

УДК 547.379

## РЕАКЦИИ АЛКОКСИТЕЛЛУРИРОВАНИЯ СТИРОЛА ТЕТРАГАЛОГЕНИДАМИ ТЕЛЛУРА

© 2019 г. В. А. Потапов<sup>a, \*</sup>, А. Г. Хабибулина<sup>a</sup>, С. И. Удалова<sup>a</sup>, М. В. Мусалов<sup>a</sup>,  
М. В. Мусалова<sup>a</sup>, И. В. Шкурченко<sup>b</sup>, А. И. Албанов<sup>a</sup>, С. В. Амосова<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Иркутский институт химии имени А. Е. Фаворского Сибирского отделения Российской академии наук,  
ул. Фаворского 1, Иркутск, 664033 Россия

\*e-mail: v\_a\_potapov@iriioch.irk.ru

<sup>b</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Поступило в Редакцию 27 мая 2019 г.

После доработки 27 мая 2019 г.

Принято к печати 31 мая 2019 г.

На основе реакций алкоксителлурирования стирола тетрахлоридом и тетрабромидом теллура в присутствии спиртов разработаны эффективные методы синтеза ранее неизвестных трихлор- и трибром(2-алкокси-2-фенилэтил)- $\lambda^4$ -телланов выходами 90–100%. Восстановлением телланов в системах  $\text{NaBH}_4$ – $\text{H}_2\text{O}$ –ТГФ и  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ – $\text{H}_2\text{O}$ – $\text{C}_6\text{H}_6$  с выходами до 95% получены бис(2-алкокси-2-фенилэтил)дителланы.

**Ключевые слова:** алкоксителлурирование, стирол, тетрабромид теллура, тетрахлорид теллура, телланы, дителланы

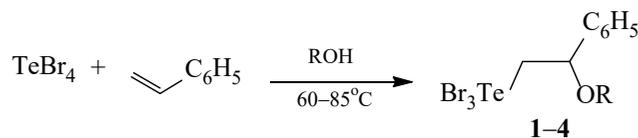
**DOI:** 10.1134/S0044460X19100196

В последнее время появилось много новых данных о полезных свойствах теллурурганических соединений, что вызвало значительный рост интереса ученых к этому классу соединений [1–6]. Обнаружены теллурурганические соединения с высокой биологической активностью при низкой токсичности [3–6]. Присоединением тетрахлорида теллура к ненасыщенным функциональным соединениям получены вещества с высокой антивирусной и противомаларийной активностью [3–5]. Разработан новый подход к исследованию структуры белков и ферментов методом рентгеноструктурного анализа на основе биоинкорпорирования в структуру белков теллурометионина [3]. Препарат AS101, полученный на основе тетрахлорида теллура, прошел клинические испытания и рекомендован для лечения псориаза, а также раковых заболеваний в сочетании с противоопухолевыми препаратами [6].

Нами систематически изучаются реакции тетрагалогенидов теллура с ненасыщенными со-

единениями с целью разработки эффективных методов синтеза новых теллурурганических соединений с практически полезными свойствами [7–14]. Установлено, что реакции метокси- и этоксителлурирования 1-алкенов и аллилбензола тетрабромидом теллура при нагревании реагентов в соответствующем спирте приводят к образованию трибром-(2-алкоксиалкил)- $\lambda^4$ -телланов с высоким выходом [9–13]. Реакции изопропокси- и бутоксителлурирования 1-алкенов в литературе не описаны. Нами также показана возможность метоксителлурирования стирола тетрабромидом теллура с образованием трибром-(2-метокси-2-фенилэтил)- $\lambda^4$ -теллана **1** с выходом 97% при нагревании (60–64°C) реагентов в течение 6 ч в метаноле (схема 1) [14]. Реакции алкоксителлурирования стирола и его производных тетрахлоридом теллура в литературе не описаны. Целью настоящей работы является синтез новых функциональных теллурурганических соединений на основе реакций алкоксителлурирования стирола тетрахлоридом

Схема 1.



