

# Синтез и реакции органических соединений, содержащих связь Te – элемент 14-й группы

И.Д.Садеков

*Научно-исследовательский институт физической и органической химии  
Ростовского государственного университета  
344090 Ростов-на-Дону, просп. Ставки, 194/2, факс (863)243–4667*

Систематизированы и обобщены сведения по синтезу и реакциям органических соединений, содержащих связи Te – элемент 14 группы. Представлены данные по использованию этих веществ для получения элементоорганических соединений, комплексов с теллуроганическими лигандами, теллурсодержащих кластеров и теллуридов металлов.

Библиография — 99 ссылок.

## Оглавление

I. Введение	113
II. Синтез и реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ( $E = Si, Ge, Sn, Pb$ )	113
III. Методы получения и реакции соединений $(R_3E)_2Te$	117
IV. Другие типы нециклических соединений со связью Te – E	122
V. Циклы, содержащие связи Te – E	122
VI. Заключение	123

## I. Введение

В принципе, возможно существование четырех типов истинных (содержащих по меньшей мере одну связь Te – C) теллуроганических соединений с элементами 14-й группы —  $(R^1Te)_4E$ ,  $(R^1Te)_3ER^2$ ,  $(R^1Te)_2ER_2^2$  и  $R^1TeER_3^2$  ( $R^1 = Alk, Ar; R^2 = H, Alk, Ar; E = Si, Ge, Sn, Pb$ ). Наиболее изученными из них являются теллуриды  $R^1TeER_3^2$ . Соединения  $(TeR)_4E$  до сих пор не описаны, а остальные два типа представлены единичными примерами. Производные  $(R_3E)_2Te$ , методы получения и реакции которых близки к таковым для теллуридов  $R^1TeER_3^2$ , также рассмотрены в данном обзоре.

Интерес к соединениям  $R^1TeER_3^2$  и  $(R_3E)_2Te$  обусловлен тем, что они, особенно в последнее время, находят все большее применение для синтеза органических и неорганических производных теллура. Перфторалкил(триметилстаннил)теллуриды ( $R_FTeSnMe_3$ ) используют для получения теллурокетонов и неизвестных ранее теллурациклов.<sup>1–3</sup> Соединения  $R^1TeER_3^2$  применяют в качестве синтетических эквивалентов органилтеллуролят-анионов  $RTe^-$ , легко окисляющихся на воздухе и используемых только *in situ*.<sup>4–9</sup> С помощью соединений этого типа был осуществлен с высокими выходами синтез арилметилтеллуридов,<sup>8</sup> арилтеллурбензоатов<sup>9</sup> и арилтеллурформиатов.<sup>6,7</sup> Трифенилгермильные производные и их станильные аналоги —  $ArTeEPh_3$

( $E = Ge, Sn$ ) — удобные исходные вещества для получения теллуролятов металлов  $(ArTe)_nM$  ( $M$  — металл),<sup>4</sup> а  $BuTeSiMe_3$  используют для синтеза теллурсодержащих кластеров.<sup>5</sup> Особое внимание привлекает реакция бис(триалкилсилил)теллуридов с некоторыми элементоорганическими соединениями, позволяющая осуществлять низкотемпературный синтез важных в практическом отношении теллуридов металлов  $M_xTe_y$ .<sup>10,11</sup>

Другие примеры использования соединений со связью Te – E для получения органических производных теллура, а также некоторых органических и элементоорганических соединений подробно рассмотрены в разделах, посвященных реакциям теллуридов  $R^1TeER_3^2$ .

Более ранние данные по синтезу и реакциям соединений  $R^1TeER_3^2$  и  $(R_3E)_2Te$  содержатся в монографиях<sup>12–14</sup>.

Пространственно-затрудненные элементоорганические теллуролы типа  $R_3ETeH$  ( $R = Me_3Si, E = Si, Ge; R = Ph, E = Si$ ) и теллуроляты олова и свинца  $[(Me_3Si)_3SiTe]_2E$  ( $E = Sn, Pb$ ), также имеющие связи Te – E, являются исходными веществами для низкотемпературного синтеза теллуридов указанных выше металлов и рассмотрены в обзорах<sup>15,16</sup>.

