

# СИНТЕЗ ПОЛИДЕНТАТНЫХ СЕЛЕНСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ БИС(2-ХЛОРЭТИЛОВОГО) ЭФИРА

© 2022 г. В. А. Безбородов<sup>а</sup>, И. А. Бабенко<sup>а,\*</sup>, М. В. Быков<sup>а</sup>, Г. В. Ратовский<sup>а</sup>,  
Н. И. Бородин<sup>а</sup>, И. А. Ушаков<sup>б</sup>, А. И. Вильмс<sup>а</sup>

<sup>а</sup> Иркутский государственный университет, ул. К. Маркса 1, Иркутск, 664003 Россия

<sup>б</sup> Иркутский институт химии имени А. Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук,  
Иркутск, 664033 Россия

\*e-mail: legatt112@yandex.ru

Поступило в редакцию 22 июня 2022 г.

После доработки 9 июля 2022 г.

Принято к печати 10 июля 2022 г.

Синтезированы селеноорганические производные бис(2-хлорэтилового) эфира общей формулы  $(RSeCH_2CH_2)_2O$  ( $R = Me, Et, Pr, i-Pr, Bu, i-Bu, C_6H_{13}, Cy, Bn, Ph$ ), являющиеся потенциальными электронодонорными полидентатными лигандами для синтеза комплексов переходных металлов и компонентами каталитических систем в реакциях олигомеризации этилена.

**Ключевые слова:** селен, селеноорганические соединения, полидентатные лиганды, бис(2-хлорэтиловый) эфир

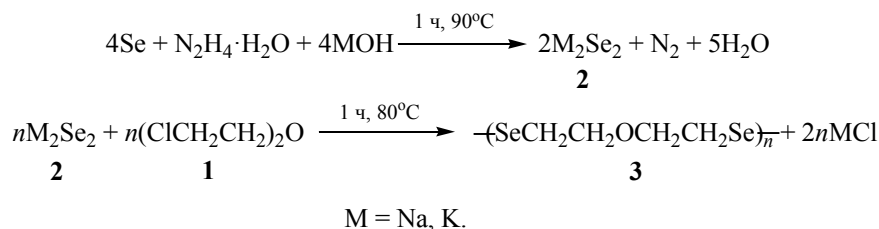
**DOI:** 10.31857/S0044460X22110117, **EDN:** LOKSDY

Известны различные подходы к получению полидентатных электронодонорных халькогенсодержащих соединений. В частности, описан синтез этих соединений, имеющих в своем составе такие гетероатомы, как O, S и Se [1–3]. Использование халькогенорганических соединений в качестве лигандов при синтезе комплексов переходных металлов позволяет моделировать активные центры различных ферментов [4–6], получать новые координационные соединения [7, 8], создавать новые виды ионных жидкостей [9], а также управлять их физико-химическими свойствами, что играет важную роль при создании новых катализаторов. Так, имеются сведения о применении лигандов, содержащих гетероатомы P, N, P, O и S в различных сочетаниях, в реакциях олигомеризации этилена. Стоит отметить, что хотя применение серосодержащих электронодонорных лигандов в системах каталитического превращения этилена началось сравнительно недавно, в литературе имеется немало примеров их успешного применения [10–13].

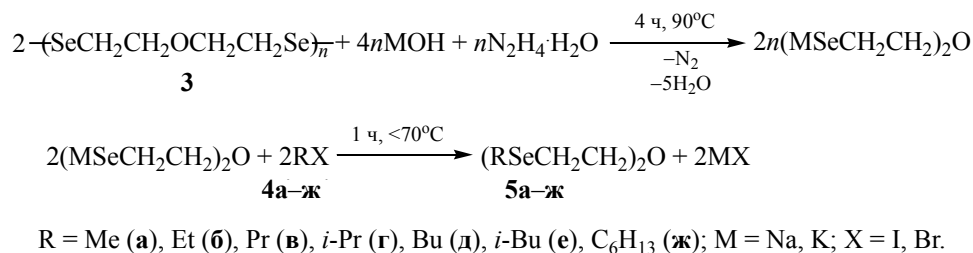
Настоящая работа является продолжением предыдущих исследований [14] и направлена на расширение ряда полидентатных селенсодержащих лигандов SeOSe-типа. Такие соединения были успешно использованы нами при синтезе координационных соединений хрома(III) [15] и в катализе [16]. Расширение ряда лигандов SeOSe-типа обусловлено стремлением к использованию их в реакции каталитического превращения этилена как в индивидуальном виде, так и в составе новых комплексных соединений переходных металлов.