R = Me (1), Et (2), *i*-Pr (3), Bu (4).

и тетрабромидом теллура в присутствии спиртов (метанола, этанола, изопропанола и 1-бутанола).

Реакции алкоксителлурирования стирола тетрабромидом теллура проводили при нагревании реагентов в соответствующем спирте: этаноле (60–70°C), изопропаноле (70–80°C) и 1-бутаноле (75–85°C). В результате были получены новые трибром-(2-алкокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-телланы **2–4** с выходами 90–96%.

С увеличением длины углеводородной цепи алканола и степени разветвления выход целевых продуктов несколько уменьшается при переходе от этанола (96%) к изопропанолу (92%) и 1-бутанолу (90%). Кроме того, указанные выходы в реакциях с изопропанолом и 1-бутанолом достигаются при более сильном нагревании и увеличении времени реакции с 6 ч (в случае MeOH) до 18–24 ч.

Поскольку связь Te–Cl в тетрахлориде теллура менее устойчива к алкоголизу, чем связь Te–Br в тетрабромиде теллура, алкоксителлурирование стирола тетрахлоридом теллура невозможно провести в спирте из-за алкоголиза TeCl<sub>4</sub>.

Ранее было установлено, что продукты алкоксителлурирования 1-алкенов тетрахлоридом теллура селективно образуются в результате двух последовательных реакций: присоединения тетрахлорида теллура к двойной связи с образованием продуктов хлортеллурирования и последующей реакции нуклеофильного замещения под действием метанола или этанола и образованием трихлор-(2-алкоксиалкил)-λ<sup>4</sup>-телланов [11]. Однако в случае стирола селективно получить продукты присоединения тетрагалогенидов теллура к двойной связи

не удастся, поскольку уже при комнатной температуре эти соединения разлагаются с образованием побочных веществ.

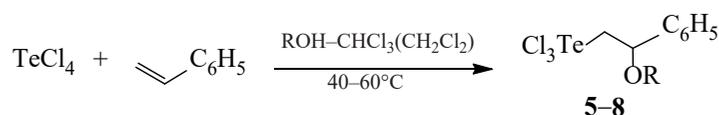
Установлено, что реакции алкоксителлурирования стирола тетрахлоридом теллура эффективно реализуются в системах ROH–CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> и ROH–CHCl<sub>3</sub> при объемном соотношении 1:4 при кипячении в смеси растворителей (схема 2).

На основе этих реакций разработаны эффективные способы получения ранее неизвестных трихлор-(2-алкокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-телланов **5–8** с высокими выходами. Как и в случае тетрабромидом теллура, выход продуктов реакции несколько снижается при удлинении или разветвлении алкильной группы спирта: 100% (**5**) > 97% (**6**) > 93% (**7**) > 90% (**8**). Если в системе MeOH–CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> реакция эффективно идет при нагревании до ~40°C, то в случае других спиртов требуется нагревание в системе MeOH–CHCl<sub>3</sub> до ~60°C и увеличение времени реакции с 12 (MeOH) до 15 (EtOH), 21 (*i*-PrOH) и 24 ч (BuOH).

Реакции алкоксителлурирования стирола как тетрабромидом, так и тетрахлоридом теллура характеризуются высокой хемо- и региоселективностью, причем наблюдается образование исключительно продуктов присоединения по правилу Марковникова.

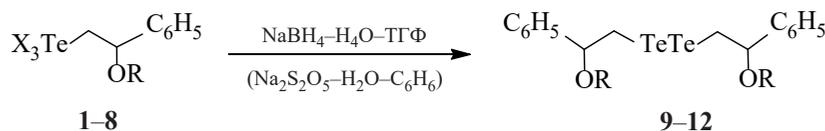
Восстановлением телланов **5–8** в растворе бензола под действием водного раствора метабисульфита натрия при комнатной температуре получены бис(2-алкокси-2-фенилэтил)дителланы **9–12** с выходами 78–84% (схема 3).

