УДК 547.781.1:547.1.1':547.789.61

СИНТЕЗ *S*- И *S*–*S*-КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ 2-МЕРКАПТОБЕНЗОТИАЗОЛА

© 2019 г. Н. О. Ярош*, Л. В. Жилицкая, Л. Г. Шагун, И. А. Дорофеев, Л. И. Ларина

ФГБУН «Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН», 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Фаворского 1
**e-mail: yarosh.nina@irioch.irk.ru*

Поступила в редакцию 01 ноября 2018 г.
После доработки 13 мая 2019 г.
Принята к публикации 15 мая 2019 г.

По реакции 2-меркаптобензотиазола и ди(2-бензотиазолил)дисульфида с иодметилсиланами, содержащими в молекуле экзоциклический и эндоциклический атомы кремния, в присутствии молекулярного иода синтезированы кремнийорганические иодиды и полииодиды бензотиазолия и дисульфония.

Ключевые слова: 2-меркаптобензотиазол, ди(2-бензотиазолил)дисульфид, иодметил(диметил)фенилсилан, 1-иодметил-1-метилсилолан, дисульфоний-дикатионы, полииодиды, алкилирование.

DOI: 10.1134/S0514749219080019

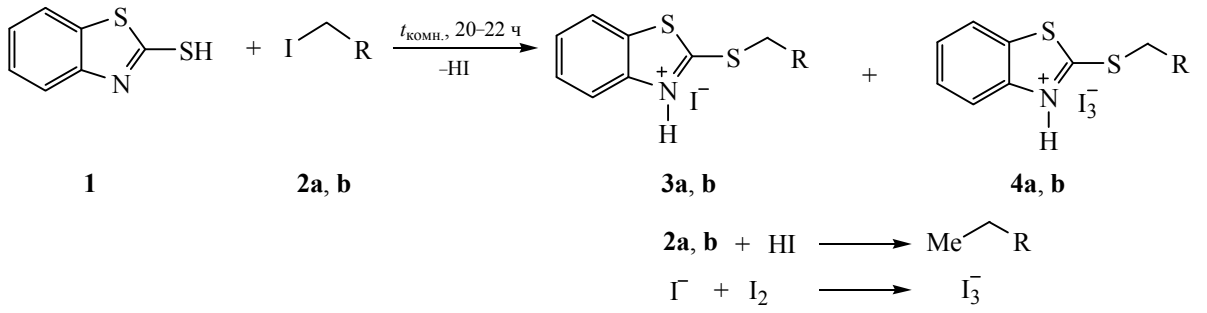
Бициклические молекулы, содержащие два гетероатома, как правило, обладают несколькими видами биологической активности широкого фармакологического спектра действия. Так, органические производные 2-меркаптобензотиазола проявляют противогрибковую, антибактериальную, противосудорожную, противовоспалительную, противоопухолевую, антиоксидантную, противоаллергическую активности [1–10]. В промышленности их производные применяются в кожевенной и резинотехнической промышленности при производстве автомобильных шин, резиновых нитей и обуви [11, 12]. Алкоксисилановые производные 2-меркаптобензотиазола используются в синтезе силатранов и силсесквиоксанов. Последние обладают эффективной избирательной сорбционной активностью по отношению к благородным металлам золота, палладия, платины в высших степенях окисления [13].

Несмотря на значительное количество исследований в этой области кремнийорганические производные 2-меркаптобензотиазола остаются малоизученными. Интерес к таким соединениям, прежде всего, обусловлен их потенциальной возможностью придавать промышленным изделиям эластичность, прочность, химическую инертность и биосовместимость [14–18].

Первые кремнийорганические производные 2-меркаптобензотиазола, в которых атом кремния соединен с гетероциклом фрагментом –S–CH_2, получены при взаимодействии 2-меркаптобензотиазола с иодметилпрозводными силоксанов в отсутствие основных сред [19] или его *S*-натриевых производных с триорганил(хлорметил)силанами в системе бензол–ДМФА, 1:1 [13]. Продолжая исследования в этой области, мы впервые изучили реакцию 2-меркаптобензотиазола (**1**) с иодметилсиланами, содержащими в молекуле экзоциклический и эндоциклический атомы кремния [иодметил(диметил)фенилсилан (**2a**) и 1-(иодметил)-1-метилсилолан (**2b**)] при комнатной температуре в отсутствие основных сред.

