеся в данной реакции α -тозилпирролины **20** претерпевают *in situ* элиминирование толуолсульфоната с образованием пирролов **21** (реакция Ван Леузена) (схема 6).

Схема 6



При циклоприсоединении 1-фенилсульфонил-3,3,3-трифторпропена (**1**) к нитрилиду **23**, образующемуся из *S*-метил-*N*-(триметилсилил)метил-4-(хлорфенил)тиоимидата (**22**) при нагревании в среде гексаметилфосфотриамида (HMPA) и присутствии H₂O, был получен 4-(трифторметил)-2-(4-хлорфенил)пиррол (**25**) с выходом 28% вследствие десульфонирования промежуточного сульфонилированного пирролина **24** (схема 7).⁸ Соединение **25** применялось в синтезе ряда 2-арил-4-бром-5-(трифторметил)пиррол-3-карбонитрилов как агентов, обладающих инсектицидной активностью.⁸

Схема 7



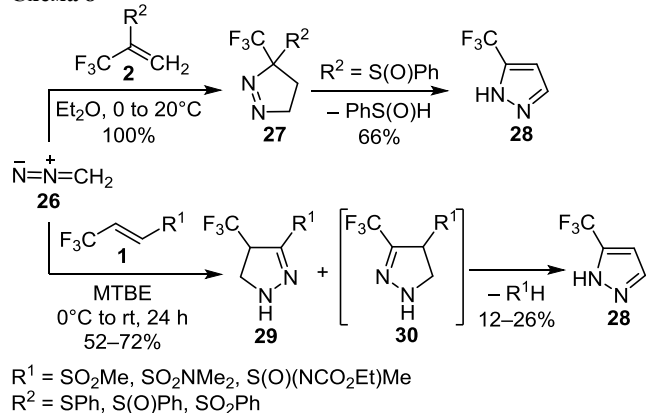
Циклоприсоединение к диазосоединениям, нитрилиминам и азометиниминам.

Синтез пиазолинов, пиазолов и пиазолидинов

Циклоприсоединение диазометана (**26**) к производным 3,3,3-трифторпропена **2**, содержащим в положении 2 сульфанильную, сульфинильную или сульфонильную группу, протекает региоселективно в Et₂O при комнатной температуре с образованием 3-замещенных производных 3-(трифторметил)-4,5-дигидро-3*H*-пиазола (Δ^2 -пиазолинов) **27**, термическая стабильность которых зависит от природы серосодержащего заместителя (схема 8).³ Пиазолинтиоэфир **27** (R² = SPh) стабилен при перегонке. Сульфинилированный пиазолин **27** (R² = S(O)Ph) в условиях термолита при 80°C претерпевает отщепление фенилсульфената, образуя 3-(три-

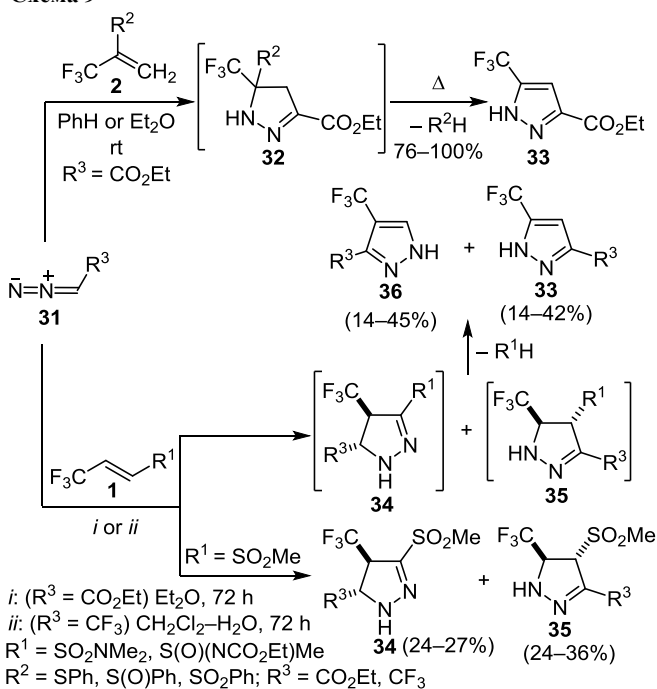
фторметил)пиазол (**28**). Сульфонилпиазолин **27** (R² = SO₂Ph) может быть выделен в чистом виде, но при термолите образует сложную смесь продуктов.³ В реакциях диазометана (**26**) с серосодержащими 1-замещенными производными 3,3,3-трифторпропена **1** в МТБЭ при комнатной температуре наблюдается образование региоизомерных циклоаддуктов – 4-(трифторметил)- и 3-(трифторметил)-4,5-дигидро-1*H*-пиазолов (Δ^2 -пиазолинов) **29** и **30** (схема 8).⁹ Региоизомеры **30** в условиях реакции при элиминировании серосодержащего заместителя превращаются в пиазол **28** (схема 8).⁹