Схема 2.



R = Me (5), Et (6), *i*-Pr (7), Bu (8).

Схема 3.



X = Br (1–4), Cl (5–8); R = Me (1, 5, 9), Et (2, 6, 10), *i*-Pr (3, 7, 11), Bu (4, 8, 12).

Более эффективным восстановителем является боргидрид натрия [15]. При восстановлении соединений 5–8 в растворе ТГФ водным раствором NaBH<sub>4</sub> при 0°C выход дителланов 9–12 достигает 90–95% (схема 3). При восстановлении боргидридом натрия трибромтелланов 1–4 в аналогичных условиях выходы дителланов 9–12 составили 88–94%.

Строение синтезированных соединений доказано методом ЯМР <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C и подтверждено данными элементного анализа. Высокие значения химических сдвигов атома углерода групп CH<sub>2</sub>TeBr<sub>3</sub> (~66–68 м. д.) и CH<sub>2</sub>TeCl<sub>3</sub> (~70–71.4 м. д.) в спектрах ЯМР <sup>13</sup>C соединений 1–8 аналогичны таковым в спектрах ЯМР <sup>13</sup>C продуктов метокси- и этоксителлурирования алкенов тетрагалогенидами теллура [9–14] и обусловлены сильным электроноакцепторным эффектом тригалогентелланильных заместителей. Восстановление соединений 1–8 в дителланы 9–12 приводит к сильнополюному сдвигу сигналов CH<sub>2</sub>Te-группы до 15.3–16.6 м. д.

Для ряда полученных соединений измерена константа спин-спиновой взаимодействия атома углерода CH<sub>2</sub>-группы с атомом теллура. Ее значения для метоксипроизводных составляют 142 (5) и 185 Гц (9) и соответствуют прямой КССВ (<sup>1</sup>J<sub>СТе</sub>) [9–13]. Данные значения указывают на присоединение атома теллура к терминальному атому углерода двойной связи стирола и образование продуктов по правилу Марковникова.

Таким образом, впервые систематически изучены реакции алкоксителлурирования стирола тетрагалогенидами теллура. На основе реакций алкоксителлурирования и восстановления разработаны эффективные способы получения ранее неизвестных телланов и дителланов – перспективных полупродуктов для получения новых теллуорорганических соединений и синтонов для органического синтеза.

Получение теллана 1 и его спектральные характеристики описаны в работе [14].

**Трибром-(2-этокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (2).** К смеси 0.894 г (2 ммоль) тетрабромид теллура и 20 мл этанола добавляли по каплям раствор 0.22 г (2.1 ммоль) стирола в 5 мл метанола. Реакционную смесь нагревали при 60–70°C в течение 12 ч при перемешивании. Смесь фильтровали, растворитель удаляли, остаток сушили в вакууме. Выход 0.99 г (96%), твердое серо-желтое вещество, т. пл. 129–130°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. (*J*, Гц): 1.05 т (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 7.0), 3.49 к (2H, OCH<sub>2</sub>, *J* = 7.0), 4.48–4.55 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 4.62–4.69 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 5.17–5.23 м (1H, OCH), 7.22–7.34 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (ДМСО-*d*<sub>6</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 15.7 (CH<sub>3</sub>), 63.9 (OCH<sub>2</sub>), 66.1 (TeCH<sub>2</sub>), 78.6 (OCH), 126.5 (Ph), 128.3 (Ph), 129.3 (Ph), 142.8 (Ph). Найдено, %: C 22.97; H 2.71; Br 46.14; Te 24.41. C<sub>10</sub>H<sub>13</sub>Br<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: C 23.25; H 2.54; Br 46.41; Te 24.70.

