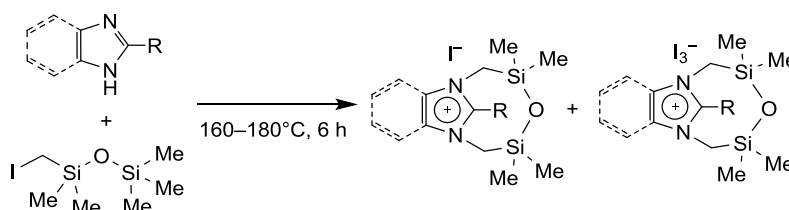


Алкилирование производных имидазола и бензимидазола 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксаном – новый способ получения органоциклоксилановых иодидов

Лариса В. Жилицкая¹, Нина О. Ярош¹, Людмила Г. Шагун^{1*},
Иван А. Дорофеев¹, Людмила И. Ларина¹

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

Поступило 24.02.2015
Принято 9.04.2015



При взаимодействии производных имидазола и бензимидазола с 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксаном происходит N^{1,3}-алкилирование, разрыв силоксановых связей выделившимся в процессе реакции иодоводородом и образование циклических кремнийорганических иодидов и трииодидов.

Ключевые слова: 2-аминобензимидазол, бензимидазол, имидазол, 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксан, 2-метилимидазол, органоциклоксиланы, алкилирование.

Производные имидазола проявляют различные виды биологической активности и входят в состав многих лекарственных средств.¹ Они также являются основой экологически чистых удобрений,² катализаторов в органическом синтезе,³ молекулярных контейнеров,^{4,5} компонентов смесевых отвердителей эпоксидных смол.⁶ Силоксансодержащие иодиды имидазолия используются в качестве растворителей в органическом синтезе,⁷ являясь компонентами при производстве электрохимически стабильных электролитов⁸ и фотоэлектрических элементов.⁹

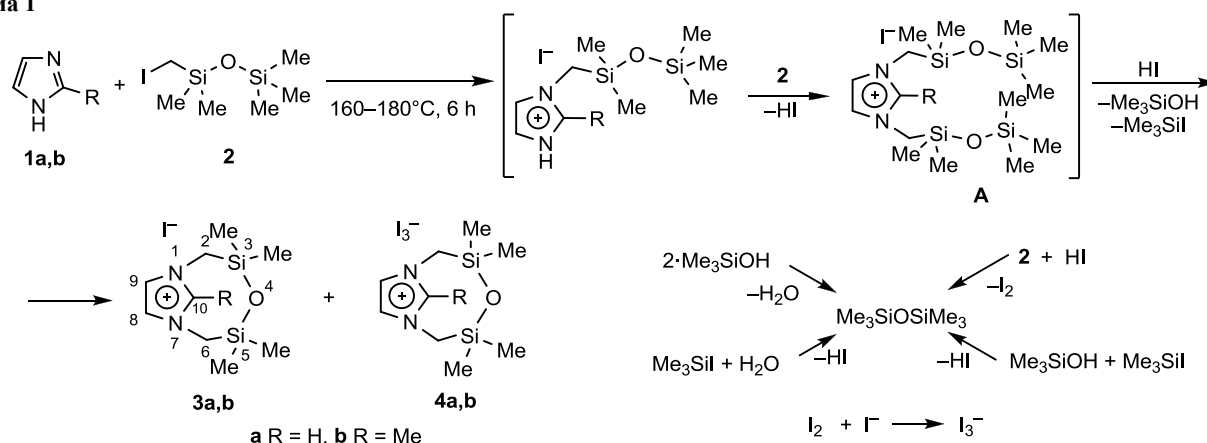
Ранее нами было обнаружено, что алкилирование имидазолов 1,3-бис(иодметил)-1,1,3,3-тетрамилдисилоксаном сопровождается вовлечением в реакцию двух иодметильных групп, что позволяет получать новые типы имидазолофанов с диметил(тетрамил)дисилоксановыми мостиками в одну препаративную стадию.⁵ Мы предполагали, что замена 1,3-бис(иодметил)-1,1,3,3-тетрамилдисилоксана на 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксан, содержащий одну иодметильную группу, позволит получить линейные бифункциональные кремнийорганические производные имидазолов. С этой целью нами изучена реакция имидазола (**1a**), 2-метилимидазола (**1b**), бензимидазола (**1c**) и 2-аминобензимидазола (**1d**) с 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметил-