Схема 8



Циклоприсоединение диазоуксусного эфира **31** (R³ = CO₂Et) к олефинам **2** в Et₂O или PhH при комнатной температуре проходит региоселективно с получением производных 5-(трифторметил)-4,5-дигидро-1*H*-пиазола (Δ^2 -пиазолинов) **32**, которые при нагревании вследствие ароматизации цикла образуют пиазол **33** (схема 9).³

Схема 9

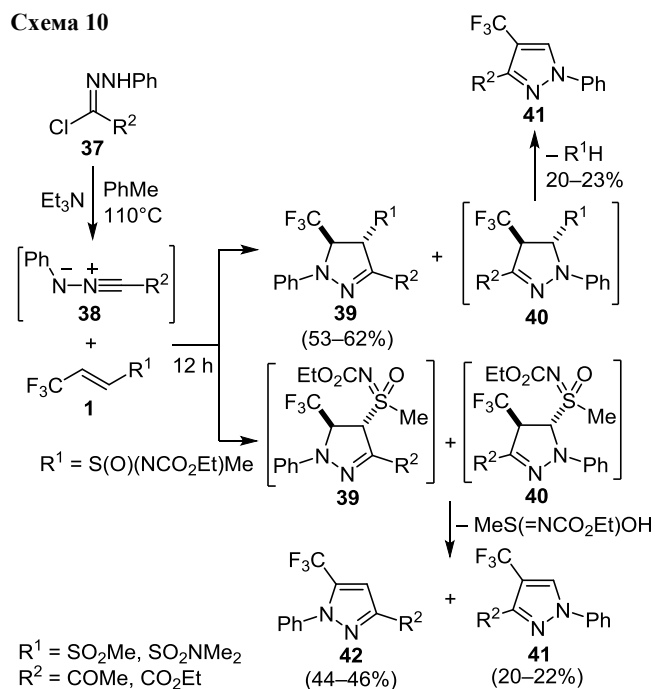


Реакции алкенов **1** с диазоуксусным эфиром **31** ($R^3 = \text{CO}_2\text{Et}$) в Et_2O и с 2,2,2-трифтордиазоэтаном **31** ($R^3 = \text{CF}_3$), который генерируется *in situ* из гидрохлорида 2,2,2-трифторэтиламина под действием NaNO_2 в двухфазной системе $\text{CH}_2\text{Cl}_2\text{--H}_2\text{O}$, протекают с образованием изомерных 5(3)-замещенных 4-трифторметил-3,4(4,5)-дигидро-2(1)*H*-пиразолов **34** и 4-замещенных 5-(трифторметил)-4,5-дигидро-1*H*-пиразолов **35**. При этом, в зависимости от природы серосодержащего заместителя, первоначальные аддукты циклоприсоединения могут претерпевать дальнейшие превращения. Пиразолины **34** и **35** с сульффонильным заместителем являются стабильными, тогда как пиразолины **34** и **35** с сульфамидным и сульфоксиминным заместителем в реакционной смеси подвергаются спонтанной ароматизации цикла с образованием пиразольных производных **36** и **33** соответственно (схема 9).⁹

При циклоприсоединении 1-сульфонил- и 1-сульфамидил-(*E*)-3,3,3-трифторпропенов **1** к *N*-фенилнитрил-имину **38**, который генерируется *in situ* из фенилгидразилиденхлоридов **37** в присутствии избытка Et_3N , при нагревании в PhMe образуются региоизомерные циклоаддукты – производные 5-(трифторметил)- и 4-(трифторметил)-4,5-дигидро-1*H*-пиразола (Δ^1 -пиразолины) **39** и **40**. Последние в условиях реакции вследствие элиминирования серосодержащего фрагмента превращаются в 4-(трифторметил)-1-фенил-1*H*-пиразолы **41** (схема 10).⁹ При взаимодействии нитрилимину **38** и олефина **1** с иминосульфонильным заместителем ($R^1 = \text{S(O)(NCO}_2\text{Et)Me}$) оба промежуточно образующихся региоизомерных пиразолина **39** и **40** в условиях реакции претерпевают отщепление метан(*N*-карботокси)имидосульфоновой кислоты и превращаются в пиразолы **42** и **41** соответственно (схема 10).⁹