**Трибром-(2-изопропокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (3)** получали аналогично. Время реакции – 18 ч, 70–80°C. Выход 0.98 г (92%), твердое серо-желтое вещество, т. пл. 135–136°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. (*J*, Гц): 1.01 д (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 6.0), 1.21 д (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 6.0), 3.68 к (1H, OCH, *J* = 6.0), 4.53–4.60 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 4.65–4.72 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 5.35–5.42 м (1H, OCH), 7.25–7.45 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (ДМСО-*d*<sub>6</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 21.0 (CH<sub>3</sub>), 22.3 (CH<sub>3</sub>), 67.5 (TeCH<sub>2</sub>), 70.1 (OCH), 78.8 (OCH), 126.6 (Ph), 128.6 (Ph), 129.5 (Ph), 142.8 (Ph). Найдено, %: C 25.18; H 3.02; Br 44.89; Te 23.81. C<sub>11</sub>H<sub>15</sub>Br<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: C 24.90; H 2.85; Br 45.18; Te 24.05.

**Трибром-(2-бутокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (4)** получали аналогично. Время реакции – 24 ч, 75–85°C. Выход 0.98 г (90%), твердое серо-желтое вещество, т. пл. 124–125°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (ДМСО-*d*<sub>6</sub>), δ, м. д. (*J*, Гц): 0.99 т (3H, CH<sub>3</sub>, *J* =

7.0), 1.35–1.45 м (2H, CH<sub>2</sub>), 1.52–1.62 м (2H, CH<sub>2</sub>), 3.16–3.26 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 3.45–3.55 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 3.90–4.12 м (2H, OCH<sub>2</sub>), 5.36–5.42 м (1H, OCH), 7.36–7.50 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (DMCO-*d*<sub>6</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 14.4 (CH<sub>3</sub>), 19.4 (CH<sub>2</sub>), 32.1 (CH<sub>2</sub>), 66.4 (OCH<sub>2</sub>), 67.9 (TeCH<sub>2</sub>), 78.6 (OCH), 126.6 (Ph), 128.3 (Ph), 129.3 (Ph), 142.9 (Ph). Найдено, %: 26.73; Н 3.28; Br 43.73; Te 23.72. C<sub>12</sub>H<sub>17</sub>Br<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: С 26.47; Н 3.15; Br 44.02; Te 23.43.

**Трихлор(2-метокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (5).** К смеси 0.539 г (2 ммоль) тетрахлорида теллура и 20 мл хлористого метилена добавляли по каплям раствор 0.22 г (2.1 ммоль) стирола в 5 мл метанола. Реакционную смесь кипятили при перемешивании в течение 12 ч. Растворитель удаляли, остаток сушили в вакууме. Выход 0.738 г (100%), твердое светло-серое вещество, т. пл. 126–127°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 3.47 с (3H, OCH<sub>3</sub>), 4.44–4.49 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 4.60–4.67 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 5.19–5.25 м (1H, OCH), 7.42–7.59 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д. (*J*, Гц): 58.1 (OCH<sub>3</sub>), 70.4 д (TeCH<sub>2</sub>, <sup>1</sup>*J*<sub>CTe</sub> = 142.0), 79.3 (OCH), 127.0 (Ph), 128.9 (Ph), 129.4 (Ph), 137.1 (Ph). Найдено, %: С 28.98; Н 2.89; Cl 29.10; Te 34.28. C<sub>9</sub>H<sub>11</sub>Cl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: С 29.28; Н 3.00; Cl 28.81; Te 34.57.