Для получения полидентатных селенсодержащих элементоорганических лигандов SeOSe-типа мы использовали три подхода, основанные на взаимодействии бис(2-хлорэтилового) эфира **1** с соответствующими селенolat-анионами, генерируемыми различными способами. Первая стадия для двух подходов заключается в образовании *in situ* диселенида щелочного металла **2** путем восстановления элементного селена в системе гидратингидрат–основание (схема 1) [1, 14].

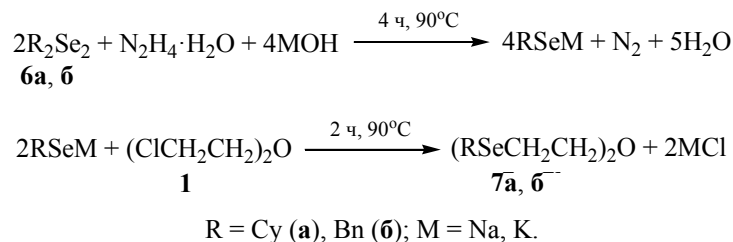
## Схема 1.



## Схема 2.



## Схема 3.



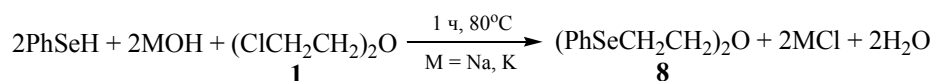
В рамках первого подхода к реакционной смеси, содержащей диселенид **2**, прибавляли эфир **1**, в результате чего происходило образование линейного полимера, содержащего диселенидные мостики **3** (схема 1). Образующийся полимер **3** под действием системы гидразингидрат–основание претерпевал восстановительное расщепление по связи Se–Se. Продукты восстановления алкилировали алкилгалогенидами **4а–ж** с получением целевых соединений **5а–ж** (схема 2).

Второй подход основан на реакции эфира **1** с диорганилдиселенидами, в большинстве случаев являющихся коммерчески доступными. Исключением был дициклогексилдиселенид **6а**, полученный нами по реакции соединения **2** с циклогексилбромидом.

Соединения **7а** и **7б** получены путем взаимодействия продуктов восстановления диселенидов **6а** и **6б** под действием системы гидразингидрат–основание с эфиром **1**, как показано на схеме 3.

Отметим, что изменение маршрута реакции позволяет повысить выходы в 2–2.5 раза по сравнению с реакцией с участием полимера **3**. Это связано с тем, что при взаимодействии соединения **2** с эфиром **1**, кроме целевого полимера **3**, возможно образование более сложных структур, что заметно снижает выход целевых продуктов. Использование второго подхода приводит к уменьшению количества побочных продуктов, но требует выделения и очистки промежуточных соединений, являющихся весьма токсичными веществами.

Схема 4.



Третий способ является более традиционным и заключается в генерации селенолят-аниона *in situ* в спирто-щелочной среде из соответствующего селенола с последующим его взаимодействием с эфиром **1** в одну стадию с образованием производного **8** по схеме 4. При этом выход целевых продуктов составляет более 70%.

Однако применение этого подхода осложняется использованием селенолов, имеющих низкие температуры кипения и высокую токсичность. Во всех случаях при восстановлении связи Se–Se под действием системы гидразингидрат–основание, или же генерации анионов RSe<sup>-</sup> или Se<sub>2</sub><sup>2-</sup>, для повышения скорости реакции использовалась смесь гидроксидов натрия и калия в соотношении 1:1. Возможно использование одного типа щелочи, однако в этом случае время реакции будет значительно зависеть от ее природы, поскольку активность ионов Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в растворах весьма отличается.

Строение полученных соединений **5а–ж**, **7а**, **б** и **8** доказано методами ИК и ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и <sup>77</sup>Se спектроскопии. Выходы, температуры кипения и данные элементного анализа для полученных соединений в табл. 1. В ИК спектрах соединений

**5а–ж**, **7а**, **б** и **8** наблюдаются полосы колебаний основной цепи SeCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>Se и дополнительные полосы, обусловленные колебаниями заместителей R в боковой цепи.