При взаимодействии 2-меркаптобензотиазола (**1**) с иодметил(диметил)фенилсиланом (**2a**) образуется иодид диметил(фенил)силилметилтиобензотиазолия (**3a**) – продукт региоселективного замещения атома водорода меркаптогруппы. Выделившийся в процессе *S*-алкилирования иодоводород расходуется не только на образование моноиодида **3a**, но и на восстановление иодсилана **2a** до триметилфенилсилана, о чем свидетельствует появление в спектрах ЯМР ^{1}H и ^{13}C реакционной смеси сигналов протонов при 0.32 м.д. и атомов углерода при –4.11 м.д. метильной группы.

Схема 1.



R = $SiMe_2Ph$ (**a**), $SiMe(CH_2)_4$ (**b**).

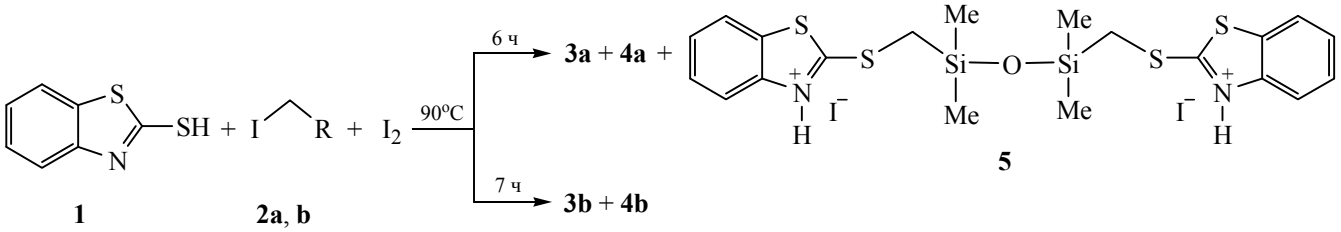
Образовавшийся в процессе восстановления молекулярный иод далее легко вступает в реакцию с иодид анионом соли **3a**, образуя трииодид анион соли **4a**. Реакция 2-меркаптобензотиазола (**1**) с 1-иодметил-1-метилсилоланом (**2b**) протекает аналогично приводя к моно- и трииодиду 2-[(1-метил-1-силоланилметил)тио]-1,3-бензотиазолия **3b** и **4b** (схема 1).

При проведении этой реакции в присутствии эквимольного количества иода, необходимого для формирования трииодид-аниона, выход кремний-органических ионных жидкостей **4a**, **b** увеличивается с 13 и 17% до 41 и 50% соответственно.

При повышении температуры до 90°C время ее проведения сокращается в три раза, однако в этих условиях в продуктах **3a**, **4a** происходит частичное расщепление связи Si–C_{sp}^2 под действием выделившегося иодоводорода (схема 2), причем иод в этом случае может выступать в качестве катализатора [20–23]. Образующиеся при этом лабильные интермедиаты **A** и **A'** в процессе выделения легко подвергаются гидролизу влагой воздуха или растворителя с образованием соответствующих иодсиланолов **B** и **B'**. Их межмолекулярная конденсация в конечном итоге приводит к дииодиду 2-{[3-(1,3-бензотиазол-2-илсульфанил)метил]-1,1,3,3-тетраметилдисилоксанилметил}-сульфанил-1,3-бензотиазолия (**5**) (схема 3), физико-химические константы и спектральные характеристики которого совпадают с дииодидом, синтезированным нами ранее по реакции 2-меркаптобензотиазола с 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксаном или 1,3-бис(иодметил)-1,1,3,3-тетраметилдисилоксаном [19]. Этот факт свидетельствует о том, что для получения силоксановых производных 2-меркаптобензотиазола возможно использование 1-иодметил(диметил)фенилсилана в качестве альтернативного алкилирующего агента.

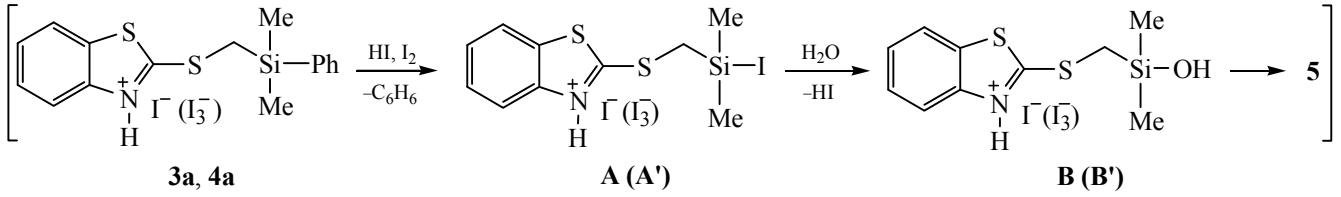
Выделение солей **3a**, **b**, **4a**, **b** и **5** осуществляли с учетом существенного различия их растворимости

Схема 2.



