

Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков

**ТЕРМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА ТИОФЕНА,
СЕЛЕНОФЕНА И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ
(ОБЗОР)**

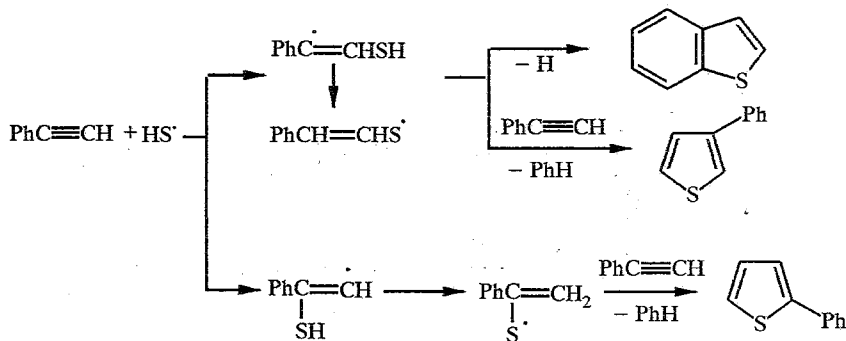
Обобщены и систематизированы литературные данные, посвященные термическим реакциям, приводящим к образованию тиофена, селенофена и их производных. Рассмотрены механизмы этих реакций и сформулированы условия формирования тиофенового и селенофенового гетероциклов.

Ключевые слова: тиофен, селенофен, термический синтез, механизм.

Тиофен, селенофен, их производные и аналоги используются для создания термостойких и электропроводных полимеров, лекарственных и ветеринарных препаратов, пестицидов, комплексонов и т. д. [1, 2]. Ряд соединений этого типа труднодоступен, так как их синтез часто является многостадийным и требует использования катализаторов [3–6]. Между тем, многие термические реакции сероводорода, дигидрокарбилдисульфидов, -селенидов и -диселенидов с непредельными и ароматическими соединениями являются простыми одностадийными методами синтеза тиофена, селенофена, их производных и аналогов. Ниже рассматриваются и систематизируются литературные данные, посвященные этим реакциям, обсуждаются их механизмы и перспективы использования в органическом синтезе. Значительное место при этом занимают публикации, в которых отражены многолетние исследования, проведенные авторами обзора.

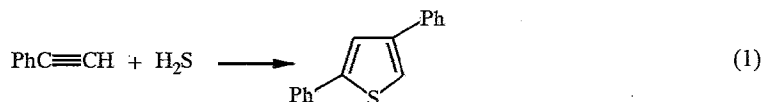
РЕАКЦИИ СЕРОВОДОРОДА И АЛКИЛХАЛЬКОГЕНИДОВ

При термических реакциях из сероводорода и многих органических соединений серы и селена образуются халькогенцентрированные радикалы. Последние более или менее легко реагируют с непредельными и ароматическими соединениями с образованием радикал-аддуктов, часто гетероциклизующихся с формированием тиофенового или селенофенового циклов [7–9].



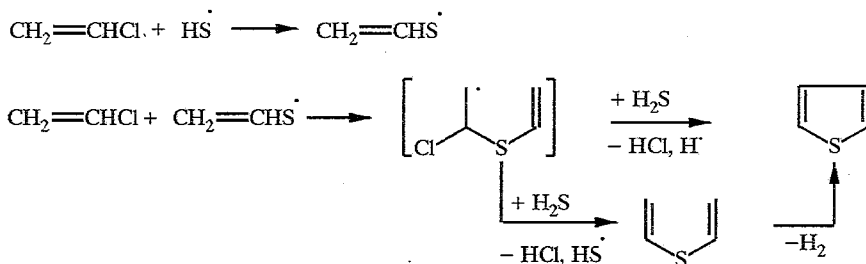
При 400–700 °С сероводород с ацетиленом не реагирует. Газофазная же реакция фенилацетилена с сероводородом приводит к бензотиофену, 2- и 3-фенилтиофену с общим выходом, не превышающим 5–10% [10]. Их образование (схема 1), по-видимому, обусловлено присоединением радикалов HS[·] преимущественно к β-положению тройной связи фенилацетилена, так как выход 2-фенилтиофена существенно ниже, чем 3-фенилтиофена. Выход этих же продуктов осернения фенилацетилена удастся повысить, используя вместо сероводорода диалкилдисульфиды.

В жидкой фазе в присутствии серы при 150 °С фенилацетилен реагирует с сероводородом в ином направлении с образованием 2,4-дифенилтиофена по реакции (1) (выход 80 %) [11]:



При газофазном взаимодействии сероводорода с хлорэтенom (530–550 °С) генерируются винилтиильные радикалы, далее дающие тиофен (схема 2) [12, 13]:

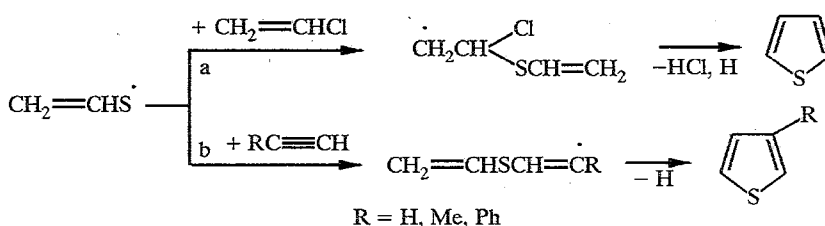
Схема 2



Использование 2–3-кратного избытка хлорэтена способствует повышению выхода тиофена до 80%.