**Трихлор(2-этокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (6).** К смеси 0.539 г (2 ммоль) тетрахлорида теллура и 20 мл хлороформа добавляли по каплям раствор 0.22 г (2.1 ммоль) стирола в 5 мл этанола. Реакционную смесь кипятили при перемешивании в течение 15 ч. Смесь фильтровали, растворитель удаляли, остаток сушили в вакууме. Выход 0.743 г (97%), твердое светло-серое вещество, т. пл. 112–113°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. (*J*, Гц): 1.11 т (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 7.0), 3.47–3.53 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 3.58–3.64 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 4.29 к (2H, OCH<sub>2</sub>, *J* = 7.0), 5.20–5.28 м (1H, OCH), 7.34–7.53 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 14.6 (CH<sub>3</sub>), 67.6 (OCH<sub>2</sub>), 70.1 (TeCH<sub>2</sub>), 77.9 (OCH), 127.3 (Ph), 128.3 (Ph), 129.9 (Ph), 137.1 (Ph). Найдено, %: С 31.07; Н 3.61; Cl 28.04; Te 33.59. C<sub>10</sub>H<sub>13</sub>Cl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: С 31.35; Н 3.42; Cl 27.76; Te 33.30.

**Трихлор(2-изопропокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (7)** получали аналогично при использовании изопропанола вместо этанола; время реакции – 21 ч. Выход 0.739 г (93%), твердое светло-серое

вещество, т. пл. 119–120°C (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 1.02 д (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 6.0), 1.21 д (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 6.0), 3.74 к (1H, OCH, *J* = 6.0), 4.38–4.52 м (2H, TeCH<sub>2</sub>), 5.36–5.41 м (1H, OCH), 7.30–7.49 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 20.9 (CH<sub>3</sub>), 22.5 (CH<sub>3</sub>), 71.4 (TeCH<sub>2</sub>), 74.3 (OCH), 75.8 (OCH), 127.9 (Ph), 128.4 (Ph), 129.8 (Ph), 138.0 (Ph). Найдено, %: С 32.98; Н 3.69; Cl 26.97; Te 31.83. C<sub>11</sub>H<sub>15</sub>Cl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: С 33.26; Н 3.81; Cl 26.78; Te 32.13.

**Трихлор(2-бутокси-2-фенилэтил)-λ<sup>4</sup>-теллан (8)** получен аналогично синтезу теллана **6** при использовании 1-бутанола вместо этанола (время реакции 24 ч). Выход 0.74 г (90%), твердое светло-серое вещество, т. пл. 105–106 °С (разл.). Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д. (*J*, Гц): 1.01 т (3H, CH<sub>3</sub>, *J* = 7.0), 1.34–1.43 м (2H, CH<sub>2</sub>), 1.45–1.55 м (2H, CH<sub>2</sub>), 3.36–3.42 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 3.56–3.65 м (1H, TeCH<sub>2</sub>), 4.12–4.28 м (2H, OCH<sub>2</sub>), 5.29–5.34 м (1H, OCH), 7.36–7.50 м (5H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 14.4 (CH<sub>3</sub>), 19.4 (CH<sub>2</sub>), 34.2 (CH<sub>2</sub>), 65.0 (OCH<sub>2</sub>), 71.1 (TeCH<sub>2</sub>), 78.8 (OCH), 127.7 (Ph), 129.8 (Ph), 130.1 (Ph), 139.1 (Ph). Найдено, %: 34.78; Н 3.98; Cl 26.12; Te 30.73. C<sub>12</sub>H<sub>17</sub>Cl<sub>3</sub>O<sub>2</sub>Te. Вычислено, %: С 35.05; Н 4.17; Cl 25.86; Te 31.03.