R = $SiMe_2Ph$ (**a**), $SiMe(CH_2)_4$ (**b**).

Схема 3.



в ацетоне. При его добавлении к реакционой смеси иодиды **3a**, **b**, и **5** легко осаждались, однако их хорошая растворимость в полииодидах **4a**, **b** затрудняла очистку, что потребовало многократного переосаждения реакционой смеси.

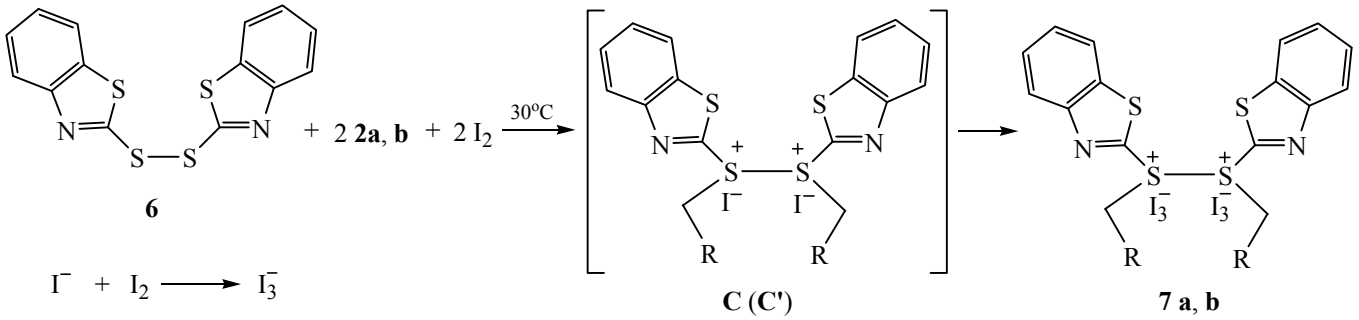
При взаимодействии 2-меркаптобензотиазола (**1**) с иодметилсиланами **2a**, **b** в присутствии иода в спектрах ЯМР ^{1}H реакционной смеси обнаружены сигналы протонов метиленовой группы слабой интенсивности при 2.29 и 2.30 м.д., которые можно отнести к побочным продуктам алкилирования. Обсуждая путь их образования мы предположили возможность окисления 2-меркаптобензотиазола (**1**) иодом до ди(2-бензотиазолил)дисульфида **6** и его последующего *N*- или *S*-алкилирования иодметилсиланами **2a**, **b**. Для подтверждения этого предположения мы исследовали взаимодействие ди-(2-бензотиазолил)дисульфида (**6**) с иодметилсиланами **2a**, **b** в присутствии двумольного количества элементного иода. Реакция протекает по двум атомам серы дисульфидного мостика с образованием полииодидов 1,2-ди(бензотиазол-2-ил)-1,2-бис{[диметил(фенил)силил]метил}- и 1,2-ди(1,3-бензотиазол-2-ил)-1,2-бис[(1-метилсилоланил)метил]-1,2-дисульфония (**7a**, **b**) с выходом 58 и 52% (схема 4). На их образование указывает появление в спектрах ЯМР ^{13}C сигнала углерода C^2 при 182 и 187 м.д. и исчезновение сигнала C^2 дисульфида **6** при 159.80 м.д. Дополнительным аргументом в пользу предполагаемого строения солей **7a**, **b** является смещение в сильное поле сигналов протонов и атомов углерода метиленовых фрагментов в спектрах ЯМР ^{1}H, ^{13}C (2.29, 2.30 и 14.97, 15.40 м.д. соответственно) по сравнению с *N*-алкилированными продуктами [18]. В солях **3a**, **b** и **4a**, **b**, не имеющих заряда на экзоциклических атомах серы, эти значения в спектрах ЯМР ^{1}H и ^{13}C находятся при 3.01, 3.24 и 20.14, 27.27 м.д. В двумерных спектрах ЯМР {^{1}H–^{15}N}HMBC солей **7a**, **b** отсутствует кросс-пик атома азота с протонами метиленового фрагмента.

Полииодиды **4a**, **b** и **7a**, **b** представляют собой новый тип кремнийорганических ионных жидкостей, которые могут найти применение в качестве ПАВ, катализаторов и растворителей в органическом синтезе. Соли **7a** и **b** являются первыми представителями устойчивых кремнийорганических дисульфоний-дикатионов, которые могут быть использованы в качестве электрофильных реагентов для получения разнообразных классов элементоорганических соединений в реакциях с C-нуклеофилами [24–28]. Их нестабильные аналоги были зафиксированы в качестве интермедиатов при электрохимическом окислении β-силилзамещенных алкиларилсульфидов [29].