Таким образом, в данной работе реализованы три различных подхода к получению селеноорганических производных бис(2-хлорэтилового) эфира, которые могут быть использованы в качестве лигандов для получения новых координационных соединений переходных металлов, а также в реакциях каталитического превращения этилена.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

ИК спектры записаны на спектрометре Simex Infracum FT 801 в тонком слое. Спектры ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и <sup>77</sup>Se снимали на спектрометре Bruker DPX-400 с рабочими частотами 400.13 (<sup>1</sup>H), 100.61 (<sup>13</sup>C), 76.31 (<sup>77</sup>Se) МГц, растворитель – CDCl<sub>3</sub>. Внутренний стандарт – TMC (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C) и Me<sub>2</sub>Se (<sup>77</sup>Se).

Использовали коммерческие реагенты (Sigma Aldrich): элементный селен, гидразингидрат, алкилгалогениды, диалкилдиселениды, бис(2-хлорэтиловый) эфир и селенофенол. Полимер **3** синтезирован согласно методике, описанной ранее [2, 3].

Таблица 1. Выходы, температуры кипения и данные элементного анализа для соединений **5а–ж**, **7а**, **б** и **8**

№	Выход, %	Т. кип., °С (мм рт. ст.)	Найдено, %			Формула	Вычислено, %		
			С	Н	Se		С	Н	Se
<b>5а</b>	26	95–97 (1.6)	27.67	5.41	60.64	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> OSe <sub>2</sub>	27.71	5.43	60.72
<b>5б</b>	28	111–115 (1.5)	33.29	6.25	57.75	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> OSe <sub>2</sub>	33.35	6.30	54.81
<b>5в</b>	24	128–129 (1.5)	37.92	7.00	49.85	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> OSe <sub>2</sub>	37.99	7.01	49.94
<b>5г</b>	28	99–100 (1.5)	37.94	6.99	49.88	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> OSe <sub>2</sub>	37.99	7.01	49.94
<b>5д</b>	31	134–137 (1.4)	41.83	7.58	45.83	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> OSe <sub>2</sub>	41.87	7.61	45.87
<b>5е</b>	29	130–132 (1.5)	41.84	7.59	45.82	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> OSe <sub>2</sub>	41.87	7.61	45.87
<b>5ж</b>	22	180–182 (1.5)	47.97	8.53	39.37	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> OSe <sub>2</sub>	48.00	8.56	39.44
<b>7а</b>	41	150–152 (1.0)	48.44	7.61	39.78	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> OSe <sub>2</sub>	48.49	7.63	39.84
<b>7б</b>	70	230–234 (1.5)	52.39	5.36	38.23	C <sub>18</sub> H <sub>22</sub> OSe <sub>2</sub>	52.44	5.38	38.30
<b>8</b>	75	191–193 (1.5)	49.98	4.70	40.97	C <sub>16</sub> H <sub>18</sub> OSe <sub>2</sub>	50.02	4.72	41.10

**Общая методика получения соединений 5а–ж.** Смесь 20%-ного раствор гидроксида К/Na в гидразингидрате и полимера **3** (мольное соотношение KOH/NaOH:полимер = 5:1) нагревали в течение 4 ч при 90°C. После растворения полимера **3** к реакционной смеси добавляли эквимольное количество алкилгалогенида RX **4а–г** и перемешивали при 70°C в течение 1 ч. Продукт реакции экстрагировали диэтиловым эфиром, экстракт промывали водой и сушили безводным хлоридом кальция. Растворитель отгоняли, остаток перегоняли в вакууме.

**1-(Метилселанил)-2-[2-(метилселанил)этокси]этан (5а).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2994, 2970, 2924, 2858, 2825, 1474, 1456, 1424, 1405, 1354, 1292, 1275, 1269, 1221, 1188, 1104, 1088, 1056, 1032, 958, 935, 901, 810, 747, 686, 665, 593, 571. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 2.02 с (6H,  $\text{CH}_3$ ), 2.70 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.0 Гц), 3.69 т (4H,  $\text{OCH}_2$ ,  $^3J$  7.1 Гц). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 4.65 ( $\text{CH}_3$ ), 24.31 ( $\text{SeCH}_2$ ), 70.92 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  58.58 м. д.

