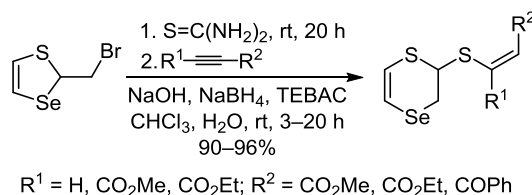


Регио- и стереоселективный синтез (*Z*)-винил(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-ил)сульфидов из 2-бромметил-1,3-тиаселенола в условиях межфазного катализа

Андрей С. Филиппов¹, Светлана В. Амосова¹, Владимир А. Потапов^{1*}

¹ Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН,
ул. Фаворского, 1, Иркутск 664033, Россия; e-mail: v_a_potapov@iriioch.irk.ru

Поступило 10.07.2020
Принято после доработки 29.09.2020



На основе 2-бромметил-1,3-тиаселенола и активированных ацетиленов при комнатной температуре в условиях межфазного катализа разработан однореакторный регио- и стереоселективный метод синтеза ранее неизвестных (*Z*)-винил(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-ил)сульфидов с выходами 90–96%.

Ключевые слова: активированные ацетилены, 2-бромметил-1,3-тиаселенол, винилсульфиды, 2,3-дигидро-1,4-тиаселенины, нуклеофильное присоединение.

Установлено, что дефицит селена в организме человека увеличивает вероятность возникновения инсульта, сердечно-сосудистых патологий, рака, артрита и многих других распространенных заболеваний.¹ Глутатионпероксидаза – известный селенсодержащий фермент, благодаря действию которого в организме снижается концентрация перекисных соединений и тем самым уменьшается риск возникновения многих заболеваний.¹ Известны селенсодержащие гетероциклы, проявляющие подобное глутатионпероксидазе действие, а также противоопухолевую, антибактериальную и антивирусную активность.^{2,3} Показано, что 1,4-тиаселенины и их аналоги обладают противоопухолевой и антибактериальной активностью.³ Дигидро-1,4-тиаселенины – очень редкий класс соединений, из которых до последних лет⁴ были известны всего лишь два представителя (5-метил- и 5-этил-2,3-дигидро-1,4-тиаселенины), полученные реакцией 1-(2-хлорэтилсульфанил)-1-алкина с селенидом лития с выходами соответственно 60 и 64%.⁵ Винил(дигидро-тиаселенин-2-ил)сульфиды не описаны в литературе.

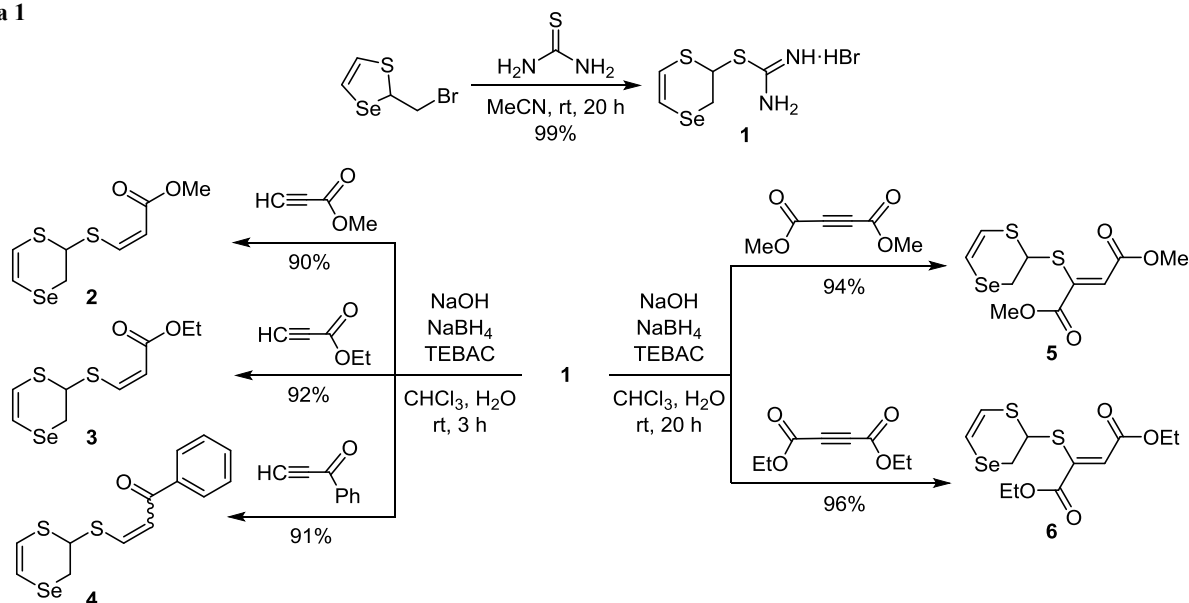
Разработка методов селективного введения атома селена в органическую молекулу является важной задачей химии элементоорганических соединений. На