Состав и строение синтезированных соединений **3a**, **b**, **4a**, **b**, **5** и **7a**, **b** подтверждено совокупностью данных элементного анализа, двумерных спектров гомо- и гетероядерного ЯМР на ядрах ^{1}H, ^{13}C, ^{15}N и ^{29}Si, а также УФ-спектроскопии. В спектрах ЯМР ^{1}H и ^{13}C этих соединений наблюдаются сигналы протонов и атомов углерода фениленового фрагмента 2-меркаптобензотиазола, а также протонов и атомов углерода фрагмента MeSi. В их двумерных спектрах ЯМР {^{1}H–^{15}N}HMBC присутствует кросс-пик атома азота с протоном в положении *4* фениленового кольца. УФ спектры моноиодидов **3a**, **b** имеют одинаковый вид с максимумами поглощения при 214 и 216 нм. В УФ спектрах трииодидов **4a**, **b** и **7a**, **b** наблюдаются характерные для аниона I_3^- полосы поглощения в области 291–292 и 362–364 нм [30].

Таким образом, установлено, что 2-меркаптобензотиазол взаимодействует с иодметилсиланами,

Схема 4.



R = $SiMe_2Ph$ (**a**), $SiMe(CH_2)_4$ (**b**).

содержащими в молекуле экзоциклический и эндоциклический атомы кремния, с образованием новых типов *S*-кремнийорганических иодидов. В случае иодметил(диметил)фенилсилана при повышенной температуре происходит расщепление Si–C_{sp}^2 связи выделившимся *in situ* иодоводородом и образование *S*-силоксановых производных 2-меркаптобензотиазола. Кремнийорганические *S*–*S*-дисульфоний-дикатионовые производные 2-меркаптобензотиазола образуются при взаимодействии иодметилсиланов с ди(2-бензотиазолил)-дисульфидом в присутствии элементного иода.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Спектры ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ^{29}Si и ^{15}N зарегистрированы на спектрометрах Bruker DPX-400 и Bruker AV-400 с рабочими частотами 400.13, 100.61, 161.98, 40.56 МГц соответственно, внутренний стандарт – ТМС. Двумерные спектры ЯМР {^{1}H–^{15}N} сняты с использованием методики HMBC-gp ^{1}H–^{15}N. УФ спектры записаны на спектрометре UV-Vis Lambda 35 в MeCN. Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Содержание иода определено меркурометрическим методом объемного анализа, содержание кремния – методом сухого сожжения. Температуры плавления определены на приборе Micro-Hot-Stage PolyTherm A. Ход реакций контролировали методами ЯМР ^{1}H, ^{13}C, ^{29}Si, ^{15}N и ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент – ацетон, визуализация хроматограмм парами иода).

Реакция 2-меркаптобензотиазола или ди(2-бензотиазолил)дисульфида с иодметилпроизводными силанов (*общая методика*). *а*. Раствор 2.00 ммоль 2-меркаптобензотиазола **1** и 2.00 ммоль силана **2a**, **b** в ацетоне перемешивали 20–22 ч при комнатной температуре до полной конверсии алкилирующего агента **2a**, **b** (контроль ЯМР ^{1}H, ^{13}C). Выпавший осадок продуктов **3a**, **b** отфильтровывали, промывали ацетоном, эфиром, высушивали. К ацетоновому фильтрату добавляли 30 мл эфира. Выпавшее красное масло соли **4a**, **b** отделяли, промывали эфиром, высушивали в вакууме.

б. К раствору 2.00 ммоль 2-меркаптобензотиазола **1** и 2.00 ммоль силана **2a**, **b** в ацетоне прибавляли порциями 2.00 ммоль элементного иода. Реакционную смесь перемешивали 6–7 ч при 90°C до полной конверсии алкилирующего агента **2a**, **b** (контроль ЯМР ^{1}H, ^{13}C). К реакционной смеси добавляли 20 мл эфира. Далее выделение продуктов по методике *а*.

в. К суспензии 2.00 ммоль ди(2-бензотиазолил)-дисульфида **6** в ацетоне прибавляли порциями 4 ммоль силана **2a**, **b** в ацетоне и 4 ммоль элементного иода. Реакционную смесь перемешивали 6–7 ч при 30°C до полной конверсии алкилирующего агента **2a**, **b** (контроль ЯМР ^{1}H, ^{13}C). К реакционной смеси добавляли 20 мл эфира. Далее выделение продуктов по методике *а*.