**Бис(2-метокси-2-фенилэтил)дителлурид (9).** К охлажденному до 0–3°C раствору 0.554 г (1.5 ммоль) теллана **5** в 20 мл тетрагидрофурана добавляли по каплям раствор 0.19 г (5 ммоль) NaBH<sub>4</sub> в 10 мл воды в течение 5 мин. Реакционную смесь перемешивали 2 ч при 0–3°C и еще 1 ч, постепенно повышая температуру до комнатной. Тетрагидрофуран удаляли, остаток экстрагировали хлористым метиленом (3 × 10 мл). Растворитель удаляли, остаток сушили в вакууме. Выход 0.375 г (95%), темно-красное масло. При восстановлении теллана **5** под действием Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub> дителлурид **9** получен с выходом 84%. При восстановлении теллана **1** боргидридом натрия дителлурид **9** получен с выходом 94%. Спектр ЯМР <sup>1</sup>H (CDCl<sub>3</sub>), δ, м. д.: 3.21 с (6H, OCH<sub>3</sub>), 3.33–3.39 м (2H, TeCH<sub>2</sub>), 3.52–3.59 м (2H, TeCH<sub>2</sub>), 4.21–4.27 м (2H, OCH), 7.20–7.32 м (10H, Ph). Спектр ЯМР <sup>13</sup>C (CDCl<sub>3</sub>), δ<sub>C</sub>, м. д.: 15.4 д (TeCH<sub>2</sub>, <sup>1</sup>*J*<sub>CTe</sub> = 185.0), 56.8 (OCH<sub>3</sub>), 85.3 (OCH), 126.5 (Ph), 127.9 (Ph), 129.0 (Ph), 141.8 (Ph). Найдено, %: С 40.85; Н 3.97; Te 48.86. C<sub>18</sub>H<sub>22</sub>O<sub>2</sub>Te<sub>2</sub>. Вычислено, %: С 41.14; Н 4.22; Te 48.56.

**Бис(2-этокси-2-фенилэтил)дителлурид (10)**. К 0.766 г (2 ммоль) теллана **6** добавляли 15 мл бензола и раствор 2 г (10.5 ммоль)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  в 15 мл воды. Реакционную смесь перемешивали 2 ч при комнатной температуре. Отделяли органическую фазу, сушили  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , растворитель удаляли, остаток сушили в вакууме. Получили 0.443 г (80%) дителлурида **10** в виде темно-красного масла. При восстановлении телланов **2** и **6** боргидридом натрия в аналогичных условиях дителлурид **10** получен с выходами 91 и 92% соответственно. Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.07 т (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $J = 7.0$ ), 3.28–3.41 м (4H,  $\text{TeCH}_2$ ), 3.58–3.71 м (4H,  $\text{OCH}_2$ ), 4.22–4.31 м (2H,  $\text{OCH}$ ), 7.31–7.49 м (10H, Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 15.3 ( $\text{CH}_3$ ), 66.7 ( $\text{OCH}_2$ ), 68.5 ( $\text{TeCH}_2$ ), 79.8 ( $\text{OCH}$ ), 126.3 (Ph), 127.8 (Ph), 128.7 (Ph), 142.8 (Ph). Найдено, %: С 43.66; Н 4.92; Те 45.81.  $\text{C}_{20}\text{H}_{26}\text{O}_2\text{Te}_2$ . Вычислено, %: С 43.39; Н 4.73; Те 46.10.

**Бис(2-изопропокси-2-фенилэтил)дителлурид (11)** получали аналогично восстановлением телланов **3** (выход 90%) и **7** (выход 91%) боргидридом натрия или восстановлением теллана **7** под действием  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (выход 81%). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 1.01 д (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $J = 6.0$ ), 1.11 д (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $J = 6.0$ ), 3.33–3.40 м (2H,  $\text{TeCH}_2$ ), 3.44–3.51 м (2H,  $\text{OCH}$ ), 3.44–3.51 м (2H,  $\text{TeCH}_2$ ), 4.49–4.55 м (2H,  $\text{OCH}$ ), 7.20–7.35 м (10H, Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta_{\text{C}}$ , м. д. ( $J$ , Гц): 16.6 д ( $\text{TeCH}_2$ ,  $^1J_{\text{CTe}} = 189.0$ ), 21.6, 23.3 ( $\text{CH}_3$ ), 69.7 ( $\text{OCH}$ ), 80.7 ( $\text{OCH}$ ), 126.3 (Ph), 127.7 (Ph), 128.5 (Ph), 142.9 (Ph). Найдено, %: С 45.68; Н 5.01; Те 44.09.  $\text{C}_{22}\text{H}_{30}\text{O}_2\text{Te}_2$ . Вычислено, %: С 45.43; Н 5.20; Те 43.87.