основе дибромида селена и дивинилсульфида нами разработан однореакторный способ получения 2-бромметил-1,3-тиаселенола⁶ – нового высокореакционноспособного реагента, реакции нуклеофильного замещения которого сопровождаются раскрытием цикла или перегруппировками.^{4,7}

В данной работе нами предложен однореакторный регио- и стереоселективный метод синтеза (*Z*)-2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-ил(винил)сульфидов из 2-бромметил-1,3-тиаселенола и активированных ацетиленов: метил- и этилпропиолатов, фенилэтинилкетона, диметил- и диэтилацетилендикарбоксилатов в условиях межфазного катализа. Межфазный катализ часто применяется для проведения реакций нуклеофильного замещения тиолат-анионов, но очень редко используется для реакций их присоединения к тройной связи.⁸

В первых экспериментах мы осуществили взаимодействие 2-бромметил-1,3-тиаселенола с тиомочевинной в MeCN при комнатной температуре с образованием изотиуруниевой соли **1**, затем в смесь добавили водный раствор NaOH и NaBH₄ для образования тиаселенин-2-илтиолатата натрия и раствор алкилпропиолата в CHCl₃. В результате после перемешивания смеси при комнатной температуре в течение 20 ч были получены

Схема 1



(*Z*)-метил- и (*Z*)-этил-3-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илсульфанил)-2-пропеноаты **2**, **3** с выходами 62 и 64% соответственно.

Установлено, что более эффективно реакция протекает в условиях межфазного катализа. После образования в виде осадка изотиуруниевой соли **1**, MeCN декантировали и добавили водный раствор NaOH и NaBH₄, раствор алкилпропиолата в CHCl₃ и межфазный катализатор триэтилбензиламмонийхлорид (ТЭБАХ) (3 моль. %). В результате за 3 ч с высокой регио- и стереоселективностью были синтезированы продукты **2**, **3** с выходами 90 и 92% соответственно (суммарный выход по двум стадиям, рассчитан на количество взятого 2-бромметил-1,3-тиаселенола). Близкие выходы соединений **2**, **3** (90 и 93%) получены при использовании в реакции предварительно выделенной изотиуруниевой соли **1** в тех же условиях. Реакции протекают с высокой регио- и стереоселективностью с образованием только одного возможного (*Z*)-изомера (схема 1).

Реакция с фенилэтинилкетонем в аналогичных условиях (комнатная температура, 3 ч) также протекает региоселективно, но в этом случае, наряду с основным (*Z*)-изомером, наблюдается образование (*E*)-изомера (выход продукта **4** – 91%, соотношение *Z*:*E* = 18:5).

Реакции с диметил- и диэтилацетилендикарбоксилатами протекают при комнатной температуре стереоселективно, однако требуют большего времени (20 ч) для достижения высоких выходов продуктов **5**, **6** (94 и 96% соответственно) по сравнению с монозамещенными ацетиленами (3 ч). Причиной этого является, по-видимому, стерический фактор (наличие двух сложноэфирных групп у тройной связи). Реакции протекают как *анти*-присоединение с образованием продуктов **5**, **6** в виде (*Z*)-изомеров (схема 1).

Данный подход не требует применения инертных атмосфер. NaBH₄ играет роль восстановителя дисульфида, образующегося в небольших количествах в результате

окисления 2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илтиолат-аниона кислородом воздуха. В аналогичных условиях без использования NaBH₄ выходы целевых соединений **2–6** уменьшаются на 7–11%.