При термоллизе в газовой фазе (500–570 °С) системы хлорэтен—сероводород—ацетилен (или его производные) образуются тиофен или соответствующие его замещенные за счет конкурентных реакций винилтиильных радикалов с двумя химическими "ловушками" CH₂=CHCl и CH≡CH [14]. На второй стадии винилтиильные радикалы могут реагировать в двух параллельных направлениях (схема 3): а) с хлорэтенom с образованием тиофена, б) с ацетиленом также с образованием тиофена:

Схема 3



Тиофен в тройной системе сероводород—хлорэтен—ацетилен образуется главным образом за счет связывания радикалов $\text{CH}_2=\text{CHS}^\cdot$ ацетиленом. Последний для них является более эффективной химической "ловушкой", чем хлорэтен, поскольку выход тиофена 73—80% достигается при эквивалентном соотношении реагентов или даже при недостатке $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, конверсия которого не превышает 78%.

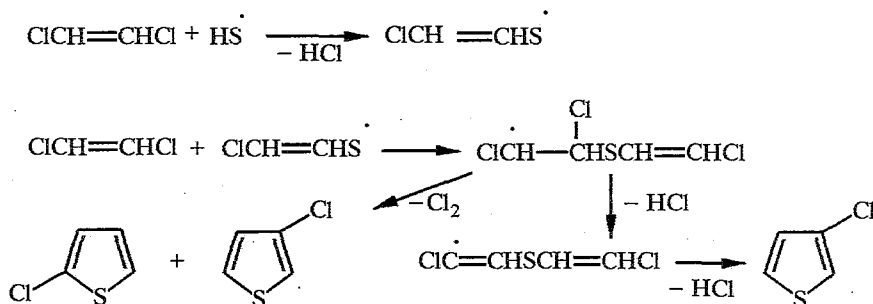
Основными продуктами реакции хлорэтена с сероводородом и метилацетиленом являются 2- и 3-метилтиофен (суммарный выход около 80%) и тиофен (13—16%). Как и ацетилен, метилацетилен является более эффективной, чем хлорэтен "ловушкой" радикалов $\text{CH}_2=\text{CHS}^\cdot$. Они равновероятно атакуют α - или β -атом углерода тройной связи метилацетилена (выход 2- и 3-метилтиофена одинаков). Тем не менее метилацетилен связывает винилтиильные радикалы менее эффективно, чем ацетилен.

Взаимодействие хлорэтена с сероводородом и фенилацетиленом приводит к 3-фенилтиофену (выход до 63%). Одновременно образуются 2-фенилтиофен (12—16%) и бензотиофен (4—16%). Отсутствие среди продуктов реакции тиофена свидетельствует, что конкуренцию за улавливание радикалов $\text{CH}_2=\text{CHS}^\cdot$ у хлористого винила полностью выигрывает фенилацетилен. Эффективность изученных химических "ловушек" винилтиильных радикалов возрастает в ряду:



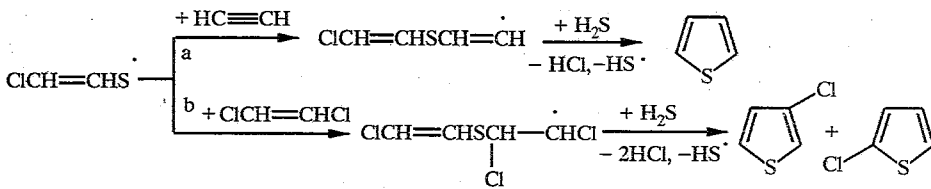
Реакция сероводорода с 1,2-дихлорэтенем при 430—470 °С приводит к смеси 2- и 3-хлортиофена с общим выходом 30—35%. Они образуются за счет генерирования β -хлорвинилтиильных радикалов, которые далее реагируют с исходным дихлорэтенем по схеме 4 [15—16]:

Схема 4



Выход хлортиофенов повышается при избытке дихлорэтена.

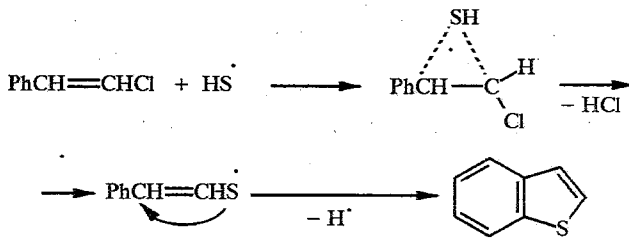
Основным продуктом сополилиза 1,2-дихлорэтена, сероводорода и ацетилена при 500—600 °С (мольное соотношение 1:1:1) является тиофен (выход до 40%), а 2- и 3-хлортиофен образуются лишь с выходом 10—15% [14]. Это свидетельствует о преимущественном связывании β -хлорвинилтиильных радикалов ацетиленом (схема 5, а), а не дихлорэтенем (схема 5, б):



Побочными продуктами реакции оказываются тиенотиофены (2–5%) и бензо[*b*]тиофен (~3%).