дисилоксаном (**2**) в отсутствие растворителей и катализаторов при повышенной температуре.

Алкилирование имидазолов **1a, b** иодметилдисилоксаном **2** протекает по обоим атомам азота и неожиданно приводит к циклическим органосилоксановым иодидам и трииодидам 3,3,5,5-тетрамил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (соединения **3a** и **4a**) и 3,3,5,5,10-пентаметил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (соединения **3b** и **4b**) с выходами 64, 10, 62 и 11% соответственно (схема 1). Увеличить выход жидкого трииодида **4b** более чем в два раза удалось при проведении реакции 2-метилимидазола (**1b**) с иодметилдисилоксаном **2** в присутствии эквимолярного количества иода.

Основной причиной образования циклических продуктов, вероятно, является расщепление силоксановых связей аддукта N^{1,3}-алкилирования **A** выделившимся в процессе реакции иодоводородом.¹⁰ В результате последующей внутримолекулярной циклизации происходит элиминирование силанола и иодсилана, которые могут вступать в реакцию с образованием гексамилдисилоксана. Последний также легко образуется в результате реакции конденсации силанола или восстановления иодметильной группы исходного силоксана **2** иодистым водородом. На образование аддукта **A** и

Схема 1



гексаметилдисилоксана указывает наличие сигналов кремния в области 8.6–11.1, 3.6–4.3 и 7.0 м. д. в спектрах ЯМР ²⁹Si, характерных для сигналов кремния OSiMe₃, NCH₂SiMe₂ и (Me₃Si)₂O соответственно.

Для изучения границ применения данной реакции, а также разработки общего метода синтеза циклических органосилоксановых иодидов нами исследовано взаимодействие бензимидазола (**1c**) и 2-аминобензимидазола (**1d**) с силоксаном **2**. Реакция бензимидазола (**1c**) с силоксаном **2** привела к циклическим иодидам (**3c**) и трииодиду 10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (**4c**) с выходами 49 и 28% (схема 2). Наличие ароматического фрагмента в молекуле соединения **1c** позволяет повысить выход жидкого циклического трииодида **4c**, поскольку конденсированный бензольный цикл увеличивает NH-кислотность, способствует N¹-алкилированию азота и элиминированию иодоводорода, необходимого для формирования трииодида. Образовавшийся аддукт **B** далее легко вступает в реакцию кватернизации с силоксаном **2**, приводя к ключевому аддукту N^{1,3}-алкилирования **D**.