Строение полученных продуктов **2–6** доказано спектроскопией ЯМР ¹H и ¹³C, их состав подтвержден данными элементного анализа. Значения КССВ между протонами двойной связи 10.2 Гц (соединений **2**) и 10.0 Гц (соединение **3**) указывают на образование продуктов с (*Z*)-конфигурацией. В реакции с фенилэтинилкетонем наблюдается образование (*Z*)- и (*E*)-изомеров соединения **4**, для которых значения КССВ (³J_{HH}) олефиновых протонов составляют 9.6 и 15.1 Гц соответственно. Для каждого изомера приведено полное описание спектров ЯМР ¹H и ¹³C. В случае с диметил- и диэтилацетилендикарбоксилатами отнесение конфигурации продуктов **5**, **6** выполнено на основе измерения КССВ C–H, сделанных при записи спектров ЯМР ¹³C без развязки от протонов. Значения КССВ (³J_{CH}) между атомом углерода карбонильной группы и олефиновым протоном составляют около 4 Гц, что однозначно указывает на *cis*-расположение протона и группы C=O относительно двойной связи, то есть на (*Z*)-конфигурацию продуктов. Известно, что аналогичные КССВ (³J_{CH}) между атомом углерода карбонильной группы и олефиновым протоном, находящимися в *транс*-положении, составляют, как правило, не менее 9–10 Гц.⁹

Таким образом, на основе 2-бромметил-1,3-тиаселенола разработан однореакторный регио- и стереоселективный метод синтеза ранее неизвестных винил-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-ил)сульфидов (выходы 90–96%) с потенциальной биологической активностью. Реакции реализуются в условиях межфазного катализа в гетерофазной среде хлороформ (или хлористый метилен) – вода при комнатной температуре и протекают как *анти*-присоединение 2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илтиолат-аниона к тройной связи с образованием продуктов с (*Z*)-кофигурацией, не требующие

дополнительной очистки. Они имеют в своем составе винилсульфанильную группу, которая может быть вовлечена в реакции присоединения, полимеризации и сополимеризации.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H и ^{13}C зарегистрированы на приборе Bruker DPX-400 (400 и 101 МГц соответственно) в растворах CDCl_3 (соединения **2–6**) и $\text{DMCO}-d_6$ (соль **1**), внутренний стандарт – гексаметилдисилоксан. Отнесения в спектрах ЯМР ^{13}C сделаны на основании спектров аналогов.⁴ Элементный анализ выполнен на автоматическом анализаторе Thermo Scientific Flash 2000.

Гидробромид 2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илкарбамимидогноата (1). К раствору 0.166 г (0.68 ммоль) 2-бромметил-1,3-тиаселенола в 4 мл MeCN добавляют 0.052 г (0.68 ммоль) тиомочевины и оставляют перемешиваться на ночь (в течение 20 ч) при комнатной температуре. Декантируют раствор с выпавшей в осадок изотиурониевой соли **1**, сушат при пониженном давлении. Выход 0.216 г (99%), бежевый порошок, т. пл. 135–136 °С. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.33 (1H, д. д., $^2J = 12.7$, $^3J = 5.4$, CH_2Se); 3.63 (1H, д. д., $^2J = 12.7$, $^3J = 2.3$, CH_2Se); 5.70 (1H, д. д., $^3J = 5.4$, $^3J = 2.3$, SCHS); 6.56 (1H, д., $^3J = 10.1$, =CHS); 6.71 (1H, д., $^3J = 10.1$, $^2J_{\text{SeH}} = 52.2$, =CHSe); 9.20 (2H, с, NH_2); 9.35 (2H, с, NH_2). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.5 ($^1J_{\text{SeC}} = 63.9$, CH_2Se); 42.1 (SCHS); 111.7 ($^1J_{\text{SeC}} = 116.6$, SeCH=); 115.6 (SCH=); 167.0 (C=NH). Найдено, %: C 18.49; H 2.95; Br 25.12; S 19.84. $\text{C}_5\text{H}_9\text{BrN}_2\text{S}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 18.76; H 2.83; Br 24.96; S 20.03.