В газовой фазе при 600 °С сероводород реагирует с β-хлор- или β-бром-стиролом с образованием бензотиофена за счет внутримолекулярной циклизации генерируемых *in situ* по схеме 6 β-фенилвинилтильных радикалов [17]:

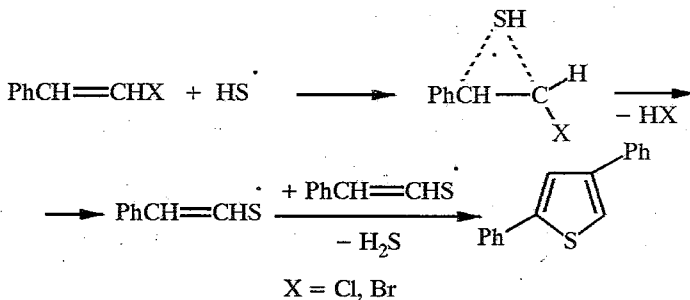
Схема 6



Выход бензотиофена достигает 75–85%. Вместо сероводорода для его генерации можно использовать алкантиолы.

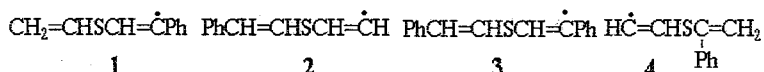
Взаимодействие β-галогенстиролов с сероводородом при 150–170 °С приводит (схема 7) только к 2,4-дифенилтиофену, который является продуктом межмолекулярной конденсации β-фенилвинилтильных радикалов [18]:

Схема 7



Пиролиз тройной системы β-галогенстирол–сероводород–ацетилен (или фенилацетилен) приводит в основном к бензотиофену, а также к 2- и 3-фенилтиофенам [14]. Так, основным продуктом термоллиза системы β-хлорстирол–сероводород–ацетилен при 580–650 °С является бензо[*b*]тиофен (выход 52%). При этом образуются также 3-фенилтиофен (выход 4%) и 2-фенилтиофен (2–3%), являющиеся продуктами присоединения β-фенилвинилтильных радикалов к ацетилену. Тиофен (выход 5–30%), по-видимому, образуется за счет связывания ацетиленом винилтильных

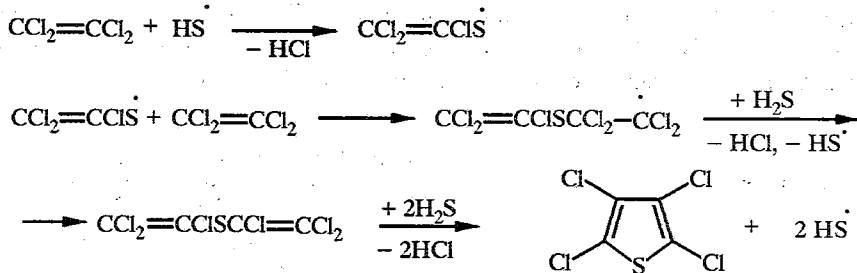
радикалов. Термолиз системы α -бромстирол—сероводород—ацетилен при 500–525 °С приводит преимущественно к 2-фенилтиофену (выход 73%) — продукту присоединения β -фенилвинилтиильных радикалов к ацетилену. Основными продуктами термолиза системы β -хлорстирол—сероводород—фенилацетилен при 650 °С (мольное соотношение 1:1:1) являются бензотиофен (выход 45%) и 3-фенилтиофен (выход 12% — в 3 раза выше, чем при использовании ацетилена). Одновременно образуются следы 2-фенилтиофена (выход до 2%) и значительное количество бензола (33%). В целом при термолизе тройной системы β -галогенстирол—сероводород—ацетилен (или фенилацетилен) на первой стадии генерируются β -фенилвинилтиильные радикалы, внутримолекулярная циклизация которых приводит к бензо[*b*]тиофену. Реакция радикалов $\text{PhCH}=\text{CHS}\cdot$ с ацетиленом или его производными протекает гораздо медленнее, чем их гетероциклизация. Эти радикалы в изученных условиях с галогенэтенами практически не реагируют. При этом более эффективной "ловушкой" для них является фенилацетилен, а не ацетилен. α -Фенилвинилтиильные радикалы, напротив, реагируют преимущественно с ацетиленом, образуя 2-фенилтиофен. Сравнение радикал-аддуктов винилтиильных радикалов с фенилацетиленом (1–4) указывает, что наибольшее участие в делокализации неспаренного электрона принимает фенильная группа радикалов 1 и 3.

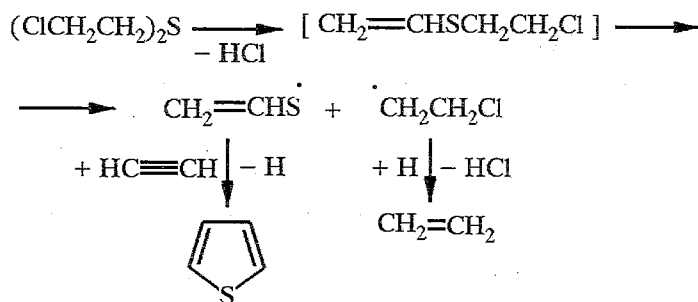


Очевидно, поэтому фенилацетилен и является наиболее эффективной химической "ловушкой" винилтиильных радикалов. β -Фенилвинилтиильные радикалы менее селективно улавливаются ацетиленом и его производными вследствие способности к внутримолекулярной циклизации в термодинамически стабильные гетероциклы, а также образования менее стабилизированного радикал-аддукта. β -Фенилвинилтиильные радикалы реагируют с ацетиленом так же, как и незамещенные винилтиильные радикалы. β -Хлорвинилтиильные радикалы селективно связываются ацетиленом с образованием 2- и 3-хлортиофенов.