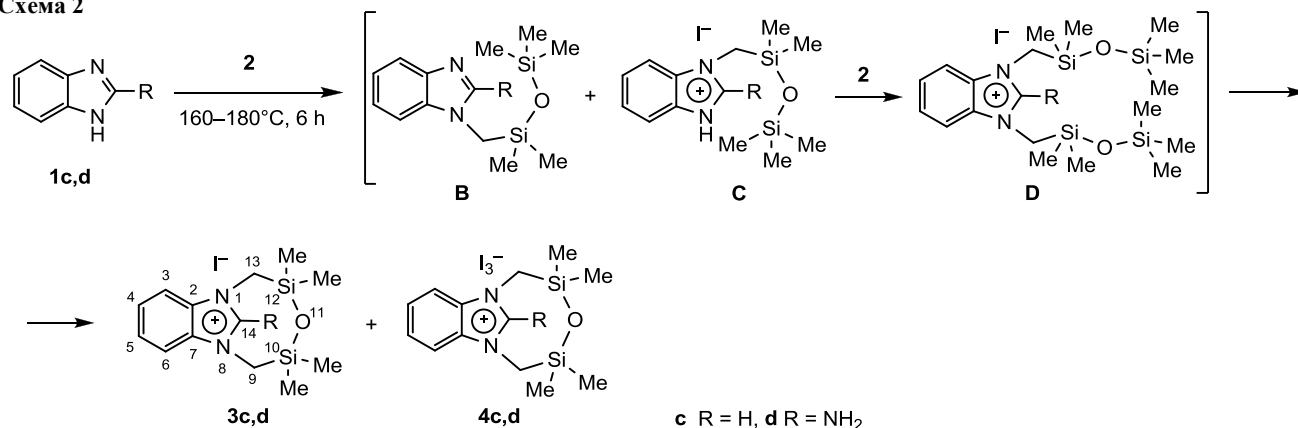
Введение в молекулу бензимидазола аминогруппы увеличивает основность азота, что создает более благоприятные условия для протекания реакции 2-аминобензимидазола (**1d**) с силоксаном **2** преимущественно через стадию N³-алкилирования с образованием аддукта **C**. В этом случае основным продуктом реакции

оказывается иодид 14-амино-10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (**3d**), образующийся с выходом 78% (схема 2).

Не исключено, что алкилирующим агентом в этих реакциях может выступать 1,3-бис(иодметил)-1,1,3,3-тетраметилдисилоксан, образующийся в результате диспропорционирования 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксана (**2**) при действии иодоводорода. Подтверждением этого предположения служит превращение силоксана **2** в 1,3-бис(иодметил)-1,1,3,3-тетраметилдисилоксан при пропускании иодоводорода через нагретый до 160 °C силоксан **2**. При этом в спектрах ЯМР ²⁹Si реакционной смеси наряду с сигналами при 2.8 (CH₂Si) и 8.8 м. д. (Me₃Si) появляются сигналы при 4.2 и 7.0 м. д., соответствующие O(SiMe₂CH₂)₂ и (Me₃Si)₂O.

Формированию трииод-анионов солей **4a–d** способствует появление в реакционной среде элементарного иода – продукта частичного восстановительного деиодирования исходного силоксана **2**. Полученные соединения **3a–d** и **4a–d** очищали, учитывая их существенное различие в растворимости в ацетоне. Иодиды **3a–d** легко осаждались при добавлении ацетона к реакционной смеси. Однако хорошая растворимость иодидов **3a–d** в жидких трииодидах **4a–d** затрудняла их очистку, что потребовало многократного переосаждения смеси.

Схема 2



Совокупность данных элементного анализа, спектроскопии ЯМР ^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{29}Si , ИК и УФ спектроскопии подтверждает состав и строение полученных солей **3a–d** и **4a–d**. В спектрах ЯМР ^1H и ^{13}C соединений **3a–d** и **4a–d** отсутствуют сигналы атомов углерода терминальных триметилсилильных групп. В спектре ЯМР ^{29}Si этих соединений наблюдается один сигнал атома кремния в области 6.4–6.8 м. д., что подтверждает циклическую структуру соединений. Отнесение сигналов протонов изученных соединений проведено с помощью двумерных спектров ^1H – ^{15}N с использованием методики HMBC-*gp* ^1H – ^{15}N . В двумерных спектрах ЯМР ^{15}N синтезированных соединений наблюдаются кросс-пики атомов азота N-1 и N-3 как с протонами азольного цикла, так и с протонами метиленовых фрагментов. УФ спектры всех новых моноиодидов **3a–d** имеют одинаковый вид с максимумами поглощения в области 244–246 нм. В УФ спектрах трииодидов **4a–d** наблюдаются характерные¹¹ для аниона I_3^- полосы поглощения в области 292 и 362 нм.