(Z)-Метил-3-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илсульфанил)проп-2-еноат (2). К раствору 122 мг (0.5 ммоль) 2-бромметил-1,3-тиаселенола в 3 мл MeCN добавляют 38 мг (0.5 ммоль) тиомочевины и оставляют перемешиваться на ночь (в течение 20 ч) при комнатной температуре. Декантируют раствор с выпавшей в осадок изотиурониевой соли **1** и добавляют 3 мл H_2O . После растворения соли добавляют при перемешивании раствор 20 мг (0.42 ммоль) 85% NaOH в 3 мл H_2O . Через 5 мин добавляют раствор 20 мг (0.42 ммоль) NaOH и 57 мг (1.5 ммоль) NaBH_4 в 3 мл H_2O и перемешивают реакционную смесь в течение 10 мин. Затем добавляют 3 мг (~3 моль. %) ТЭБАХ и раствор 43 мг (0.51 ммоль) метилпропиолата в 3 мл CHCl_3 и перемешивают смесь при комнатной температуре в течение 3 ч. Отделяют нижний органический слой, остаток экстрагируют 3 мл CHCl_3 . Органическую фазу сушат над CaCl_2 , растворитель отгоняют на роторном испарителе, остаток сушат при пониженном давлении. Выход 127 мг (90%), желтоватое масло. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.27 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 9.2$, CH_2Se); 3.44 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 2.6$, CH_2Se); 3.74 (3H, с, CH_3O); 4.58 (1H, д. д., $^3J = 9.2$, $^3J = 2.6$, SCHS); 5.99 (1H, д., $^3J_{\text{HSe}} = 10.2$, =CHCO); 6.45 (1H, д., $^3J = 9.8$, =CHS); 6.51 (1H, д., $^3J = 9.8$, $^2J_{\text{SeH}} = 51.4$, =CHSe); 7.33 (1H, д., $^3J_{\text{HSe}} = 10.2$, SCH=CHCO). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.2 ($^1J_{\text{SeC}} = 63.9$, CH_2Se); 46.1 (SCHS); 51.4 (CH_3O); 110.3 ($^1J_{\text{SeC}} = 118.2$, SeCH=); 114.3 (=CHCO); 119.1

(SCH=); 144.4 (SCH=CHCO); 166.8 (CO). Найдено, %: C 33.89; H 3.72; S 23.04. $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}_2\text{S}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 34.16; H 3.58; S 22.80.

(Z)-Этил-3-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илсульфанил)проп-2-еноат (3) получают аналогично. Выход 137 мг (92%), желтоватое масло. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.32 (3H, т., $^3J = 7.1$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 3.31 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 9.2$, CH_2Se); 3.47 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 2.5$, CH_2Se); 4.24 (2H, к., $^3J = 7.1$, CH_2O); 4.62 (1H, д. д., $^3J = 9.2$, $^3J = 2.5$, SCHS); 6.01 (1H, д., $^3J_{\text{HSe}} = 10.0$, =CHCO); 6.50 (1H, д., $^3J = 9.8$, =CHS); 6.55 (1H, д., $^3J = 9.8$, $^2J_{\text{SeH}} = 51.1$, =CHSe); 7.33 (1H, д., $^3J_{\text{HSe}} = 10.0$, SCH=CHCO). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 14.4 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 24.4 ($^1J_{\text{SeC}} = 65.1$, CH_2Se); 46.3 (SCHS); 60.5 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 110.4 ($^1J_{\text{SeC}} = 117.0$, SeCH=); 114.8 (=CHCO); 119.3 (SCH=); 144.2 (SCH=CHCO); 166.5 (CO). Найдено, %: C 36.39; H 3.98; S 21.54. $\text{C}_9\text{H}_{12}\text{O}_2\text{S}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 36.61; H 4.10; S 21.71.

3-(2,3-Дигидро-1,4-тиаселенин-2-илсульфанил)-1-фенилпроп-2-ен-1-он (4) получают аналогично. Выход 149 мг (91%), желтоватое масло. Найдено, %: C 47.43; H 3.87; S 19.42. $\text{C}_{13}\text{H}_{12}\text{OS}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 47.70; H 3.70; S 19.59.