Иодид 2-(диметилфенил)силил(метилтио)-1,3-бензотиазолия (3a). Выход 0.46 г (52%) (*а*), 0.12 г (13%) (*б*), порошок, т.пл. 205–208°C. Спектр ЯМР ^{1}H (DMSO-d_6), δ, м.д.: 0.54 с (6H, CH_3), 3.11 с (2H, CH_2S), 7.41 м (3H, *о*,*п*-Ph), 7.59 д.д (1H, H^6, $^3J_{HH}$ 7.7, 8.0 Гц), 7.66 м (3H, H^5, *м*-Ph), 7.89 д (1H, H^4, $^3J_{HH}$ 7.9 Гц), 8.16 д (1H, H^7, $^3J_{HH}$ 8.0 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO-d_6), δ, м.д.: –3.51 (CH_3), 20.51 (CH_2S), 117.78 (C^4), 123.35 (*м*-Ph), 126.70 (C^6), 128.40 (*п*-Ph), 128.98 (C^7), 130.08 (C^5), 131.30 (C^8), 134.11 (*о*-Ph), 135.19 (*unco*-Ph), 144.17 (C^9), 180.85 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (DMSO-d_6), δ, м.д.: –164.6. Спектр ЯМР ^{29}Si (DMSO-d_6), δ, м.д.: –2.3. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 216 (I^-). Найдено, %: C 42.96; H 4.05; I 26.98; N 3.18; S 14.16; Si 6.12. $C_{16}H_{18}INS_2Si$. Вычислено, %: C 43.34; H 4.09; I 28.61; N 3.16; S 14.46; Si 6.33.

Трииодид 2-(диметилфенил)силил(метилтио)-1,3-бензотиазолия (4a). Выход 0.08 г (6%) (*а*), 0.57 г (41%) (*б*), темно-красное масло. Спектр ЯМР ^{1}H (ацетон-d_6), δ, м.д.: 0.61 с (6H, CH_3), 3.24 с (2H, CH_2S), 7.45 м (3H, *о*,*п*-Ph), 7.71 д.д (3H, H^6, *м*-Ph), 7.81 м (1H, H^5), 7.99 д (H, H^7, $^3J_{HH}$ 8.0 Гц), 8.31 д (1H, H^4, $^3J_{HH}$ 7.9 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон-d_6), δ, м.д.: –3.23 (CH_3), 21.50 (CH_2S), 115.27 (C^4), 124.19 (*м*-Ph), 127.83 (C^6), 128.82 (*п*-Ph), 129.92 (C^5), 130.83 (C^7), 134.54 (C^8), 134.92 (*о*-Ph), 135.14 (*unco*-Ph), 141.97 (C^9), 184.80 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (ацетон-d_6), δ, м.д.: –165.7. Спектр ЯМР ^{29}Si (ацетон-d_6), δ, м.д.: –2.3. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 291, 362 (I_3^-). Найдено, %: C 27.46; H 2.55; I 55.08; N 2.18; S 9.02; Si 3.98. $C_{16}H_{18}I_3NS_2Si$. Вычислено, %: C 27.56; H 2.60; I 54.60; N 2.01; S 9.20; Si 4.03.

Иодид 2-[(1-метил-1-силоланилметил)тио]-1,3-бензотиазолия (3b). Выход 0.41 г (51%) (*а*), 0.06 г (7%) (*б*), порошок, т.пл. 225–227°C. Спектр ЯМР ^{1}H (DMSO-d_6), δ, м.д.: 0.40 с (3H, CH_3), 0.75 м (2H, CH_2S), 0.89 м (2H, CH_2Si), 1.66 м (4H, CH_2), 3.12 с (2H, CH_2S), 7.67 д.д (1H, H^6, $^3J_{HH}$ 7.8, 8.1 Гц), 7.70 д.д (1H, H^5, $^3J_{HH}$ 7.8, 8.2 Гц), 8.01 д (1H, H^4,

$^3J_{HH}$ 8.2 Гц), 8.30 д (1H, H^7, $^3J_{HH}$ 8.1 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO-d_6), δ, м.д.: –4.05 (CH_3), 11.43 (CH_2Si), 20.14 (CH_2S), 26.81 (CH_2), 116.49 (C^4), 123.59 (C^6), 127.15 (C^7), 129.53 (C^5), 130.80 (C^8), 141.89 (C^9), 184.13 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (DMSO-d_6), δ, м.д.: –188.6. Спектр ЯМР ^{29}Si (DMSO-d_6), δ, м.д.: 21.0. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 214 (I^-). Найдено, %: C 38.46; H 4.25; I 30.98; N 3.48; S 15.42; Si 6.87. $C_{13}H_{18}INS_2Si$. Вычислено, %: C 38.42; H 4.45; I 31.14; N 3.45; S 15.74; Si 6.89.