## II. Синтез и реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ( $E = Si, Ge, Sn, Pb$ )

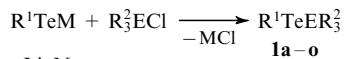
### 1. Синтез соединений $R^1TeER_3^2$ ( $E = Si, Ge, Sn, Pb$ )

Наиболее общий метод синтеза соединений  $R^1TeER_3^2$  (1), который позволяет получать производные с любым элементом E, основан на взаимодействии теллуролятов щелочных металлов  $R^1TeM$  с хлоридами  $R_3^2ECI$ .<sup>4,5,17–19</sup> Теллуроляты лития обычно получают внедрением теллура по связи C – Li

И.Д.Садеков. Доктор химических наук, профессор, заведующий лабораторией теллуроганических соединений НИИФХ РГУ. Телефон: (863)228–0894, e-mail: sadek@ipoc.rnd.runnet.ru  
Область научных интересов: синтез, строение и реакционная способность теллуроганических соединений.

Дата поступления 30 июля 2001 г.

алкил(арил)литиев;<sup>5, 17–19</sup> теллуроляты натрия генерируют восстановлением диарилдителлуридов либо щелочным раствором боргидрида натрия в смеси PhH–EtOH,<sup>4, 19</sup> либо металлическим натрием в ТГФ.<sup>18</sup> Выходы соединений **1** составляют обычно 60–80% (лишь для *n*-метоксифенил(трифенилгермил)теллурода (**1g**) выход равен 23%).<sup>4</sup> Побочными продуктами при синтезе алкил(триметилсилил)теллуридов **1a, b** являются бис(триметилсилил)теллурид и соответствующие диялкилдителлуриды.<sup>5, 17</sup> Этим способом не удалось получить Ph<sub>3</sub>SiTePh.<sup>4</sup>

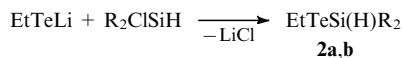


M = Li, Na.

Соединение <b>1</b>	E	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>	Ссылки
<b>a</b>	Si	Me	Me	17
<b>b</b>	Si	Bu	Me	5
<b>c</b>	Si	Ph	Me	17–19
<b>d</b>	Ge	Ph	Me	19
<b>e</b>	Ge	Ph	Ph	4, 19
<b>f</b>	Ge	Ph	4-MeC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4
<b>g</b>	Ge	4-MeOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Ph	4
<b>h</b>	Sn	Ph	Me	19
<b>i</b>	Sn	Ph	Ph	4, 19
<b>j</b>	Sn	Ph	4-MeC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4
<b>k</b>	Sn	Ph	4-MeOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4
<b>l</b>	Pb	Ph	Ph	4, 19
<b>m</b>	Pb	Ph	4-BrC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4
<b>n</b>	Pb	Ph	4-MeC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4
<b>o</b>	Pb	Ph	4-MeOC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	4

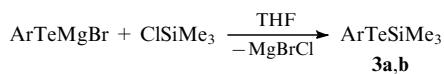
Силильные производные **1a–c** представляют собой светло-желтые жидкости с неприятным запахом; их аналоги, содержащие более тяжелые элементы 14 группы, являются бесцветными или светло-желтыми твердыми соединениями, хорошо растворимыми в обычных органических растворителях.

Взаимодействием этилтетролята лития с хлорсиликатами синтезированы силильные производные **2a, b**, содержащие при атоме кремния алкильные группы и атом водорода.<sup>20</sup>



R = Me (**a**), Et (**b**).

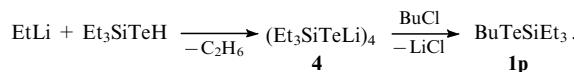
Арил(триметилсилил)теллуриды **3a, b** могут быть получены с выходами 30–40% обработкой арилмагнийбромтетролятов триметилхлорсиланом в ТГФ.<sup>21, 22</sup>



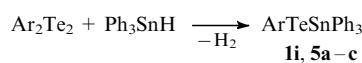
Ar = Ph (**a**, 40%), 4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**b**).

По данным работы<sup>21</sup>, наряду с соединением **3a** были выделены (Me<sub>3</sub>Si)<sub>2</sub>Te и Me<sub>3</sub>SiO(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>TePh с выходами 10 и 45% соответственно. Последний образуется, вероятно, за счет раскрытия тетрагидрофуранового цикла под действием триметилхлорсилана и реакции образовавшегося Me<sub>3</sub>SiO(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>Cl с PhTeMgBr.