Реакция тетрахлорэтена с сероводородом при 400–600 °С приводит к тетрахлортиофену по схеме 8. Его выход при рецикле исходных и промежуточных продуктов реакции достигает 75%. За один же проход конверсия тетрахлорэтена является очень низкой вследствие меньшей реакционной способности тетрахлорэтена при связывании винилтиильных радикалов [19]:

Схема 8

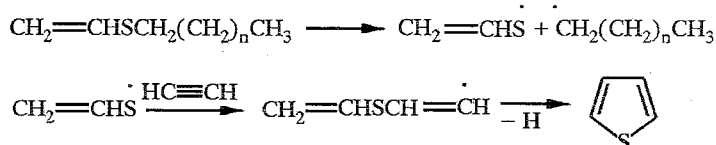




Аналогично при 500–600 °С с ацетиленом реагирует этил(2-хлорэтил)сульфид. Несмотря на его полную конверсию, выход тиофена при этом не превышает 25–27%.

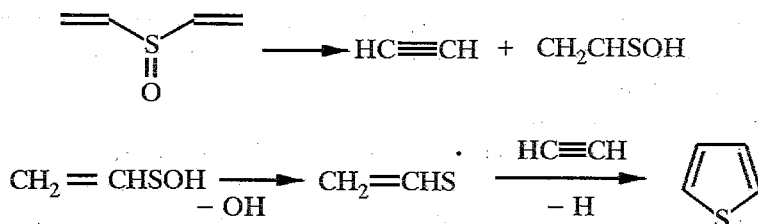
Газофазная реакция с ацетиленом алкилвинилсульфидов за счет генерирования из них винилтиильных радикалов (схема 14) приводит к образованию тиофена. Его выход при использовании бутилвинилсульфида достигает 60–76% [27]:

Схема 14

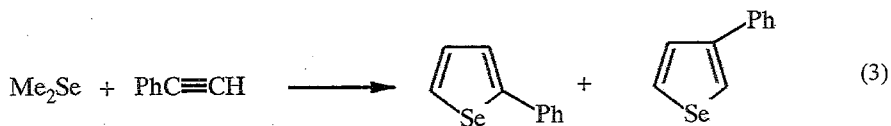


Винилтиильные радикалы и ацетилен могут одновременно генерироваться в газовой фазе из дивинилсульфоксида. Его термоллиз при 400 °С приводит к тиофену, выход которого достигает 60% [28]. Механизм реакции (схема 15) включает стадии распада молекулы дивинилсульфоксида на ацетилен и винилсульфеновую кислоту. Последняя генерирует радикалы $\text{CH}_2=\text{CHS}^\cdot$ и HO^\cdot . Винилтиильные радикалы далее реагируют с ацетиленом:

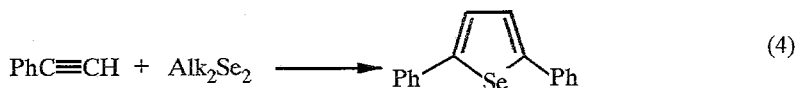
Схема 15



Взаимодействие диметилселенида с фенилацетиленом при 540 °С приводит к 2-фенилселенофену (выход 43%). Одновременно образуется небольшое количество (2%) 3-фенилселенофена (реакция 3) [26]:

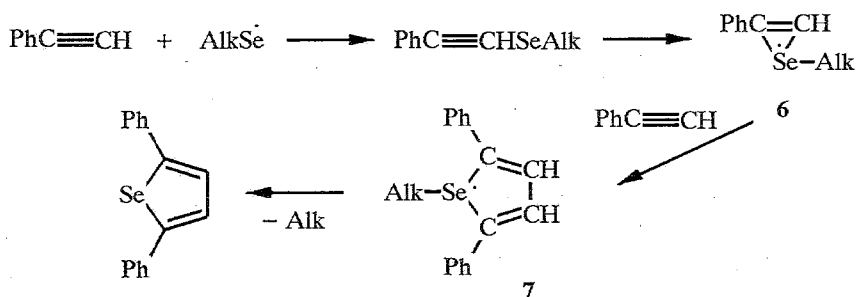


Продуктом жидкофазной термической реакции фенилацетилена с диалкилдиселенидами (мольное соотношение 2:1, 140 °C) является 2,4,5-дифенилселенофен, которому первоначально была приписана структура 2,4-дифенилселенофена (реакция 4) [29, 30]:



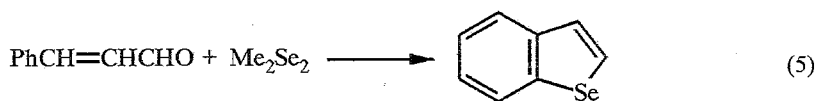
Механизм образования 2,5-дифенилтиофена и 2,4-дифенилселенофена в жидкофазных реакциях фенилацетилена с диалкилдиселенидами соответственно предусматривает стадию генерирования винилхалькогенильных радикалов и их присоединение в α -положение тройной связи фенилацетилена по схеме 16 [30]:

Схема 16



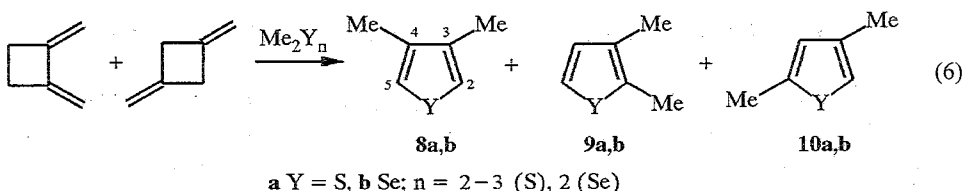
Радикал-аддукты 6 и 7 стабилизируются при отщеплении от них атома водорода или алкильного радикала.