Таким образом, полученные результаты дают основание полагать, что обнаруженная реакция 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксана с производными азолов может стать общей стратегией синтеза циклических органосилоксановых иодидов и трииодидов.

Экспериментальная часть

ИК спектры зарегистрированы на спектрометре Vertex 70 в KBr (соединения **3a–d**) и в тонком слое (соединения **4a–d**). УФ спектры записаны на спектрометре UV-Vis Lambda 35 в MeCN. Спектры ЯМР ^1H , ^{13}C , ^{29}Si и ^{15}N зарегистрированы на спектрометрах Bruker DPX-400 и Bruker AV-400 (400, 100, 162 и 40 МГц соответственно) в $\text{DMSO}-d_6$ (соединения **3a–d**) или ацетоне- d_6 (соединения **4a–d**) при 298 К. Химические сдвиги сигналов ЯМР ^1H , ^{13}C и ^{29}Si определены относительно TMS с точностью 0.01, 0.02 и 0.1 м. д. соответственно, а сигналы ЯМР ^{15}N – относительно нитрометана с точностью 0.1 м. д. Двумерные спектры ЯМР ^1H – ^{15}N записаны с использованием методики HMBC-*gp* ^1H – ^{15}N . Элементный анализ выполнен на автоматическом CHNS-анализаторе Thermo Scientific Flash 2000. Содержание иода определено меркурометрическим методом объемного анализа, содержание кремния – методом сухого сжигания. Температуры плавления определены на приборе Micro-Hot-Stage PolyTherm A. Контроль за ходом реакций проведен по спектрам ЯМР ^1H , ^{13}C , ^{29}Si и ^{15}N и методом ТСХ на пластинах Silufol UV-254 (элюент ацетон, визуализация хроматограмм парами иода).

Взаимодействие имидазолов 1a–d с 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксаном (2) (общая методика). К 2 экв. 1-(иодметил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксана (**2**) при 100–150 °С добавляют 1 экв. имидазола **1a–d**, перемешивают при температуре 160–180 °С в течение 6 ч до полной конверсии имидазолов **1a–d**. К реакционной смеси добавляют 20 мл ацетона, выпавший осадок продуктов **3a–d** отфильтровывают, промывают ацетоном, эфиром, высушивают. Фильтраты, содержащие соединения **4a–d**, упаривают. Образовав-

шееся красное масло трижды пересаждают из ацетона эфиром (ацетон–эфир, 1:6).

Иодид 3,3,5,5-тетраметил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (3a) получают из 0.20 г (2.9 ммоль) имидазола (**1a**) и 1.69 г (5.8 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.66 г (64%), желтый порошок, т. пл. 55–65 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1057 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.27 (12H, с, 4CH₃); 4.32 (4H, с, 2CH₂); 7.65 (2H, с, H-8,9); 9.54 (1H, с, H-10). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: –1.2 (4CH₃); 41.9 (2CH₂); 119.7 (C-8,9); 134.3 (C-10). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.4. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –204.5. Найдено, %: C 29.90; H 4.85; I 36.00; N 8.10; Si 15.45. $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{IN}_2\text{OSi}_2$. Вычислено, %: C 30.50; H 5.40; I 35.81; N 7.90; Si 15.85.

Трииодид 3,3,5,5-тетраметил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (4a) получают из 0.20 г (2.9 ммоль) имидазола (**1a**) и 1.69 г (5.8 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.18 г (10% в пересчете на силоксан **2**), темно-красное масло. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1057 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.28 (12H, с, 4CH₃); 4.35 (4H, с, 2CH₂); 7.84 (2H, с, H-8,9); 9.53 (1H, с, H-10). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: –1.2 (4CH₃); 41.9 (2CH₂); 119.4 (C-8,9); 134.9 (C-10). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.4. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –204.5. Найдено, %: C 17.50; H 3.39; I 61.90; N 4.54; Si 9.10. $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{I}_3\text{N}_2\text{OSi}_2$. Вычислено, %: C 17.78; H 3.15; I 62.60; N 4.61; Si 9.24.