(Z)-Изомер. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.32 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 9.1$, CH_2Se); 3.46 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 2.2$, CH_2Se); 4.58 (1H, д. д., $^3J = 9.1$, $^3J = 2.2$, SCHS); 6.49 (1H, д., $^3J = 9.8$, =CHS); 6.54 (1H, д., $^3J = 9.8$, $^2J_{\text{SeH}} = 51.4$, =CHSe); 7.20 (1H, д., $J_{\text{HSe}} = 9.6$, SCH=CHCO); 7.36–7.42 (1H, м, H Ar); 7.44–7.50 (2H, м, H Ar); 7.60 (1H, д., $J_{\text{HSe}} = 9.6$, =CHCO); 7.93–8.01 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.4 ($^1J_{\text{SeC}} = 65.1$, CH_2Se); 46.9 (SCHS); 110.6 ($^1J_{\text{SeC}} = 117.4$, SeCH=); 117.6 (=CHCO); 119.3 (SCH=); 128.2 (C Ar); 128.8 (C Ar); 132.8 (C Ar); 137.4 (C Ar); 146.9 (SCH=CHCO); 189.2 (CO).

(E)-Изомер. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.29 (1H, д. д., $^2J = 12.1$, $^3J = 8.4$, CH_2Se); 3.53 (1H, д. д., $^2J = 12.1$, $^3J = 2.7$, CH_2Se); 4.82 (1H, д. д., $^3J = 8.4$, $^3J = 2.7$, SCHS); 6.46 (1H, д., $^3J = 9.8$, =CHS); 6.53 (1H, д., $^3J = 9.8$, $^2J_{\text{SeH}} = 51.4$, =CHSe); 7.11 (1H, д., $^3J = 15.1$, SCH=CHCO); 7.30–7.36 (1H, м, H Ar); 7.54 (1H, д., $^3J = 15.1$, =CHCO); 7.51–7.58 (2H, м, H Ar); 7.90–7.97 (2H, м, H Ar). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.6 ($^1J_{\text{SeC}} = 65.1$, CH_2Se); 46.2 (SCHS); 110.5 ($^1J_{\text{SeC}} = 117.4$, SeCH=); 118.7 (SCH); 121.1 (SCH=); 128.5 (C Ar); 128.7 (C Ar); 132.9 (C Ar); 137.6 (C Ar); 144.2 (SCH=CHCO); 186.8 (CO).

(Z)-Диметил-2-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-илсульфанил)бут-2-ендиоат (5) получают аналогично, время реакции 20 ч. Выход 159 мг (94%), светло-желтое масло. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 3.19 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 7.8$, CH_2Se); 3.51 (1H, д. д., $^2J = 11.9$, $^3J = 2.6$, CH_2Se); 3.79 (3H, с, CH_3O); 3.90 (3H, с, CH_3O); 5.13 (1H, д. д., $^3J = 7.8$, $^3J = 2.6$, SCHS); 6.39 (1H, д., $^3J = 9.8$, =CHS); 6.51 (1H, д., $^3J = 9.8$, $^2J_{\text{SeH}} = 51.3$, =CHSe); 6.61 (1H, с, =CH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 24.4 ($^1J_{\text{SeC}} = 64.0$, CH_2Se); 43.6 (SCHS); 51.9 (CH_3O); 53.4 (CH_3O); 111.3 ($^1J_{\text{SeC}} = 119.1$, SeCH=); 117.7 (SCH=); 123.0 (=CHCO); 144.2 (SC=); 164.4 (CO); 165.0

($^3J_{\text{CH}} = 4.0$, CO). Найдено, %: C 35.63; H 3.72; S 19.08. $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4\text{S}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 35.40; H 3.57; S 18.90.

(*Z*)-Диэтил-2-(2,3-дигидро-1,4-тиаселенин-2-ил-сульфанил)бут-2-ендионат (6) получают аналогично, время реакции 20 ч. Выход 176 мг (96%), светло-желтое масло. Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 1.27 (3H, т, $^3J = 7.0$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 1.29 (3H, т, $^3J = 6.9$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 3.15 (1H, д, д, $^2J = 11.9$, $^3J = 8.3$, CH_2Se); 3.47 (1H, д, д, $^2J = 11.9$, $^3J = 2.5$, CH_2Se); 4.21 (2H, к, $^3J = 7.0$, CH_2O); 4.31 (2H, к, $^3J = 6.9$, CH_2O); 5.10 (1H, д, д, $^3J = 8.3$, $^3J = 2.5$, SCHS); 6.35 (1H, д, $^3J = 9.5$, =CHS); 6.49 (1H, д, $^3J = 9.5$, $^2J_{\text{SeH}} = 50.0$, =CHSe); 6.55 (1H, с, =CH). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д. (J , Гц): 13.9 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 14.1 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 24.5 ($^1J_{\text{SeC}} = 64.7$, CH_2Se); 43.6 (SCHS); 60.9 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 62.7 ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{O}$); 111.1 ($^1J_{\text{SeC}} = 117.9$, SeCH=); 117.9 (SCH=); 123.3 (=CHCO); 144.2 (SC=); 163.9 (CO); 164.6 ($^3J_{\text{CH}} = 4.0$, CO). Найдено, %: C 38.98; H 4.51; S 17.63. $\text{C}_{12}\text{H}_{16}\text{O}_4\text{S}_2\text{Se}$. Вычислено, %: C 39.24; H 4.39; S 17.45.