Продуктом газофазной реакции Me_2Se_2 с коричным альдегидом (мольное соотношение 1:1, 630 °C) является бензоселенофен (выход 53%) (реакция 5) [31, 32]:



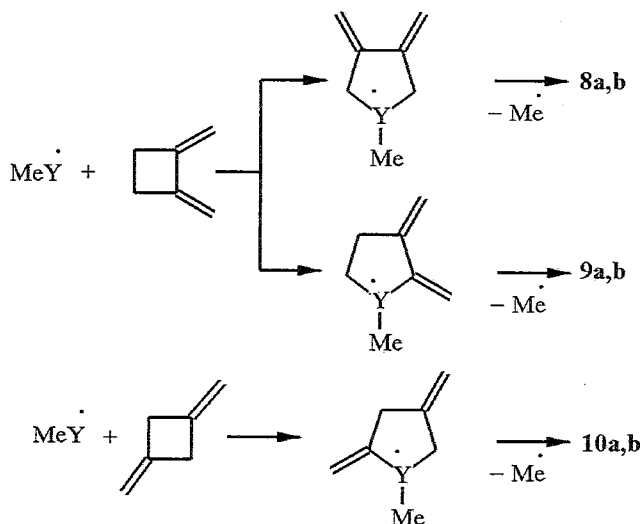
Специфическими химическими "ловушками" алкилхалькогенильных радикалов являются диметиленциклобутаны.

Взаимодействие диметиленциклобутанов (смесь 1,2- и 1,3-изомеров) при 450–500 °C с диметилполисульфидами или диметилдиселенидом по реакции (6) приводит соответственно к диметилтиофенам и диметилселенофенам — смесь 3,4-, 2,3- и 2,4- изомеров [33]:



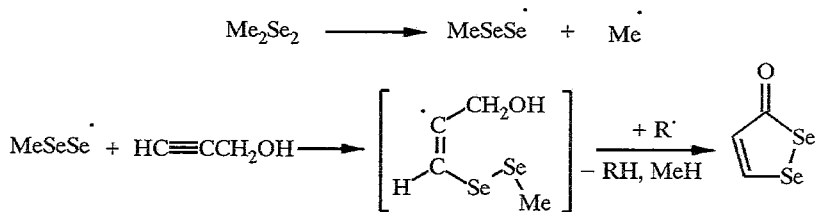
Изомерный состав образующихся диметилхалькогенофенов в обоих случаях примерно одинаков: мольное соотношение **8:9:10** составляет 3:1:1,5. При этом выход диметилтиофенов достигает 42%, а диметилселенофенов — 58%. По-видимому, реакция (6) инициируется генерированием халькогенильных радикалов MeY^\cdot , которые далее по схеме 17 разрывают эндоциклические связи С—С диметиленициклобутанов:

Схема 17



Для алкилперселенильных радикалов эффективной "ловушкой" является пропаргильный спирт [34]. Так, реакция диметилдиселенида с пропаргильным спиртом при 400–430 °С по схеме 18 приводит к 1,2-диселенол-3-ону (выход 73%):

Схема 18



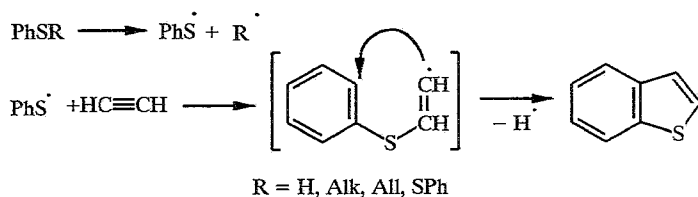
С меньшим выходом 1,2-диселенол-3-он образуется при взаимодействии с пропаргильным спиртом диметилселенида или дифенилдиселенида (выход 25 и 16% соответственно) [35, 36].

РЕАКЦИИ АРЕНТИОЛОВ И АРИЛОРГАНИЛХАЛЬКОГЕНИДОВ

Газофазные реакции ацетилена с тиофенолом, арилалкилсульфидами или дифенилдисульфидом при 500–650 °С приводят к бензотиофену (выход 90%) [37, 38]. Аналогично с ацетиленом реагируют 4-замещенные тиофенола с образованием 5-замещенных бензотиофенов, выход которых достигает

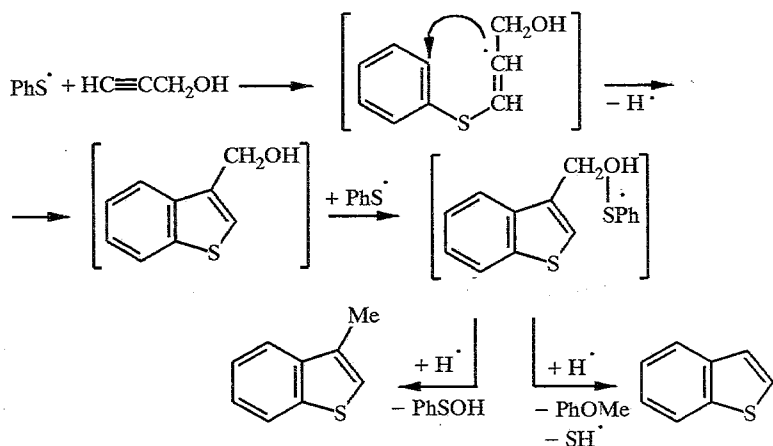
75–95% [39]. Реакция ацетилена с 2-аминотиофенолом приводит к 7-аминобензотиофену [40]. Эти реакции осуществляются за счет первоначального генерирования арилтиильных радикалов, которые затем атакуют тройную связь ацетилена по общей схеме 19:

Схема 19

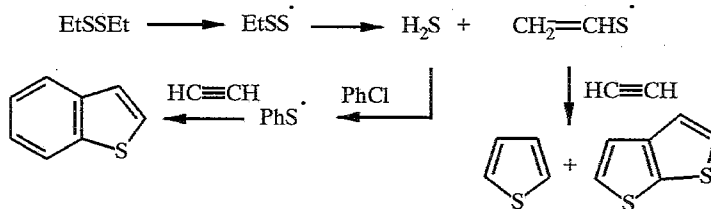


Газофазная реакция тиофенола с пропаргиловым спиртом при 450–630 °С также приводит к бензотиофену, выход которого составляет 63%. Наряду с ним образуется 3-метилбензотиофен (14%), что обусловлено присоединением фенилтиильных радикалов к концевому углеродному атому тройной связи пропаргилового спирта по схеме 20 [37]:

Схема 20

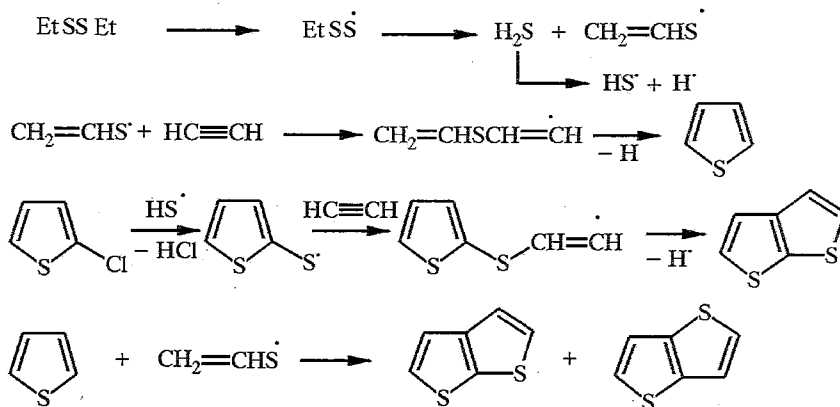


Тиофенол или образующийся из него фенилтиильный радикал могут генерироваться *in situ* из сероводорода и хлорбензола [41] или из диэтилдисульфида и хлорбензола [42]. В первом случае продуктом реакции является бензотиофен. В последнем случае из Et₂S₂ генерируются также винилтиильные радикалы. Вследствие этого газофазная реакция хлорбензола с диэтилдисульфидом и ацетиленом при 580–700 °С приводит к бензотиофену и тиофену, максимальный выход которых (34 и 44%) достигается при 700 °С и соотношении хлорбензол : Et₂S₂:ацетилен 1:2:3. При этом диэтилдисульфид почти полностью связывается как хлорбензолом, так и ацетиленом, образуя тиофен, тиенотиофен и бензотиофен по схеме 21 [42]:

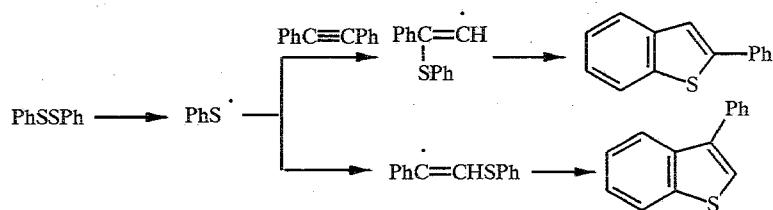


Тиольные радикалы HS^{\cdot} с ацетиленом не реагируют, а замещают лишь атом хлора в хлорбензоле с образованием тиофенола. Генерируемые из тиофенола фенилтиольные радикалы эффективно реагируют с ацетиленом с образованием бензотиофена. Тиофен же является продуктом связывания ацетиленом винилтиольных радикалов.

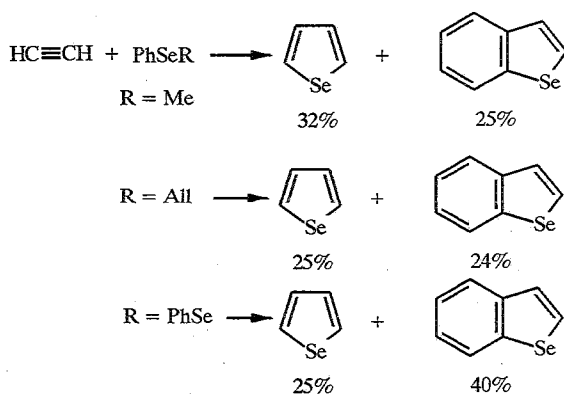
Аналогичные закономерности наблюдаются при термоллизе системы Et_2S_2 —ацетилен—2-хлортиофен при мольном соотношении 1:2:3 и 500—600 °С. Основными продуктами реакции при этом являются тиофен (выход 20%), а также тиено[2,3-*b*]тиофен и изомерный тиено[3,2-*b*]тиофен (20%, 4:1). Продукты этой газовой реакции образуются за счет генерирования из хлортиофена и сероводорода 2-тиофентиола и тиенилтиольных радикалов, а из диэтилдисульфида — винилтиольных радикалов, которые далее реагируют с ацетиленом по схеме 22, за счет чего достигается практически полное использование двумя субстратами сернистого реактанта [41, 43, 44]:



Газофазная реакция фенилacetилена с таким источником фенилтиольных радикалов, как дифенилдисульфид, по схеме 23 приводит к 2- и 3-фенилбензотиофенам (суммарный выход 82% при соотношении 1:1,5 соответственно) [37]:

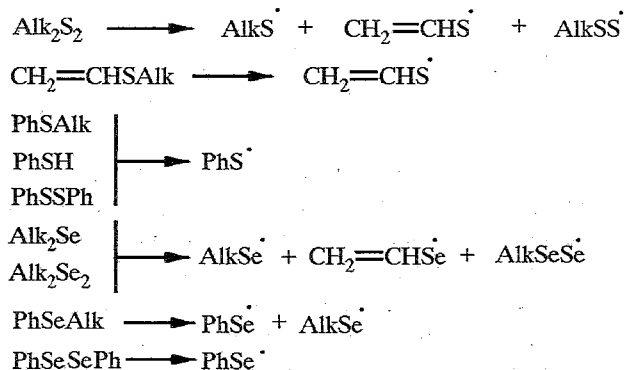


Продуктами взаимодействия ацетилена с алкилфенилселенидами при 450–500 °С или дифенилдиселенидом при 500–580 °С (мольное соотношение 1:2) являются селенофен и бензоселенофен. В первом случае преимущественно образуется селенофен, а во втором — бензоселенофен (схема 24) [38].



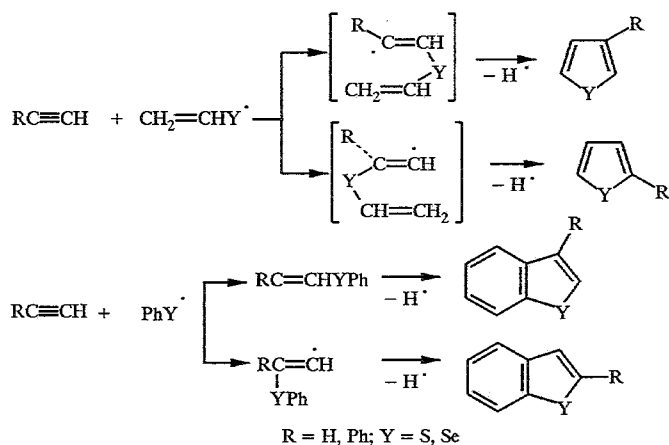
ОБЩИЙ МЕХАНИЗМ ТЕРМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Тиофен и селенофен в перечисленных термических реакциях формируются за счет первоначального генерирования из органилхалькогенидов или -дихалькогенидов двух типов халькогенильных радикалов. Это α,β-ненасыщенные (винилхалькогенильные и арилхалькогенильные) и насыщенные (алкилхалькогенильные и -перхалькогенильные) радикалы, представленные на схеме 25:



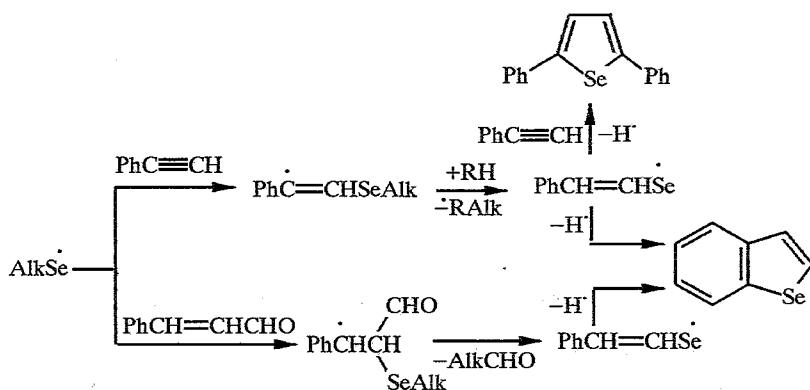
В присутствии таких эффективных для винил- и арилхалькогенильных радикалов химических "ловушек", как ацетилен и фенилацетилен, эти радикалы атакуют тройную связь с образованием радикал-аддуктов. Внутримолекулярная конденсация последних приводит к гетероциклическим соединениям согласно общей схеме 26:

Схема 26



Эффективными химическими "ловушками" алкилселенильных радикалов являются непредельные соединения, имеющие поляризованную кратную связь, фенилацетилен и коричный альдегид. Атака селенильными радикалами атома углерода кратной связи, имеющего наибольшую электронную плотность, приводит к генерированию β-фенилвинилселенильных радикалов. При их внутримолекулярной циклизации образуются бензоселенофен, а при конденсации с фенилацетиленом — 2,4-дифенилселенофен согласно схеме 27:

Схема 27



Закономерности термических реакций сероводорода и органилхалькогенидов с органическими соединениями приводят к следующим необходимым условиям формирования тиофенового и селенофенового цикла: 4-углеродная система $C=CYC=C$ ($Y = S, Se$) формируется за счет присоединения тиольных (HS^\bullet), алкил-, винил- или арилхалькогенильных радикалов к кратным связям непредельных соединений, замещения алкилселенильными радикалами функциональных групп у sp^2 -гибриди-