**Бис(2-бутокси-2-фенилэтил)дителлурид (12)** получали аналогично восстановлением телланов **4** (выход 88%) и **8** (выход 90%) боргидридом натрия или восстановлением теллана **8** под действием  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$  (выход 78%). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta$ , м. д. ( $J$ , Гц): 0.90 т (6H,  $\text{CH}_3$ ,  $J = 7.0$ ), 1.35–1.45 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 1.46–1.56 м (4H,  $\text{CH}_2$ ), 3.12–3.43 м (6H,  $\text{TeCH}_2$ ,  $\text{OCH}_2$ ), 3.53–3.59 м (2H,  $\text{OCH}_2$ ), 4.30–4.39 м (2H,  $\text{OCH}$ ), 7.06–7.28 м (10H, Ph). Спектр ЯМР  $^{13}\text{C}$  ( $\text{CDCl}_3$ ),  $\delta_{\text{C}}$ , м. д.: 14.3 ( $\text{CH}_3$ ), 16.2 ( $\text{TeCH}_2$ ), 16.8 ( $\text{CH}_2$ ), 32.3 ( $\text{CH}_2$ ), 68.9 ( $\text{OCH}_2$ ), 83.8 ( $\text{OCH}$ ), 126.5 (Ph), 127.8 (Ph), 128.7 (Ph), 142.6 (Ph). Найдено, %: С 46.98; Н 5.82; Те 42.12.  $\text{C}_{24}\text{H}_{34}\text{O}_2\text{Te}_2$ . Вычислено, %: С 47.28; Н 5.62; Те 41.85.

Спектры ЯМР сняты на приборе Bruker DPX-400 на рабочих частотах 400.13 ( $^1\text{H}$ ) и 100.61 ( $^{13}\text{C}$ ), внутренний стандарт – ГМДС. Элементный анализ выполнен на анализаторе THERMO Flash EA1112.

#### ФОНДОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-03-01007\_a) с использованием материально-технической базы Байкальского аналитического центра коллективного пользования СО РАН.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Petragnani N., Stefani H.A.* // Tetrahedron. 2005. Vol. 61. N 7. P. 1613. doi 10.1016/j.tet.2004.11.076
2. *Nomoto A., Ogawa A.* In: Patai's Chemistry of Functional Groups. The Chemistry of Organic Selenium and Tellurium Compounds / Ed. Z. Rappoport. Chichester: John Wiley & Sons, 2012. Vol. 3. P. 623. doi 10.1002/9780470682531.pat0577
3. *Ba L.A., Döring M., Jamier V., Jacob C.* // Org. Biomol. Chem. 2010. Vol. 8. P. 4203. doi 10.1039/c0Ob00086h
4. *Tiekink E.R.T.* // Dalton Trans. 2012. Vol. 41. P. 6390. doi 10.1039/C2DT12225A
5. *Cunha R.L.O.R., Gouvea I.E., Juliano L.* // Ann. Braz. Acad. Sci. 2009. Vol. 81. P. 393. doi 10.1590/S0001-37652009000300006
6. *Halpern G., Sredni B.* // Autoimmun. Rev. 2014. Vol. 13. P. 1230. doi 10.1016/j.autrev.2014.08.003
7. *Potapov V.A., Musalov M.V., Musalova M.V., Amosova S.V.* // Curr. Org. Chem. 2016. Vol. 20. P. 136. doi 10.2174/1385272819666150810222454
8. *Мусалова М.В., Потанов В.А., Мусалов М.В., Амосова С.В.* // Изв. АН. Сер. хим. 2012. С. 2340; *Musalova M.V., Potapov V.A., Musalov M.V., Amosova S.V.* // Russ. Chem. Bull. 2012. Vol. 61. P. 2363. doi 10.1007/s11172-012-0333-x
9. *Потанов В.А., Мусалова М.В., Мусалов М.В., Амосова С.В.* // ЖОрХ. 2013. Т. 49. С. 1719; *Potapov V.A., Musalova M.V., Musalov M.V., Amosova S.V.* //