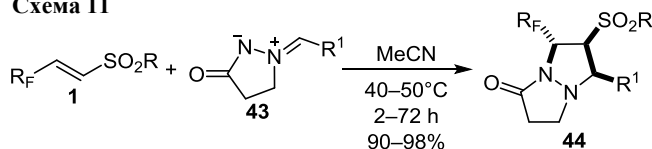
В реакциях циклоприсоединения (*E*)- α,β -ненасыщенных β -фторалкил-2-пиридил- и фенилсульфонов **1** с

Схема 10



рядом ароматических, гетероароматических и алифатических азометиниминов **43** в мягких условиях (нагревание в MeCN) и в отсутствие катализаторов региоселективно образуются в виде рацемических смесей трифторметилированные *N,N*-бициклические пиразолидиноны **44**, выделенные с высокими выходами, а также хорошими и высокими показателями экзо-селективности (схема 11).¹⁰

Схема 11



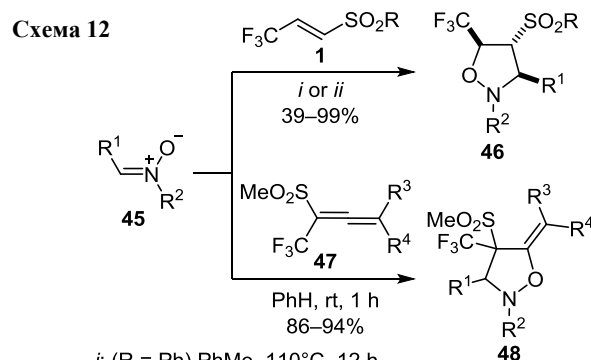
$R_F = \text{CF}_3, \text{HCF}_2, \text{H}_2\text{CF}, \text{C}_2\text{F}_5, \text{CF}_2\text{Cl}, \text{CF}_2\text{Br}$
 $R = \text{Ph}, 2\text{-Py}; R^1 = \text{Alk}, \text{Ar}, \text{Het}$

Циклоприсоединение к нитронам и нитрилоксидам. Синтез изоксазолидинов, изоксазолинов и изоксазолов

Циклоприсоединение (*E*)-1,1,1-трифтор-3-фенил- и 2-пиридилсульфонилпропена **1** к нитронам **45** протекает региоселективно при кипячении в PhMe ¹¹ либо при нагревании в MeCN ¹⁰ и приводит к образованию замещенных 4-сульфонил-5-(трифторметил)изоксазолидинов **46**, выделенных с выходами 39–99% и высокой стереоселективностью (схема 12). Аналогичные реакции с 1-(метансульфонил)-1-(трифторметил)алленами **47**, выступающими активными 1,3-диполярофилами, протекают гладко в PhH уже при комнатной температуре в отсутствие катализаторов и приводят к получению с высокими выходами (86–94%) в виде единственных изомеров полизамещенных изоксазолидиновых производных **48**, содержащих экзоциклическую связь $\text{C}=\text{C}$ (схема 12).¹² Как предшественники различных ациклических соединений изоксазолидины **48** применялись для получения соответствующих трифторметилированных *син*-3-аминоспиртов посредством последовательных реакций восстановительного десульфонилирования и каталитического гидрирования.¹¹

Для асимметрического варианта циклоприсоединения к нитронам **45** использовались оптически активные

Схема 12



i: ($R = \text{Ph}$) $\text{PhMe}, 110^\circ\text{C}, 12\text{ h}$

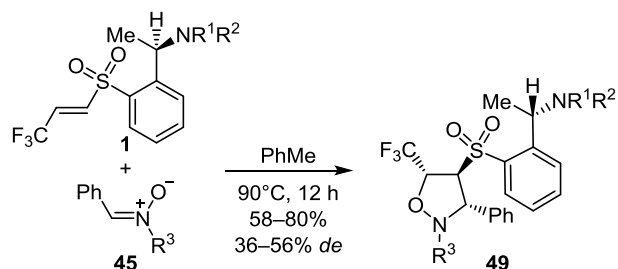
ii: ($R = 2\text{-Py}$) $\text{MeCN}, 40^\circ\text{C}, 24\text{ to }48\text{ h}$