Еще один подход к синтезу соединений **1** представлен единичным примером. Этот способ основан на взаимодействии литиевых производных R<sub>3</sub>ETeLi с алкилгалогенидами. Так, бутил(триэтилсилил)теллурид **1p** получен<sup>23</sup> с выходом 79% обработкой тетрамерного триэтилсилилтетролята лития (**4**) бутилхлоридом. Соединение **4** синтезируют из этиллития и соответствующего теллурола.<sup>23</sup>



С помощью реакций диорганилдителлуридов<sup>1–3, 24</sup> и диорганилтетролятов<sup>6, 7, 25–27</sup> с элементоорганическими гидридами можно получать теллуриды **1**, содержащие атомы Si, Ge и Sn. Этот метод по своему синтетическому потенциалу уступает методу, основанному на реакции тетролятов щелочных металлов с хлоридами R<sub>3</sub>ECl и его используют главным образом для получения органил(триорганилстанинил)теллуридов **1** (E = Sn). Взаимодействие диарилдителлуридов с трифенилстанинаном протекает в мягких условиях (нагревание смеси реагентов при 60–70°C в отсутствие растворителя) и приводит к арил(трифенилстанинил)теллуридам **1i, 5a–c** с выходами 50–70%.<sup>24</sup>

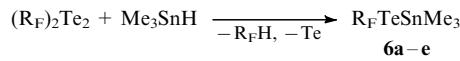


Ar = Ph (**1i**), 4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**5a**), 4-EtOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**5b**), 4-PhOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**5c**).

При использовании трибутилстанинана вместо трифенилстанинана индивидуальных веществ, подобных соединениям **5**, выделено не было. Однако в масс-спектрах маслообразных продуктов реакции присутствуют молекулярные пики, отвечающие арил(трибутилстанинил)теллуридам ArTeSnBu<sub>3</sub>.<sup>24</sup>

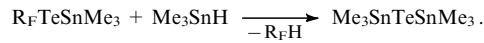
Реакцией бис(перфторалкил)дителлуридов с триметилстанинаном осуществлен синтез перфторалкил(триметилстанинил)теллуридов **6a–e**.<sup>1–3</sup> Так, триметилстанинил(трифторметил)теллурид **6a** получен с выходом ~90% при отогревании смеси (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Te<sub>2</sub> и Me<sub>3</sub>SnH (мольное соотношение 1 : 3) в диэтиловом эфире от –196 до 0°C (см. <sup>1</sup>).

Примерно в тех же условиях синтезированы соединения **6b–e**.<sup>2, 3</sup> По данным работ<sup>2, 3</sup>, при взаимодействии соответствующих дителлуридов с Me<sub>3</sub>SnH (мольное соотношение реагентов 1 : 1) наряду с перфторалкил(триметилстанинил)теллуридами образуются перфторированные углеводороды и Te.

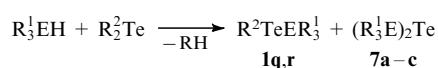


R<sub>F</sub> = CF<sub>3</sub> (**a**), C<sub>2</sub>F<sub>5</sub> (**b**), (CF<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CF (**c**), C<sub>3</sub>F<sub>7</sub> (**d**), C<sub>4</sub>F<sub>9</sub> (**e**).

Следует отметить, что при мольном соотношении дителлурид: Me<sub>3</sub>SnH = 1 : 2 выходы соединений **6** существенно поникаются вследствие их взаимодействия с Me<sub>3</sub>SnH.<sup>2</sup>



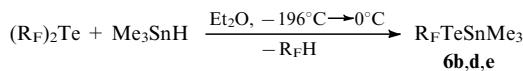
Реакции диорганилтетролятов с элементоорганическими гидридами протекают с разрывом одной или двух связей C–Te, что приводит к соединениям **1** или бис(триорганилсилил)(гермил или станинил)теллуридам (R<sub>3</sub>E)<sub>2</sub>Te **7**. В некоторых случаях образуется смесь веществ обоих типов. Основное влияние на направление реакций оказывает природа взаимодействующих субстратов. В случае диялкилтетролятов определяющую роль играет природа гидридов R<sub>3</sub>EH, реакционная способность которых возрастает в последовательности E = Si < Ge < Sn. При взаимодействии триэтилсилана с диялкилтетролидом (200°C, 7 ч) образуется смесь соединений **1q** и **7a** с выходами 12 и 55% соответственно. Реакция триэтилгермана с тем же теллуридом (140°C, 7 ч) приводит к смеси соединений **1r** и **7b** с сопостав-



R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = Et; E = Si (**1q, 7a**), Ge (**1r, 7b**), Sn (**7c**).