- Russ. J. Org. Chem. 2013. Vol. 49. P. 1703. doi 10.1134/S1070428013110237
10. Мусалова М.В., Удалова С.И., Мусалов М.В., Потанов В.А., Амосова С.В. // ЖОрХ. 2016. Т. 52. С. 1516; Musalova M.V., Udalova S.I., Musalov M.V., Potapov V.A., Amosova S.V. // Russ. J. Org. Chem. 2016. Vol. 52. P. 1509. doi 10.1134/S1070428016100225
11. Potapov V.A., Musalova M.V., Udalova S.I., Musalov M.V., Khabibulina A.G., Amosova S.V. // Arkivoc. 2017. N iii. P. 326. doi 10.24820/ark.5550190.p010.272
12. Мусалова М.В., Мусалов М.В., Удалова С.И., Хабibuлина А.Г., Албанов А.И., Потанов В.А., Амосова С.В. // ЖОрХ. 2018. Т. 54. С. 528; Musalova M.V., Musalov M.V., Udalova S.I., Khabibulina A.G., Albanov A.I., Potapov V.A., Amosova S.V. // Russ. J. Org. Chem. 2018. Vol. 54. P. 526. doi 10.1134/S1070428018040024
13. Удалова С.И., Мусалова М.В., Мусалов М.В., Потанов В.А., Амосова С.В. // ЖОрХ. 2017. Т. 53. С. 647; Udalova S.I., Musalova M.V., Musalov M.V., Potapov V.A., Amosova S.V. // Russ. J. Org. Chem. 2017. Vol. 53. P. 652. doi 10.1134/S1070428017050025
14. Мусалова М.В., Мусалов М.В., Потанов В.А., Амосова С.В. // ЖОрХ. 2017. Т. 53. С. 297; Musalova M.V., Musalov M.V., Potapov V.A., Amosova S.V. // Russ. J. Org. Chem. 2017. Vol. 53. P. 299. doi 10.1134/S1070428017020270
15. Chieffi A., Menezes P.H., Comasseto J.V. // Organometallics. 1997. Vol. 16. P. 809. doi 10.1021/om960409q

## Alkoxytelluration of Styrene with Tellurium Tetrahalides

V. A. Potapov<sup>a, \*</sup>, A. G. Khabibulina<sup>a</sup>, S. I. Udalova<sup>a</sup>, M. V. Musalov<sup>a</sup>, M. V. Musalova<sup>a</sup>, I. V. Shkurchenko<sup>b</sup>, A. I. Albanov<sup>a</sup>, and S. V. Amosova<sup>a</sup>

<sup>a</sup> A.E. Favorskii Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Favorskogo 1, Irkutsk, 664033 Russia

\*e-mail: v\_a\_potapov@irioch.irk.ru

<sup>b</sup> Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

Received May 27, 2019; revised May 27, 2019; accepted May 31, 2019

Based on the alkoxytelluration reactions of styrene with tellurium tetrachloride and tellurium tetrabromide in the presence of alcohols, efficient methods were developed for the synthesis of previously unknown trichloro- and tribromo-(2-alkoxy-2-phenylethyl)- $\lambda^4$ -tellanes in 90–100% yields. The reduction of tellanes in  $\text{NaBH}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$ -THF and  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ - $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{C}_6\text{H}_6$  systems affords bis(2-alkoxy-2-phenylethyl)ditellanes in 95% yields.

**Keywords:** alkoxytelluration, styrene, tellurium tetrabromide, tellurium tetrachloride, tellanes, ditellanes