1, 45, 46 $R = \text{Ph}, 2\text{-Py}; R^1 = \text{H}, \text{Me}, \text{Ph}, 4\text{-MeOC}_6\text{H}_4$
 $R^2 = \text{Me}, \text{Bu}, \text{Ph}$

45, 47, 48 $R^1 = \text{Ph}; R^2 = \text{Ph}, 4\text{-ClC}_6\text{H}_4, 4\text{-O}_2\text{NC}_6\text{H}_4$
 $R^3/R^4 = \text{Me}, \text{Et}, (\text{CH}_2)_5$

α,β -ненасыщенные трифторметиларилсульфоны **1**, содержащие хиральную *N,N*-диалкиламиноэтильную группу в *орто*-положении. При этом, соответствующие 5-(трифторметил)изоксазолидины **49** были региоселективно получены из нитронов **45** при нагревании в PhMe с выходами 58–80% и с диастереоселективностью 36–56% (схема 13).¹³

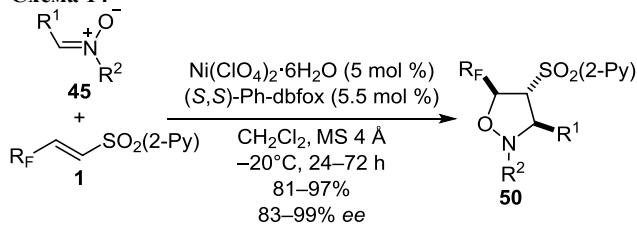
Схема 13



$R^1 = R^2 = \text{Me}$; $R^1 + R^2 = (\text{CH}_2)_5$; $R^1 = \text{Me}$; $R^2 = \text{Pr}$; $R^3 = \text{Me, Bu, Ph}$

Асимметрический вариант циклоприсоединения был реализован также с помощью хирального катализа. Так, широкий спектр оптически чистых 5-(фторалкил)изоксазолидинов **50** с высокими выходами (81–97%), а также с высокой диа- и энантиоселективностью (83–99% *ee*) был получен в реакциях асимметрического циклоприсоединения ряда α,β -ненасыщенных фторалкил-2-пиридилсульфонов **1** с различными ароматическими и алифатическими нитронами **45** в присутствии Ni(II)бис(оксазолинового) катализатора (*S,S*)-Ph-dbfox (схема 14).¹⁴ Продукты **50** нашли применение в асимметрическом синтезе энантиобогащенных α -трифторметилированных γ -аминоспиртов, а также для получения хиральных трифторметилзамещенных производных 1,3-оксазинан-2-она как соединений с потенциальной противовирусной активностью.¹⁴

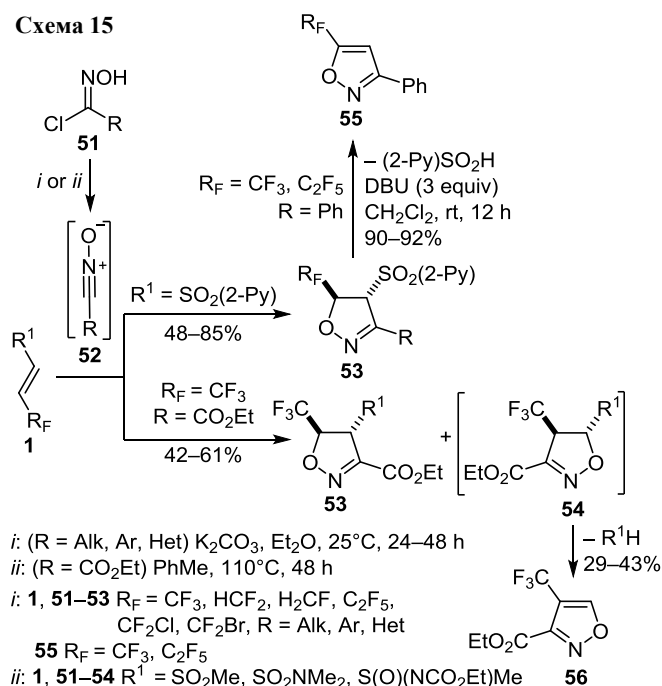
Схема 14



$R_F = \text{CF}_3, \text{C}_4\text{F}_9, \text{C}_6\text{F}_{13}$; $R^1 = \text{Ph, Bn}$; $R^2 = \text{Ar, Alk}$