Спектральные исследования проведены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

- (a) Tiekink, E. R. T. *Dalton Trans.* **2012**, 41, 6390. (b) *Organoselenium Chemistry. Between Synthesis and Biochemistry*; Santi, C., Ed.; Bentham Science Publishers: Oak Park, 2014. (c) Braga A. L.; Rafique J. In *Patai's Chemistry of Functional Groups. Organic Selenium and Tellurium*; Rappoport, Z., Ed.; John Wiley and Sons, Inc.: Chichester, 2013, vol. 4, p. 983. (d) Muges, G.; du Mont, W.-W.; Sies, H. *Chem. Rev.* **2001**, 101, 2125.
- (a) Banerjee, B.; Koketsu, M. *Coord. Chem. Rev.* **2017**, 339, 104. (b) Ninomiya, M.; Garud, D. R.; Koketsu, M. *Coord. Chem. Rev.* **2011**, 255, 2968. (c) Młochowski, J.; Kloc, K.; Lisiak, R.; Potaczek, P.; Wójtowicz, H. *ARKIVOC* **2007**, (vi), 14. (d) Hancock, A. N.; Schiesser, C. H. *Chim. Ind.* **2015**, 6, 55. (e) Kumakura, F.; Mishra, B.; Priyadarsini, K. I.; Iwaoka, M. *Eur. J. Org. Chem.* **2010**, 3, 440.
- (a) Koketsu, M.; Yang, H. O.; Kim, Y. M.; Ichihashi, M.; Ishihara, H. *Org. Lett.* **2001**, 3, 1705. (b) Reddy, D. B.; Babu, N. C.; Padmavathi, V.; Padmaja, A. *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.* **2000**, 165, 237.
- (a) Amosova, S. V.; Penzik, M. V.; Potapov, V. A.; Filippov, A. S.; Shagun, V. A.; Albanov, A. I.; Borodina, T. N.; Smirnov, V. I. *Synlett* **2016**, 1653. (b) Amosova, S. V.; Novokshonova, I. A.; Penzik, M. V.; Filippov, A. S.; Albanov, A. I.; Potapov, V. A. *Tetrahedron Lett.* **2017**, 58, 4381. (c) Amosova, S. V.; Filippov, A. S.; Makhaeva, N. A.; Albanov, A. I.; Potapov, V. A. *New J. Chem.* **2019**, 43, 11189.
- Sukhai, R. S.; de Jong, R.; Verkruisje, H. D.; Brandsma, L. *Recl.: J. R. Neth. Chem. Soc.* **1981**, 100, 368.
- Amosova, S. V.; Penzik, M. V.; Albanov, A. I.; Potapov, V. A. *Tetrahedron Lett.* **2009**, 50, 306.
- Amosova, S. V.; Filippov, A. A.; Makhaeva, N. A.; Albanov, A. I.; Potapov, V. A. *Beilstein J. Org. Chem.* **2020**, 16, 515.
- (a) Simion, C.; Hashimoto, I.; Mitoma, Y.; Simion, A. M.; Egashira, N. *Phosphorus, Sulfur Silicon Relat. Elem.* **2010**, 185, 2480. (b) *Межфазный катализ. Химия, катализаторы и применение*; Старкс, Ч. М., Ред.; Химия: Москва, 1991.
- Musalov, M. V.; Yakimov, V. A.; Potapov, V. A.; Andreev, M. V.; Amosova, S. V. *Russ. J. Org. Chem.* **2019**, 55, 1809. [*Журн. орган. химии* **2019**, 55, 1800.]