**1-(Этилселанил)-2-[2-(этилселанил)этокси]этан (5б).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2973, 2956, 2924, 2865, 1474, 1449, 1423, 1405, 1374, 1354, 1292, 1276, 1235, 1188, 1103, 1088, 1052, 1047, 1032, 1017, 968, 980, 961, 932, 797, 761, 736, 733, 686, 666, 579, 572, 559. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 1.35–1.37 м (6H,  $\text{CH}_3$ ), 2.67–2.72 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 3.09–3.15 м (4H,  $\text{SeCH}_2$ ), 3.62–3.66 м (4H,  $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 15.56 ( $\text{CH}_3$ ), 17.33 ( $\text{CH}_2$ ), 21.82 ( $\text{SeCH}_2$ ), 70.76 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  176.82 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]дипропан (5в).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2960, 2928, 2869, 2855, 1475, 1462, 1455, 1429, 1418, 1405, 1375, 1353, 1338, 1279, 1207, 1188, 1104, 1088, 1054, 1034, 985, 956, 933, 893, 883, 818, 770, 745, 734, 716, 646, 580, 573, 560, 555. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 0.98 т (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $^3J$  7.3 Гц), 1.65–1.70 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 2.57–2.59 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 2.70 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.3 Гц), 3.65–3.69 м (4H,  $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 14.56 ( $\text{CH}_3$ ), 22.74 ( $\text{CH}_2$ ), 24.04 ( $\text{CH}_2$ ), 26.79 ( $\text{SeCH}_2$ ), 71.30 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  м. д. 136.69.

**2,2'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]дипропан (5г).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2968, 2952, 2920, 2893, 2861, 1477, 1457, 1464, 1441, 1425, 1404, 1382, 1366, 1353, 1314, 1292, 1277, 1220,

1188, 1181, 1155, 1102, 1088, 1055, 1030, 985, 955, 934, 926, 879, 745, 686, 667, 571, 553. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 1.33 д [ $12\text{H}$ , ( $\text{CH}_3$ ) $_2$ ,  $J$  6.9 Гц], 2.66 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.3 Гц), 3.05–3.14 м (2H, CH), 3.58–3.64 м (4H,  $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 21.60 ( $\text{CH}_3$ ), 24.52 ( $\text{SeCH}_2$ ), 29.12 (CH), 70.20 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  268.63 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]дибутан (5д).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2957, 2927, 2870, 2860, 1477, 1463, 1458, 1429, 1420, 1404, 1378, 1353, 1290, 1276, 1259, 1195, 1106, 1088, 1052, 1031, 986, 956, 933, 899, 870, 776, 738, 717, 646, 687, 666, 571, 567, 561, 552. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 0.92 т (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $^3J$  7.3 Гц), 1.30–1.66 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 1.37–1.43 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 2.60–2.62 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 2.71 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.2 Гц), 3.68 т (4H,  $\text{OCH}_2$ ,  $^3J$  7.2 Гц). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 13.66 ( $\text{CH}_3$ ), 22.76 ( $\text{CH}_2$ ), 23.05 ( $\text{CH}_2$ ), 24.30 ( $\text{CH}_2$ ), 32.86 ( $\text{SeCH}_2$ ), 71.29 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  141.92 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]бис(2-метилпропан) (5е).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2956, 2926, 2892, 2867, 1475, 1462, 1451, 1425, 1416, 1404, 1381, 1364, 1355, 1333, 1316, 1291, 1277, 1218, 1187, 1181, 1105, 1088, 1059, 1032, 986, 956, 942, 922, 838, 808, 794, 771, 745, 686, 665, 653, 613, 582, 573, 560, 552. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 0.98 д (12H, ( $\text{CH}_3$ ) $_2$ ,  $J$  6.6 Гц), 1.77–1.86 м (2H, CH), 2.50 д (4H,  $\text{CH}_2$ ,  $J$  6.5 Гц), 2.68 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.0 Гц), 3.65 т (4H,  $\text{OCH}_2$ ,  $^3J$  7.0 Гц). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 22.67 ( $\text{CH}_3$ ), 23.38 ( $\text{CH}_2$ ), 29.47 ( $\text{CH}_2$ ), 34.70 ( $\text{SeCH}_2$ ), 71.25 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  114.45 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]дигексан (5ж).** ИК спектр,  $\nu$ ,  $\text{см}^{-1}$ : 2956, 2926, 2869, 2855, 1475, 1465, 1459, 1429, 1420, 1405, 1378, 1353, 1293, 1276, 1252, 1235, 1106, 1088, 1054, 1032, 987, 956, 934, 913, 890, 850, 796, 778, 748, 725, 715, 647, 687, 672, 665, 571, 565, 560, 553. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$ ,  $\delta$ , м. д.: 0.86–0.90 м (6H,  $\text{CH}_3$ ), 1.26–1.33 м (8H,  $\text{CH}_2$ ), 1.34–1.38 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 1.58–1.68 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 2.58 т (4H,  $\text{CH}_2$ ,  $^3J$  7.5 Гц), 2.70 т (4H,  $\text{SeCH}_2$ ,  $^3J$  7.2 Гц), 3.67 т (4H,  $\text{OCH}_2$ ,  $^3J$  7.3 Гц). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$ ,  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 14.08 ( $\text{CH}_3$ ), 22.60 ( $\text{CH}_2$ ), 22.75 ( $\text{CH}_2$ ), 24.63 ( $\text{CH}_2$ ), 29.63 ( $\text{CH}_2$ ), 30.72 ( $\text{CH}_2$ ), 31.41 ( $\text{SeCH}_2$ ), 71.27 ( $\text{OCH}_2$ ). Спектр ЯМР  $^{77}\text{Se}$ :  $\delta_{\text{Se}}$  140.71 м. д.