Трииодид 2-[(1-метил-1-силоланилметил)-тио]-1,3-бензотиазолия (4b). Выход 0.22 г (17%) (*а*), 0.65 г (50%) (*б*), темно-красное масло. Спектр ЯМР ^1H (ацетон-d_6), δ, м.д.: 0.64 с (3H, CH_3), 0.98 м (2H, CH_2Si), 1.11 м (2H, CH_2Si), 1.96 м (4H, CH_2), 3.09 с (2H, CH_2S), 7.74 д.д (1H, H^6, $^3J_{HH}$ 7.5, 7.9 Гц), 7.85 д.д (1H, H^5, $^3J_{HH}$ 7.5, 7.7 Гц), 8.21 д (1H, H^4, $^3J_{HH}$ 7.7 Гц), 8.35 д (1H, H^7, $^3J_{HH}$ 7.9 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон-d_6), δ, м.д.: –2.78 (CH_3), 11.97 (CH_2Si), 17.64 (CH_2S), 27.27 (CH_2), 121.40 (C^4), 122.18 (C^6), 124.74 (C^7), 126.89 (C^5), 135.14 (C^8), 153.44 (C^9), 170.47 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (ацетон-d_6), δ, м.д.: –184.3. Спектр ЯМР ^{29}Si (ацетон-d_6), δ, м.д.: 18.5. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 292, 361 (I_3^-). Найдено, %: C 23.56; H 2.45; I 57.49; N 2.28; S 9.44; Si 4.32. $C_{13}H_{18}I_3NS_2Si$. Вычислено, %: C 23.61; H 2.74; I 57.57; N 2.12; S 9.71; Si 4.25.

Дииодид 2-{[3-(1,3-бензотиазол-2-илтио)метил]-1,1,3,3-тетраметилдисилоксанил-метил}тио-1,3-бензотиазолия (5). Выход 0.25 г (33%), порошок, т.пл. 146–147°C. Спектр ЯМР ^1H (DMSO-d_6), δ, м.д.: 0.24 с (12H, CH_3), 2.66 с (4H, CH_2S), 7.31 д.д (2H, H^6, $^3J_{HH}$ 7.6, 8.2 Гц), 7.42 д.д (2H, H^5, $^3J_{HH}$ 7.6, 7.9 Гц), 7.78 д (2H, H^4, $^3J_{HH}$ 7.9 Гц), 7.92 д (2H, H^7, $^3J_{HH}$ 8.2 Гц), 8.32 уш.с (1H, NH). Спектр ЯМР ^{13}C (DMSO-d_6), δ, м.д.: 0.71 (CH_3), 19.76 (CH_2S), 121.44 (C^4), 122.19 (C^6), 124.68 (C^7), 126.81 (C^5), 135.20 (C^8), 153.49 (C^9), 170.00 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (DMSO-d_6), δ, м.д.: –170.9. Спектр ЯМР ^{29}Si (DMSO-d_6), δ, м.д.: 5.6. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 210 (I^-). Найдено, %: C 32.10; H 3.25; I 33.78; N 3.58; S 16.93; Si 8.03. $C_{20}H_{26}I_2N_2OS_4Si_2$. Вычислено, %: C 32.08; H 3.50; I 33.90; N 3.75; S 17.13; Si 7.50.

Полииодид 1,2-ди(бензотиазол-2-ил)-1,2-бис-[(диметил(фенил)силил)метил]-1,2-дисульфония (7a). Выход 1.61 г (58%), темно-красное масло. Спектр ЯМР ^1H (ацетон-d_6), δ, м.д.: 0.42 с (12H, CH_3), 2.29 с (4H, CH_2S), 7.35 м (6H, *о*,*п*-Ph), 7.67 д.д (2H, H^6, $^3J_{HH}$ 7.8, 8.3 Гц), 7.70 м (4H, *м*-Ph), 7.77 д.д (2H, H^5, $^3J_{HH}$ 7.8, 8.3 Гц), 7.97 д (2H, H^4, $^3J_{HH}$ 8.3 Гц), 8.27 д (2H, H^7, $^3J_{HH}$ 8.3 Гц). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон-d_6), δ, м.д. : –3.42 (CH_3), 14.97 (CH_2S), 117.20 (C^4), 123.49 (*м*-Ph), 127.59 (C^6), 128.04 (*п*-Ph), 129.53 (C^7), 130.39 (C^5), 134.11 (C^8), 134.92 (*о*-Ph), 136.87 (*ипсо*-Ph), 143.39 (C^9) 182.49 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (ацетон-d_6), δ, м.д.: –186.9. Спектр ЯМР ^{29}Si (ацетон-d_6), δ, м.д.: –1.5. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 291, 361 (I_3^-). Найдено, %: C 27.46; H 2.35; I 56.08; N 2.18; S 9.11; Si 4.43. $C_{32}H_{34}I_6N_2S_4Si_2$. Вычислено, %: C 27.60; H 2.46; I 54.68; N 2.01; S 9.21; Si 4.03.