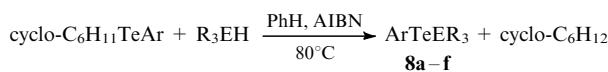
имыми выходами (39 и 59%), тогда как в случае триэтилстаниана даже при 20°C образуется только теллурид **7c**.<sup>25,26</sup>

В отличие от диалкилтетралуридов, взаимодействие бис(перфторалкил)тетралуридов с триметилстанианом (мольное соотношение 1 : 1) приводит только к перфторалкил(триметилстанинил)тетралуридам **6b,d,e** с выходами 50–65%.<sup>2,3</sup>



$R_F = C_2F_5$  (**b**),  $C_3F_7$  (**d**),  $C_4F_9$  (**e**).

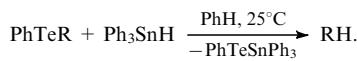
При обработке арил(циклогексил)тетралуридов гидридами  $R_3EH$  независимо от природы последних разрывается только связь  $C_{sp^3} – Te$ . Так, тетралуриды **8a–f** получены нагреванием смеси эквимольных количеств реагентов в бензole в присутствии катализитических количеств азодизобутиронитрила (AIBN).<sup>6,7,27,28</sup> Соединения **8** не выделяли вследствие их нестабильности и использовали в последующих превращениях (см. раздел II.2) *in situ*.



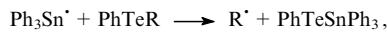
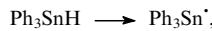
Соединение <b>8</b>	Ar	E	R	Ссылки
<b>a</b>	Ph	Si	Me <sub>3</sub> Si	6, 7, 28
<b>b</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Si	Me <sub>3</sub> Si	6, 7, 28
<b>c</b>	Ph	Ge	Bu	28
<b>d</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Ge	Bu	28
<b>e</b>	Ph	Sn	Bu	27
<b>f</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Sn	Bu	28

В отличие от трис(триметилсилил)силона, трифенилсилан не расщепляет связи C–Te в арил(циклогексил)тетралуридах.<sup>28</sup>

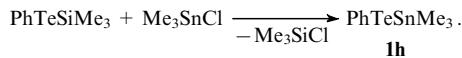
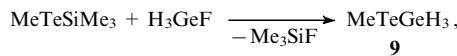
Следует отметить, что задолго до работ<sup>6,7,27,28</sup> реакция алкил(циклоалкил)фенилтетралуридов с трифенилстанином была рекомендована в качестве препаративного метода синтеза алканов(циклоалканов),<sup>29</sup> которые получались с высокими выходами.



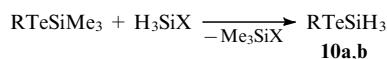
Реакция, вероятно, идет по радикальному механизму:<sup>29</sup>



Для получения гермийного (**9**) и станильного (**1h**) производных были использованы обменные реакции органил(триметилсилил)тетралуридов с соответствующим фторгерманом или хлорстанином.<sup>17</sup> Выходы конечных продуктов близки к количественным.



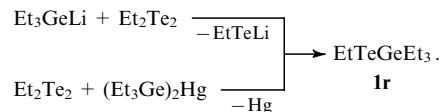
Подобную реакцию использовали для получения органил(силил)тетралуридов **10a,b**.<sup>17</sup>



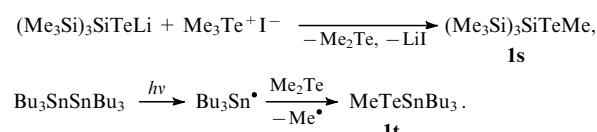
$R = Me$  (**a**),  $Ph$  (**b**);  $X = Br, I$ .

Попытки синтеза соединения типа **10** взаимодействием метил(фенил)тетралурия лития с  $BrSiH_3$  были безуспешны; единственным продуктом реакции являлся бис(силил)тетралурид  $(H_3Si)_2Te$ .<sup>17</sup>

Другие реакции, приводящие к соединениям **1**, представлены единичными примерами. Так, этил(триэтилгермил)тетралурид (**1r**) получен с выходом 89% реакцией диэтилдитралурида с триэтилгермиллитием<sup>20</sup> и с выходом 73% из того же дитралурида и бис(триэтилгермил)рутти.<sup>30</sup>



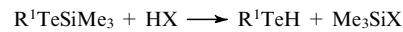
Метил[трис(триметилсилил)силил]тетралурид (**1s**) синтезирован обработкой трис(триметилсилил)силилтетралурия лития иодидом триметилтетралурия.<sup>31</sup> Фотолиз смеси гексабутилдистанина и диметилтетралурида приводит к метил(трибутилстанинил)тетралуриду (**1t**).<sup>32</sup>



## 2. Реакции соединений $R^1TeER_3^2$ ( $E = Si, Ge, Sn, Pb$ )

Реакции соединений **1** изучены в основном на примерах силильных и станильных производных. Некоторые из этих реакций являются важными препаративными методами получения различных теллурорганических соединений, в том числе тех, которые находят применение в синтетической органической химии.