**Дициклогексилдиселенид (6а).** К раствору гидроксида К/Na и гидразингидрата при перемешивании в атмосфере аргона порциями прибавляли порошок элементарного селена, мольное соотношение реагентов KOH/NaOH:N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O:Se = 1:1:1. После полного растворения селена смесь перемешивали 1 ч при 90°C, затем охлаждали и добавляли эквимольное количество циклогексилбромиды. Смесь нагревали в течение 5 ч при 80°C, затем охлаждали до комнатной температуры. Продукты реакции экстрагировали диэтиловым эфиром. Экстракт промывали водой и сушили безводным хлоридом кальция. Растворитель удаляли, остаток перегоняли в вакууме. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д.: 1.29–1.35 м, 1.46–1.48 м, 1.74–1.79 м, 2.07–2.10 м. Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ<sub>C</sub>, м. д.: 43.52, 34.69, 27.04, 25.74. Спектр ЯМР <sup>77</sup>Se: δ<sub>Se</sub> 367.87 м. д.

**Общая методика получения соединений 7а, б.** Смесь 20%-ного раствора гидроксида К/Na в гидразингидрате и диорганилдиселенида **6а** или **6б** (мольное соотношение реагентов KOH/NaOH:R<sub>2</sub>Se<sub>2</sub> = 5:1) нагревали при перемешивании 4 ч при 90°C в атмосфере аргона, затем охлаждали до комнатной температуры и по каплям добавляли эквимольное количество эфира **1**, после чего снова нагревали в течение 2 ч при 90°C и охлаждали до комнатной температуры. Продукт реакции экстрагировали диэтиловым эфиром. Экстракт промывали водой и сушили безводным хлоридом кальция. Растворитель удаляли, остаток перегоняли в вакууме.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]-дициклогексан (7а).** ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 2970, 2927, 2850, 1474, 1459, 1447, 1459, 1421, 1350, 1338, 1291, 1274, 1257, 1182, 1106, 1087, 1052, 1029, 1009, 993, 915, 986, 957, 934, 884, 863, 852, 780, 746, 810, 696, 660, 684, 672, 665, 573, 566, 558, 555. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д.: 1.38–1.20–1.27 м (4H), 1.43 м (8H), 1.64–1.69 м (8H), 1.93–1.96 м (2H, Cy), 2.63–2.68 м (4H, SeCH<sub>2</sub>), 3.57–3.62 м (4H, OCH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ<sub>C</sub>, м. д.: 21.2, 25.75, 26.80, 34.65 (Cy), 38.95 (SeCH<sub>2</sub>), 71.41 (OCH<sub>2</sub>). Спектр ЯМР <sup>77</sup>Se: δ<sub>Se</sub> 242.07 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиилметандиил)]дибензол (7б).** ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 3099, 3081, 3059, 3025, 3002, 2968, 2928, 2855, 1600, 1583, 1493, 1452, 1472, 1420, 1402, 1353, 1334, 1318, 1293,

1276, 1215, 1180, 1156, 1104, 1087, 1069, 1029, 988, 935, 912, 841, 801, 758, 697, 733, 666, 625, 609, 568, 553. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д.: 2.60 т (4H, SeCH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J 7.0 Гц), 3.69 т (4H, OCH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J 7.1 Гц), 3.79 т (4H, CH<sub>2</sub>Ph, <sup>3</sup>J 7.0 Гц), 7.24–7.29 м (10H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ<sub>C</sub>, м. д.: 22.84 (SeCH<sub>2</sub>), 27.47 (CH<sub>2</sub>Ph), 70.98 (OCH<sub>2</sub>); 139.32, 128.90, 128.51, 126.75 (Ph). Спектр ЯМР <sup>77</sup>Se: δ<sub>Se</sub> 235.93 м. д.