Реакции циклоприсоединения β -фторалкилвинилпиридилсульфонов **1** к различным нитрилоксидам **52** ($R = \text{Alk, Ar, Het}$), образующимся из соответствующих *N*-гидроксимидоилхлоридов **51** при действии основания (K_2CO_3) в Et_2O при комнатной температуре, протекают с образованием производных 5-(трифторметил)-4,5-дигидроизоксазола **53** (48–85%) с высокой регио- и диастереоселективностью (*dr* >99:1) (схема 15).¹⁵ Соединения **53** под действием DBU могут быть легко превращены в соответствующие 5-фторалкил-2-изоксазолы **55** вследствие отщепления пиридилсульфонильного заместителя (схема 15).¹⁵ В аналогич-

Схема 15



i: ($R = \text{Alk, Ar, Het}$) K_2CO_3 , Et_2O , 25°C , 24–48 h

ii: ($R = \text{CO}_2\text{Et}$) PhMe, 110°C , 48 h

i: **1**, **51–53** $R_F = \text{CF}_3, \text{HCF}_2, \text{H}_2\text{CF}$, C_2F_5 , CF_2Cl , CF_2Br , $R = \text{Alk, Ar, Het}$

55 $R_F = \text{CF}_3, \text{C}_2\text{F}_5$

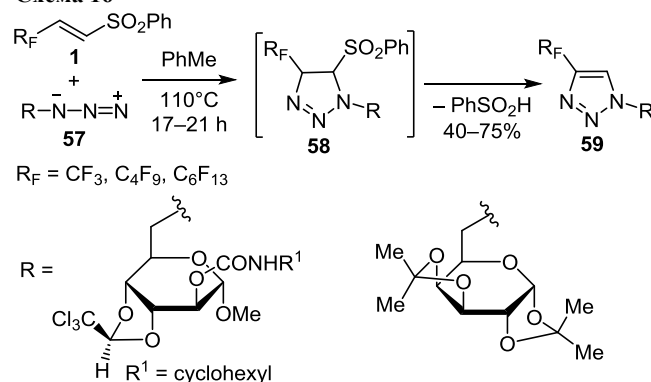
ii: **1**, **51–54** $R^1 = \text{SO}_2\text{Me, SO}_2\text{NMe}_2, \text{S}(\text{O})(\text{NCO}_2\text{Et})\text{Me}$

ных реакциях производных (*E*)-3,3,3-трифторпропена **1** ($R_F = \text{CF}_3$), содержащих в положении 1 сульфонильный, сульфоксиминный или сульфамидный заместитель, с *N*-оксидом этилцианокарбоксилата **52** ($R = \text{CO}_2\text{Et}$), генерируемым *in situ* из этилоксиминохлорацетата **51** при кипячении в PhMe, образуется смесь региоизомерных циклоаддуктов – 5-(трифторметил)- и 4-(трифторметил)-4,5-дигидроизоксазолов **53** и **54** (схема 15).¹⁶ Последние в условиях реакции образуют изоксазол **56**, который является продуктом спонтанного элиминирования серосодержащего фрагмента из изоксазолинов **54** (схема 15).¹⁶

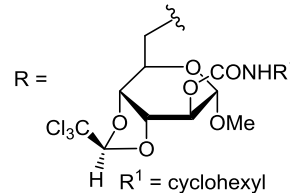
Циклоприсоединение к азидам. Синтез 1,2,3-триазолов

Циклоприсоединение (*E*)-перфторалкил-2-фенилсульфонилэтеннов **1** к 6-азидо- α -D-галактозе и -альтросе **57** при кипячении в PhMe сопровождается десульфонилированием промежуточных 1,2,3-триазилинов **58** и образованием производных 1,2,3-триазола **59** в виде одного региоизомера, выделенных с выходами 40–75% (схема 16).¹⁷ Данные реакции использовались для

Схема 16



$R_F = \text{CF}_3, \text{C}_4\text{F}_9, \text{C}_6\text{F}_{13}$



получения реверсных нуклеозидов фторалкилзамещенных 1,2,3-триазолов, присоединенных к атому С-6 сахаров как потенциально биологически активных соединений.¹⁷

Таким образом, в настоящем обзоре впервые сгруппированы данные о синтезе трифторметилзамещенных серосодержащих пятичленных гетероциклов с использованием методологии 1,3-диполярного [3+2]-циклоприсоединения функционализированных производных 3,3,3-трифторпропена, а также продемонстрировано влияние природы заместителей в исходных субстратах на регионаправленность, региоселективность реакций и строение циклоаддуктов. Практическая ценность данного синтетического подхода при использовании в качестве диполярофилов фтор- и серосодержащих олефиновых субстратов заключается в возможности одновременного введения в молекулу гетероцикла как фторалкильной группы, так и экзоциклического серосодержащего фрагмента. Получаемые таким путем гетероциклы являются перспективными объектами химико-биологических исследований, а некоторые из них вследствие выявленной биологической активности нашли и практическое применение. Имеющийся на сегодняшний день обширный спектр доступных 1,3-диполей различной природы предполагает несомненное развитие представленного в обзоре синтетического направления для получения новых труднодоступных гетероциклических соединений.