Иодид 3,3,5,5,10-пентаметил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (3b) получают из 0.20 г (2.4 ммоль) 2-метилимидазола (**1b**) и 1.40 г (4.8 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.56 г (62%). Светло-желтый порошок, т. пл. 195–197 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1057 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.21 (12H, с, 3,3,5,5-CH₃); 2.59 (3H, с, 10-CH₃); 4.00 (4H, с, 2CH₂); 7.64 (2H, с, H-8,9). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: –0.2 (4CH₃); 40.7 (2CH₂); 122.4 (C-8,9); 143.7 (C-10). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.5. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –205.5. Найдено, %: C 31.90; H 5.60; I 34.52; N 7.55; Si 14.90. $\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{IN}_2\text{OSi}_2$. Вычислено, %: C 32.60; H 5.75; I 34.45; N 7.60; Si 15.25.

Трииодид 3,3,5,5,10-пентаметил-4-окса-7-аза-1-азония-3,5-дисилабицикло[5.2.1]дека-1(10),8-диена (4b) получают из 0.20 г (2.4 ммоль) 2-метилимидазола (**1b**) и 1.40 г (4.8 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.17 г (11% в пересчете на силоксан **2**). Темно-красное масло. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1048 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д.: 0.23 (12H, с, 3,3,5,5-CH₃); 2.78 (3H, с, 10-CH₃); 4.07 (4H, с, 2CH₂); 7.54 (2H, с, H-8,9). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: –0.1 (4CH₃); 40.5 (2CH₂); 123.0 (C-8,9); 143.8 (C-10). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.8. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: –207.5. Найдено, %: C 20.12; H 3.50; I 60.67; N 4.86; Si 8.79. $\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{I}_3\text{N}_2\text{OSi}_2$. Вычислено, %: C 19.30; H 3.40; I 61.19; N 4.50; Si 9.02.

Иодид 10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (3c) получают из 0.20 г (1.7 ммоль) бензимидазола (**1c**) и 0.98 г (3.4 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.34 г (49%), желтый порошок, т. пл. 253–255 °С. ИК спектр, ν , cm^{-1} : 1059 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (*J*, Гц): 0.14 (12H, с, 4CH₃); 4.28 (4H, с, 2CH₂);

7.59 (2H, д, $^3J = 7.0$, H-4,5); 7.97 (2H, д, $^3J = 7.0$, H-3,6); 9.48 (1H, с, H-14). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: -0.2 (4CH₃); 40.1 (2CH₂); 114.6 (C-3,6); 126.1 (C-4,5); 140.2 (C-2,7). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.5. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: -221.8. Найдено, %: C 38.08; H 5.02; I 32.14; N 6.69; Si 13.21. C₁₃H₂₁IN₂OSi₂. Вычислено, %: C 38.61; H 5.23; I 31.38; N 6.93; Si 13.89.

Триодид 10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (4с) получают из 0.20 г (1.7 ммоль) бензимидазола (**1с**) и 0.98 г (3.4 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.31 г (28% в пересчете на силоксан **2**), темно-красное масло. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1050 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.15 (12H, с, 4CH₃); 4.49 (4H, с, 2CH₂); 7.62 (2H, д, $^3J = 7.0$, H-4,5); 7.99 (2H, д, $^3J = 7.0$, H-3,6); 9.90 (1H, с, H-14). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: -0.3 (4CH₃); 39.6 (2CH₂); 114.4 (C-3,6); 126.3 (C-4,5); 139.5 (C-2,7). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.8. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д.: -221.7. Найдено, %: C 23.18; H 3.75; I 57.37; N 4.52; Si 8.34. C₁₃H₂₁I₃N₂OSi₂. Вычислено, %: C 23.72; H 3.22; I 57.84; N 4.26; Si 8.53.