**1,1'-[Оксибис(этан-2,1-диилселанилдиил)]-дибензол (8).** К смеси селенофенола и гидроксида К/Na в 95%-ном этаноле (мольное соотношение реагентов KOH/NaOH:PhSeH = 1.1:1) при перемешивании медленно, в течение 30 мин, прибавляли по каплям эквимольное количество эфира **1** в атмосфере аргона. Полученную смесь нагревали в течение 1 ч при 80°C, затем охлаждали. Продукт реакции экстрагировали диэтиловым эфиром. Экстракт промывали водой и сушили безводным хлоридом кальция. Растворитель удаляли, остаток перегоняли в вакууме. ИК спектр, ν, см<sup>-1</sup>: 3069, 3055, 3032, 3014, 2996, 2979, 2935, 2860, 1578, 1477, 1437, 1458, 1421, 1405, 1354, 1327, 1298, 1274, 1223, 1197, 1180, 1157, 1103, 1088, 1073, 1022, 999, 1056, 1033, 987, 955, 934, 912, 899, 838, 735, 691, 670, 615, 566, 553. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H, δ, м. д.: 3.05 т (4H, SeCH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J 7.1 Гц), 3.69 т (4H, OCH<sub>2</sub>, <sup>3</sup>J 7.1 Гц), 7.27–7.54 м (10H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C, δ<sub>C</sub>, м. д.: 22.84 (SeCH<sub>2</sub>), 70.38 (OCH<sub>2</sub>); 132.82, 129.85, 129.18, 127.11 (Ph). Спектр ЯМР <sup>77</sup>Se: δ<sub>Se</sub> 269.09 м. д.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Безбородов Виктор Александрович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8363-5698>

Бабенко Илья Аркадьевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8754-1357>

Быков Михаил Валерьевич, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0899-8760>

Вильмс Алексей Иванович, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1698-1160>

#### БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено с использованием оборудования Центра коллективного пользования Иркутского государственного университета и Байкальского центра коллективного пользования СО РАН.

## ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Исследование выполнено в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки России (соглашение № 075-03-2020-176/3; код проекта в Парусе 8: FZZE-2020-0022).