Полииодид 1,2-ди(1,3-бензотиазол-2-ил)-1,2-бис[(1-метилсилоланил)метил]-1,2-дисульфония (7b). Выход 1.37 г (52%), темно-красное масло. Спектр ЯМР ^1H (ацетон-d_6), δ, м.д.: 0.55 с (6H, CH_3), 1.01 м (4H, CH_2Si), 1.16 м (4H, CH_2Si), 1.92 м (8H, CH_2), 2.30 с (4H, CH_2S), 7.15 м (2H, H^6), 7.22 м (2H, H^5), 7.70 м (2H, H^4), 7.76 м (1H, H^7). Спектр ЯМР ^{13}C (ацетон-d_6), δ, м.д. : –1.26 (CH_3), 7.18 (CH_2Si), 15.41 (CH_2S), 23.72 (CH_2), 117.13 (C^4), 123.48 (C^6), 126.98 (C^7), 129.32 (C^5), 130.53 (C^8), 143.25 (C^9), 182.24 (C^2). Спектр ЯМР ^{15}N (ацетон-d_6), δ, м.д.: –184.9. Спектр ЯМР ^{29}Si (ацетон-d_6), δ, м.д.: 6.2. УФ спектр (CH_3CN), $\lambda_{макс}$, нм: 292, 361 (I_3^-). Найдено, %: C 22.86; H 2.45; I 57.58; S 9.34; Si 4.48. $C_{26}H_{34}I_6N_2S_4Si_2$. Вычислено, %: C 23.65; H 2.60; I 57.67; N 2.12; S 9.72; Si 4.25.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследования выполнены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cano N.H., Ballari M.S., López A.G., Santiago A.N. *J. Agric. Food Chem.* **2015**, *63*, 3681. doi 10.1021/acs.jafc.5b00150
2. Azam M.A., Suresh B. *Sci. Pharm*. **2012**, *80*, 789. doi 10.3797/scipharm.1204-27
3. Wang F., Cai Sh., Wang Zh., Xi Ch. *Org. Lett.* **2011**, *13*, 3202. doi 10.1021/ol2011105
4. Chen W., Huang Y., Gundala S.R., Yang H., Li M., Tai P.C., Wang B. *Bioorg. Med. Chem.* **2010**, *18*, 1617. doi 10.1016/j.bmc.2009.12.074