Иодид 14-амино-10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (3д) получают из 0.20 г (1.5 ммоль) 2-аминобензимидазола (**1д**) и 0.86 г (3 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.49 г (78%), желтый порошок, т. пл. 210–212 °С. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1058 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.01 (12H, с, 4CH₃); 3.76 (4H, с, 2CH₂); 7.23 (2H, д, $^3J = 7.1$, H-4,5); 7.54 (2H, д, $^3J = 7.1$, H-3,6); 8.52 (2H, с, NH₂). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: -0.2 (4CH₃); 40.0 (2CH₂); 112.0 (C-3,6); 123.2 (C-4,5); 130.2 (C-2,7); 148.9 (C-14). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.5. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д. (J , Гц): -312.0 (д, $J_{\text{NH}} = 88$, NH₂); -260.1 (N-1,8). Найдено, %: C 37.14; H 5.26; I 30.13; N 10.19; Si 13.12. C₁₃H₂₂IN₃OSi₂. Вычислено, %: C 37.23; H 5.29; I 30.26; N 10.02; Si 13.39.

Триодид 14-амино-10,10,12,12-тетраметил-11-окса-8-аза-1-азония-10,12-дисилатрицикло[6.5.10^{2,7}]тетрадека-1(14),2(7),3,5-тетраена (4д) получают из 0.20 г (1.5 ммоль) 2-аминобензимидазола (**1д**) и 0.86 г (3 ммоль) силоксана **2**. Выход 0.05 г (5% в пересчете на силоксан **2**), темно-красное масло. ИК спектр, ν , см⁻¹: 1059 (Si–O–Si). Спектр ЯМР ^1H , δ , м. д. (J , Гц): 0.03 (12H, с, 4CH₃); 3.87 (4H, с, 2CH₂); 7.22 (2H, д, $^3J = 7.1$, H-4,5); 7.52 (2H, д, $^3J = 7.1$, H-3,6); 8.90 (2H, с, NH₂). Спектр ЯМР ^{13}C , δ , м. д.: -0.6 (4CH₃); 36.9 (2CH₂); 112.2 (C-3,6); 124.2 (C-4,5); 130.9 (C-2,7); 150.2 (C-14). Спектр ЯМР ^{29}Si , δ , м. д.: 6.7. Спектр ЯМР ^{15}N , δ , м. д. (J , Гц): -311.8 (д, $J_{\text{NH}} = 88$, NH₂); -258.8 (N-1,8). Найдено, %: C 23.08; H 3.75; I 57.37; N 5.52; Si 8.34. C₁₃H₂₂I₃N₂OSi₂. Вычислено, %: C 23.19; H 3.29; I 56.55; N 6.24; Si 8.34.

Взаимодействие 2-метилимидазола (1б) с 1-(иод-метил)-1,1,3,3,3-пентаметилдисилоксаном (2) в присутствии элементарного иода. Смесь 0.20 г (2.4 ммоль) 2-метилимидазола (**1б**), 1.40 г (4.8 ммоль) силоксана **2** и 0.61 г (2.4 ммоль) элементарного иода перемешивают при температуре 160 °С в течение 6 ч до полной конверсии 2-метилимидазола (**1б**). Избыток элементарного иода из реакционной смеси удаляют экстракцией эфира

в аппарате Сокслета в течение 3 ч (УФ контроль). К остатку добавляют 20 мл ацетона. Выпавший осадок иодида отфильтровывают, промывают ацетоном, эфиром, высушивают. Выход соединения **3б** 0.29 г (32%), светло-желтый порошок. Фильтрат упаривают. Образовавшееся густое масло трижды переосаждают из ацетона эфиром (ацетон–эфир, 1:6) и высушивают. Выход соединения **4б** 0.41 г (27%), темно-красное масло. Физико-химические характеристики иодидов **3б** и три-иодидов **4б**, полученных по обоим методам, совпадают.

Работа выполнена при финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ (НШ-3649.2014.3).