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дерягина Э.Н., Руссавская Н.В., Паперная Л.К., Леванова Е.П., Сухомазова Э.Н., Корчевин Н.А. // Изв. АН. Сер. хим. 2005. № 11. С. 2395; *Deryagina E.N., Russavskaya N.V., Papernaya L.K., Levanova E.P., Sukhomazova E.N., Korchevin N.A.* // Russ. Chem. Bull. 2005. Vol. 54. N 11. P. 2473. doi 10.1007/S11172-006-0143-0
2. Корчевин Н.А., Руссавская Н.В., Алекминская О.В., Дерягина Э.Н. // ЖОХ. 2002. Т. 72. № 2. С. 270; *Korchevin N.A., Russavskaya N.V., Alekminskaya O.V., Deryagina E.N.* // Russ. J. Gen. Chem. 2002. Vol. 72. N 2. P. 240. doi 10.1023/A:1015425702523
3. Вшивцев В.Ю., Леванова Е.П., Грабельных В.А., Клыба Л.В., Жанчипова К.Р., Сухомазова Э.Н., Татарина А.А., Албанов А.М., Руссавская Н.В., Корчевин Н.А. // ЖОрХ. 2008. Т. 44. № 1. С. 50; *Vshivtsev V.Yu., Levanova E.P., Grabel'nykh V.A., Klyba L.V., Zhanchipova E.R., Sukhomazova E.N., Tatarinova A.A., Albanov A.I., Russavskaya N.V., Korchevin N.A.* // Russ. J. Org. Chem. 2008. Vol. 44. N 1. P. 43. doi 10.1134/S1070428008010053
4. Baker P.K., Clark A.I., Coles S.J., Hursthouse M.B., Richards R.L. // J. Organomet. Chem. 1996. Vol. 518. P. 235. doi 10.1016/0022-328X(96)06164-5
5. Baker P.K., Clark A.I., Drew M.G.B., Durrant M.C., Richards R.L. // Polyhedron. 1998. Vol. 17. N 9. P. 1407. doi 10.1016/S0277-5387(97)00423-3
6. Baker P.K., Clark A.I., Coles S.J., Drew M.G.B., Durrant M.C., Hursthouse M.B., Richards R.L. // J. Chem. Soc. Dalton Trans. 1998. P. 1281. doi 10.1039/A708648B
7. Connolly J., Genge A.R.J., Levason W., Orchard S.D., Popem S.J.A., Reid G. // J. Chem. Soc. Dalton Trans. 1999. P. 2343. doi 10.1039/A902820J
8. Siclovan O.P., Angelici R.J. // Inorg. Chem. 1998. Vol. 37. N 3. P. 432. doi 10.1021/ic970670e
9. Cho S.-Y., Mochida T. // Inorg. Chem. 2020. Vol. 59. N 1. P. 847. doi 10.1021/acs.inorgchem.9b03108
10. McGuinness D.S., Wassercaheid P., Keim W., Morgan D., Dixon J.T., Bollmann A., Maumela H., Hess F., Englert U. // J. Am. Chem. Soc. 2003. Vol. 125. N 18. P. 5272. doi 10.1021/ja034752f
11. Mohamadnia Z., Ahmadi E., Haghghi M.N., Salehi-Mobarakeh H. // Catal. Lett. 2011. Vol. 141. N 3. P. 474. doi 10.1007/s10562-010-0492-z
12. Ahmadi E., Mohamadnia Z., Haghghi M.N. // Catal. Lett. 2011. Vol. 141. N 8. P. 1191. doi 10.1007/s10562-011-0594-2
13. Беспалова Н.Б., Чередилин Д.Н., Козлова Г.А., Дудин А.В., Афанасьев В.В. Пат РФ 2470707 (2012).
14. Леванова Е.П., Вильмс А.И., Безбородов В.А., Бабенко И.А., Сосновская Н.Г., Истомина Н.В., Албанов А.И., Руссавская Н.В., Розенцвейг И.Б. // ЖОХ. 2017. Т. 87. № 3. С. 387; *Levanova E.P., Vilms A.I., Bezborodov V.A., Babenko I.A., Sosnovskaya N.G., Istomina N.V., Albanov A.I., Russavskaya N.V., Rozentsveig I.B.* // Russ. J. Gen. Chem. 2017. Vol. 87. N 3. P. 396. doi 10.1134/S1070363217030069
15. Bezborodov V., Babenko I., Rozentsveig I., Korchevin N., Levanova E., Smirnov V., Borodina T., Saraev V., Vilms A. // Polyhedron. 2018. Vol. 151. P. 287. doi 10.1016/j.poly.2018.05.053
16. Вильмс А.И., Безбородов В.А., Бабенко И.А., Розенцвейг И.Б., Леванова Е.П., Корчевин Н.А., Белов Г.П. Пат РФ 2683565 (2019).

# Synthesis of Polydentate Selenium-Containing Derivatives of Bis(2-chloroethyl) Ether

V. A. Bezborodov<sup>a</sup>, I. A. Babenko<sup>a,\*</sup>, M. V. Bykov<sup>a</sup>, G. V. Ratovskii<sup>a</sup>,  
N. I. Borodin<sup>a</sup>, I. A. Ushakov<sup>b</sup>, and A. I. Vilms<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, 664003 Russia

<sup>b</sup> A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033 Russia  
\*e-mail: legatt112@yandex.ru

Received June 22, 2022; revised July 9, 2022; accepted July 10, 2022

Organoselenium derivatives of bis(2-chloroethyl) ether of general formula (RSeCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>O (R = Me, Et, Pr, *i*-Pr, Bu, *i*-Bu, C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>, Cy, Bn, Ph) were synthesized. The products are potential electron-donating polydentate ligands for the synthesis of transition metal complexes, as well as the components of catalytic systems in the reactions of oligomerization of ethylene.

**Keywords:** selenium, organoselenium compounds, polydentate ligands, bis(2-chloroethyl) ether