5. Jiang L.-L., Tan Y., Zhu X.-L., Wang Z.-F., Zuo Y., Chen Q., Xi Z., Yang G.-F. *J. Agric. Food Chem.* **2010**, *58*, 2643. doi 10.1021/ jf9026298
6. Cressier D., Prouillac C., Hernander P. *Bioorg. Med. Chem*. **2009**, *7*, 5275. doi 10.1016/j.bmc.2009.05.039
7. Franchini C., Muraglia M., Corbo F., Florio M.A., Mola A.D., Rosato A., Matucci R., Nesi M., Bambeke F., Vitali C. *Arch. Pharm. Chem. Life Sci.* **2009**, *342*, 605. doi 10.1002/ardp.200900092
8. Huang W., Yang G.F. *Bioorg. Med. Chem*. **2006**, *14*, 8280. doi 10.1016/j.bmc.2006.09.016
9. Стрелец Л.Н., Красовский А.Н., Грин В.А., Самура Б.А., Линенко В.И, Звягинцев Ю.Г., Стеблюк П.Н., Сорока И.И., Жила Н.И. *Хим.-фарм. ж.* **1984**, *18*, 946. doi 10.1007/BF00779274
10. Holbova E., Sidoova E., Zemanova M., Drobnicova I. *Chem. Papers*. **1990**, *44*, 363. doi 10.1002/ chin.199119162
11. Ramadas K., Janarthanan N., *Synth Commun.* **1999**, *29*, 1003. doi 10.1080/00397919908086063
12. Lee J.H., Kim J.D. *Bull. Korean Chem. Soc*. **1997**, *18*, 442.
13. Воронков М.Г., Чернов Н.Ф., Трофимова О.М., Аксаментова Т.Н. *Изв. АН. Сер. Хим.*, **1993**, 1965.
14. Zdrahala R.J., Zdrahala I.J. *J. Biomater. Appl*. **1999**, *14*, 67. doi 10.1177/0885322829901400104
15. Bernacca G.M., Straub I., Wheatley D.J. *J. Biomat. Mater. Res*. **2002**, *61*, 138. doi 10.1002/jbm.10149
16. Hyde J.A.J., Chinn J.A., Philips R.E. *J. Heart Valve Dis*. **1999**, *8*, 331.
17. Воронков М.Г., Зелчан Г.И., Лукевиц Э.Я. *Кремний и жизнь*. Рига: Зинатне. **1978**, 588.
18. Hufnagel C.A. *Med. Instrum.* **1977**, *11*, 74.
19. Zhilitskaya L.V., Yarosh N.O., Shagun L.G., Dorofeev I.A., Larina L.I. *Mendeleev Commun*. **2017**, *27*, 352. doi 10.1016/j.mencom.2017.07.010
20. Uhlig W. *J. Organomet. Chem*. **1993**, *452*, 29. doi 10.1016/0022-328X(93)83168-U
21. Воронков М.Г., Милешкевич В.П., Южелевский Ю.А. *Силоксановая связь*. Ред. М.Г. Воронков. Новосибирск: Наука, **1976**, с. 89.
22. Жилицкая Л.В., Ярош Н.О., Шагун Л.Г., Дорофеев И.А., Ларина Л.И. *ХГС*. **2015**, *51*, 381. doi 10.1007/s10593-015-1711-8
23. Ярош Н.О., Жилицкая Л.В., Шагун Л.Г., Дорофеев И.А., Ларина Л.И. *ЖОрХ*. **2017**, *53*, 1053. [Yarosh N.O., Zhilitskaya L.V., Shagun L.G., Dorofeev I.A., Larina L.I. *Russ. J. Org. Chem*. **2017**, *53*, 1066.] doi 10.1134/S107042801707017X
24. Al-Mohammed N.N., Hussen R.S.D., Alias Y., Abdullah Z. *RSC Adv.* **2015**, *5*, 2869. doi 10.1039/ C4RA14027C
25. Myles L., Gore R.G., Gathergood N., Connon S.J. *Green Chem*. **2013**, *15*, 2740. doi: 10.1039/c3gc40975a
26. Ненайденко В.Г., Шевченко Н.Е., Баленкова Е.С. *ЖОрХ*. **1999**, *35*, 275. [Nenajdenko V.G., Shevchenko N.E., Balenkova E.S. *Russ. J. Org. Chem.* **1999**, *35*, 256.]
27. Nenajdenko V.G., Shevchenko N.E., Balenkova E.S. *J. Org. Chem*. **1998**, *63*, 2168. doi 10.1021/jo971801w
28. Nenajdenko V.G., Shevchenko N.E., Balenkova E.S. *Tetrahedron*. **1998**, *54*, 5353. doi 10.1016/S0040-4020 (98)00210-5
29. Jouikov V., Fattahova D. *Electrochim. Acta*. **1998**, *43*, 1811. doi S0013-4686(97)00299-5
30. Reiller P., Mercier-Bion F., Gimenez N., Barre N., Miserque F. *Radiochim. Acta*. **2006**, *94*, 739. doi: 10.1524/ract.2006.94.9.739

Synthesis of *S*- and *S*–*S*-Organosilicon Derivatives of 2-Mercaptobenzothiazole

N. O. Yarosh*, L. V. Zhilitskaya, L. G. Shagun, I. A. Dorofeev, and L. I. Larina

Favorskii Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ul. Favorskogo 1, Irkutsk, 664033 Russia
**e-mail: yarosh.nina@irioch.irk.ru*

Received November 1, 2018; revised May 13, 2019; accepted May 15, 2019

The reaction of 2-mercaptobenzothiazole and di(2-benzothiazolyl)disulfide with iodomethylsilanes, bearing exocyclic and endocyclic silicon atoms, occurs in the presence of molecular iodine to afford organosilicon iodides and polyiodides of benzothiazolium and disulfonium.

Keywords: 2-mercaptobenzothiazole, di(2-benzimidazolyl)disulfide, iodomethyl(dimethyl)phenylsilane, 1-(iodomethyl)-1-methylsilolane disulfonium-dications, polyodides, alkylation