зованного атома углерода или раскрытия напряженного циклобутанового кольца алкилхалькогенильными радикалами. Последующая гетероциклизация радикал-аддукта осуществляется с высокой скоростью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Saito, S. Ukai, S. Iwatsuki, T. Itoh, M. Kubo, *Macromolecules*, **28**, 8363 (1995).
2. L. Latosgrzynski, E. Pacholska, P. J. Chmielewski, M. M. Olstead, A. L. Balch, *Inorg. Chem.*, **35**, 566 (1996).
3. Ю. К. Юрьев, *ЖОХ*, **16**, 851 (1946).
4. S. Mohmand, J. Bargon, R. J. Waltman, *J. Org. Chem.*, **48**, 3544 (1983).
5. В. Г. Харченко, И. А. Маркушина, С. П. Воронин, *ХГС*, № 2, 219 (1983).
6. В. Г. Харченко, С. П. Воронин, Т. Н. Губина, И. А. Маркушина, А. Ф. Олейник, *ХГС*, № 12, 1606 (1984).
7. M. G. Voronkov, E. N. Deryagina, *Z. Chem.*, **27**, 24 (1987).
8. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, *Успехи химии*, **26**, 1338 (1990).
9. Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, Н. А. Корчевин, *Успехи химии*, **29**, 1107 (1993).
10. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, Т. А. Шилкина, *ЖОХ*, **68**, 978 (1998).
11. Э. Н. Дерягина, Л. К. Паперная, *ЖОрХ*, **33**, 1189 (1997).
12. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, М. А. Кузнецова, *ХГС*, № 7, 997 (1976).
13. М. А. Кузнецова, И. Д. Калихман, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **14**, 185 (1978).
14. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, *Изв. РАН, Сер. хим. наук*, № 3, 701 (1996).
15. В. И. Перевалова, О. Б. Банникова, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ХГС*, № 2, 270 (1978).
16. В. И. Перевалова, О. Б. Банникова, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **16**, 399 (1980).
17. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, М. А. Кузнецова, *ЖОрХ*, **18**, 1743 (1982).
18. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, М. А. Кузнецова, В. И. Глухих, *ЖОрХ*, **16**, 2450 (1980).
19. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, В. И. Перевалова, *ХГС*, № 3, 310 (1980).
20. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, Э. Н. Сухомазова, Н. В. Руссавская, Е. П. Леванова, *Нефтехимия*, **35**, 472 (1995).
21. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, М. Г. Воронков, *ЖОХ*, **66**, 1051 (1996).
22. Н. А. Корчевин, Л. А. Остроухова, Э. Н. Сухомазова, А. Р. Жникин, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ХГС*, № 2, 279 (1987).
23. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, *Изв. РАН, Сер. хим. наук*, № 11, 2800 (1996).
24. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, Т. А. Шилкина, Н. А. Корчевин, *ЖОрХ*, (2000), в печати.
25. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Н. В. Руссавская, Е. П. Леванова, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **29**, 2315 (1993).
26. Э. Н. Дерягина, *ЖОрХ*, **68**, 1 (1999).
27. Э. Н. Дерягина, Е. П. Леванова, Э. Н. Сухомазова, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **34**, 56 (1998).
28. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Н. К. Гусарова, Г. Г. Ефремова, Б. А. Трофимов, *ЖОрХ*, **19**, 1221 (1983).
29. Т. А. Шилкина, Л. К. Паперная, Э. Н. Дерягина, *ЖОХ*, **68**, 878 (1998).
30. Т. А. Шилкина, Л. К. Паперная, А. И. Албанов, Э. Н. Дерягина, *ЖОХ*, **69**, 81 (1998).
31. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, *ЖОХ*, **67**, 1582 (1997).
32. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, Т. А. Шилкина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, *Изв. РАН, Сер. хим. наук*, № 3, 463 (1998).
33. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, *ЖОХ*, **66**, 2059 (1996).
34. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **30**, 1 (1994).
35. М. Г. Воронков, Э. Н. Дерягина, Л. А. Остроухова, Н. А. Корчевин, Л. В. Клыба, *ХГС*, № 6, 855 (1987).
36. Н. А. Корчевин, Э. Н. Сухомазова, Н. В. Руссавская, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *Металлоорг. химия*, **3**, 943 (1990).

37. Э. Н. Сухомазова, Н. В. Руссавская, Н. А. Корчевин, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **25**, 1506 (1989).
38. Н. В. Руссавская, Н. А. Корчевин, Э. Н. Сухомазова, Л. П. Турчанинова, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **27**, 359 (1991).
39. Н. В. Руссавская, Э. Н. Сухомазова, Н. А. Корчевин, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **25**, 220 (1989).
40. Э. Н. Дерягина, Н. А. Корчевин, Э. Н. Сухомазова, Н. В. Руссавская, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **29**, 2246 (1993).
41. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, Н. В. Руссавская, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **31**, 1493 (1995).
42. Э. Н. Дерягина, Э. Н. Сухомазова, Е. П. Леванова, М. Г. Воронков, *ЖОрХ*, **31**, 925 (1995).
43. Н.А. Корчевин, Э.Н. Сухомазова, Л. П. Турчанинова, Г. Г. Ефремова, Н. А. Калинина, Э. Н. Дерягина, М. Г. Воронков, *ХТС*, № 8, 1041 (1988).

*Иркутский институт химии СО РАН,
Иркутск 664039, Россия
e-mail: vlad@irioch.ira.ru*

Поступило в редакцию 21.12.98