Основные результаты получены с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

Список литературы

- (a) Hay, M. P.; Wilson, W. R.; Denny, W. A. *Tetrahedron* **2000**, *56*, 645. (b) Khabnadideh, S.; Rezaei, Z.; Khalaf-Nezhad, A.; Bahrinajafi, R.; Mohamadi, R.; Farrokhriz, A. A. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **2003**, *13*, 2863. (c) Chan, P. C.; Sills, R. C.; Kissling, G. E.; Nyska, A.; Richter, W. *Arch. Toxicol.* **2008**, *82*, 399. (d) Larina, L. I.; Lopyrev, V. A. *Nitroazoles: Synthesis, Structure and Applications*, Katritzky, A. R., Ed.; Springer: New York, 2009, p. 407. (e) Kanjilal, S.; Sunitha, S.; Reddy, P. S.; Kumar, K. P.; Murty, U. S. N.; Prasad, R. B. N. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* **2009**, *111*, 941. (f) Shinohara, K.-I.; Bando, T.; Sugiyama, H. *Anticancer Drugs* **2010**, *21*, 228. (g) Matsuda, H.; Fukuda, N.; Ueno, T.; Katakawa, M.; Wang, X.; Watanabe, T.; Matsui, S.-I.; Aoyama, T.; Saito, K.; Bando, T.; Matsumoto, Y.; Nagase, H.; Matsumoto, K.; Sugiyama, H. *Kidney Int.* **2011**, *79*, 45.
- Ranu, B. C.; Banerjee, S.; Roy, S. *Indian J. Chem., Sect. B: Org. Chem. Incl. Med. Chem.* **2008**, *47*, 1108.
- Jiang, T.; Ma, X.; Zhou, Y.; Liang, S.; Zhang, J.; Han, B. *Green Chem.* **2008**, *10*, 465.
- (a) Kulikov, D. V.; Karasik, A. A.; Balueva, A.S.; Kataeva, O. N.; Livinov, I. A.; Hey-Hawkins, E.; Sinyashin, O. G. *Mendeleev Commun.* **2007**, *17*, 195. (b) Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Klyba, L. V.; Larina, L. I.; Yarosh, N. O.; Zhilitskaya, L. V.; Sanzheeva, E. R. *Russ. J. Org. Chem.* **2014**, *50*, 1377. [*Журн. орган. химии* **2014**, *50*, 1391.]
- Shagun, L. G.; Dorofeev, I. A.; Zhilitskaya, L. V.; Larina, L. I.; Yarosh, N. O.; Klyba, L. V.; Sanzheeva, E. R. *Mendeleev Commun.* **2015**, *25*, 34.
- Eselev, A. D.; Bobylev, V. A. *Polym. Sci., Ser. D.* **2013**, *6*, 63. [*Клеи. Герметики. Технологии* **2012**, *25*.]
- Hua, Y.; Chenzhong, C.; Rongjin Z. *Comp. Appl. Chem. (China)* **2009**, *26*, 534.
- Zhang, Z.; Weng, W.; Zhang L.; Amine, K. US Patent 20120082903.
- Lee, S.; Jeon, Y.; Lim, Y.; Hossain, A.; Lee, S.; Cho, Y.; Ju, H.; Kim, W. *Electrochim. Acta* **2013**, *107*, 675. (b) Kim, G. B.; Kim, I. J.; Kim, H. G.; Seo, D. W.; Lim, Y. D.; Lee, S. H. Korean Patent 2012007172. (c) Zhang, Z.; Weng, W.; Zhang L.; Amine, K. US Patent 20120082903.
- Воронков, М. Г.; Милешкевич, В. П.; Южелевский, Ю. А. *Силоксановая связь*, Воронков, М. Г., Ред.; Наука: Новосибирск, 1976, с. 89.
- Reiller, P.; Mercier-Bion, F.; Gimenez, N.; Barré, N.; Miserque, F. *Radiochim. Acta* **2006**, *94*, 739.