Список литературы

- (a) *Synthetic Applications of 1,3-Dipolar Cycloaddition Chemistry Toward Heterocycles and Natural Products*; Padwa, A.; Pearson, W. H., Eds.; Wiley: New York, 2002. (b) Gothelf, K. V.; Jørgensen, K. A. *Chem. Rev.* **1998**, 98, 863. (c) Stanley, L. M.; Sibi, M. P. *Chem. Rev.* **2008**, 108, 2887. (d) Hashimoto, T.; Maruoka, K. *Chem. Rev.* **2015**, 115, 5366.
- Markitanov, Yu. M.; Timoshenko, V. M.; Shermolovich, Yu. G.; Mykhalchuk, V. L.; Grafova, I. A.; Grafov, A. V. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2016**, 52, 503. [Химия гетероцикл. соединений **2016**, 52, 503.]
- Plancquaert, M.-A.; Redone, M.; Janousek, Z.; Viehe, H. G. *Tetrahedron* **1996**, 52, 4383.
- Taguchi, T.; Tomizawa, G.; Kawara, A.; Nakajima, M.; Kobayashi, Y. *J. Fluorine Chem.* **1988**, 40, 171.
- Cheng, F.; Kalita, S. J.; Zhao, Z.-N.; Yang, X.; Zhao, Y.; Schneider, U.; Shibata, N.; Huang, Y.-Y. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2019**, 58, 16637.
- Markitanov, Yu. M.; Timoshenko, V. M.; Rudenko, T. V.; Rusanov, E. B.; Shermolovich, Yu. G. *J. Sulfur Chem.* **2019**, 40, 629.
- Markitanov, Yu. N.; Timoshenko, V. M.; Rusanov, E. B.; Shermolovich, Yu. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2021**, 57, 253. [Химия гетероцикл. соединений **2021**, 57, 253.]
- Kuhn, D. G.; Kamhi, V. M.; Furch, J. A.; Diehl, R. E.; Lowen, G. T.; Kameswaran, V. *Pestic. Sci.* **1994**, 41, 279.
- Markitanov, Yu. N.; Timoshenko, V. M.; Mykhaylychenko, S. S.; Rusanov, E. B.; Khyzhan A. I.; Shermolovich, Yu. G. *Chem. Heterocycl. Compd.* **2021**, 57, 1107. [Химия гетероцикл. соединений **2021**, 57, 1107.]
- Kou, Y.-D.; Zhao, Zh.-N.; Yang, X.; Kalita, S. J.; Chen, X.-J.; Xie, Zh.-Zh.; Zhao, Y.; Huang, Y.-Y. *Asian J. Org. Chem.* **2018**, 7, 1830.
- Tsuge, H.; Okano, T.; Eguchi, S. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1995**, 2761.
- Li, J.-L.; Yang, X.-J.; Jiang, M.; Liu, J.-T. *Tetrahedron Lett.* **2017**, 58, 3377.
- Tsuge, H.; Okano, T.; Eguchi, S.; Kimoto, H. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. 1* **1997**, 1581.
- Yang, X.; Cheng, F.; Kou, Y.-D.; Pang, S.; Shen, Y.-C.; Huang, Y.-Y.; Shibata, N. *Angew. Chem., Int. Ed.* **2017**, 56, 1510.
- Ou, Zh.; Huang, Q.; Kou, Y.-D.; Cheng, F.; Kalita, S. J.; Zhao, Zh.-N.; Huang, Y.-Y. *Asian J. Org. Chem.* **2019**, 8, 2184.
- Markitanov, Yu. N.; Timoshenko, V. M.; Shermolovich, Yu. G. *Chem Heterocycl Compd.* **2018**, 54, 89. [Химия гетероцикл. соединений **2018**, 54, 89.]
- Hager, C.; Miethchen, R.; Reinke, H. *J. Fluorine Chem.* **2000**, 104, 135.