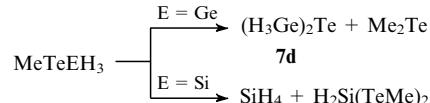
Связь Te–Si в органил(триорганилсилил)тетралуридах легко расщепляется под действием галогеноводородных кислот, спиртов и воды, что приводит к органилтетралурам и галогенсиланам, аллоксисиланам или силоксанам соответственно.<sup>17</sup>



$R^1 = Me, Ph$ ;  $X = Br, I, OAlk, OH$ .

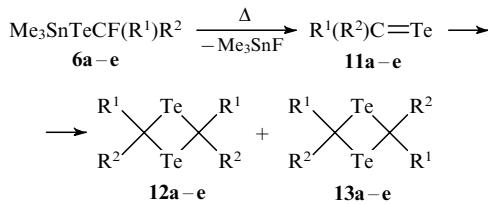
Фенилтетралурол, используемый *in situ*, проявляет сильные восстановительные свойства.<sup>33–35</sup> Известно несколько методов синтеза этого соединения: метанолиз фенил(триметилсилил)тетралурида,<sup>33–35</sup> восстановление дифенилдитралурида фосфорноватистой кислотой или боргидридом натрия.<sup>33</sup> Из них наиболее удобен первый метод. Генерированный таким образом фенилтетралурол восстанавливает в бензole или хлороформе нитросоединения в амины,<sup>33,34</sup> алкены и алкины в алканы,<sup>34</sup> альдегиды и кетоны в спирты;<sup>34</sup> восстановление карбонильных соединений в спиртах в присутствии каталических количеств  $ZnI_2$  приводит к простым эфирам.<sup>35</sup> Реакции протекают в мягких условиях и с высокими выходами.

Соединения **1** легко вступают в реакции диспропорционирования. Так, метил(гермил)тетралурид диспропорционирует на ди(гермил)тетралурид (**7d**) и диметилтетралурид, тогда как при диспропорционировании метил(силил)тетралурида образуются бис(метилтетралуро)силан и силан.<sup>17</sup>



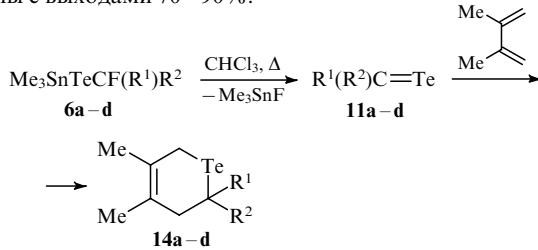
Диспропорционирование метил(триметилстанинил)тэллурида (при длительном хранении или облучении светом с длиной волны 488 нм) протекает по той же схеме, что и в случае метил(гермил)тэллурида; продуктами реакции являются бис(триметилстанинил)тэллурид и диметилтэллурид.<sup>17</sup>

Совершенно по-иному идет реакция пиролиза перфторалкил(триметилстанинил)тэллуридов **6**.<sup>1–3</sup> Ее продуктами являются триметилфтоторстанан и тэллурокетоны **11**, которые легко димеризуются в производные 1,3-дителлуретана **12**, **13**.<sup>1–3</sup>



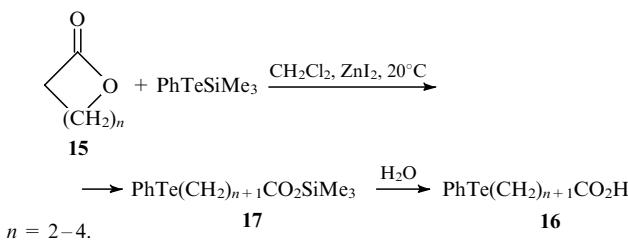
R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = F (**a**); R<sup>1</sup> = F, R<sup>2</sup> = CF<sub>3</sub> (**b**); R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = CF<sub>3</sub> (**c**);  
R<sup>1</sup> = F; R<sup>2</sup> = C<sub>2</sub>F<sub>5</sub> (**d**), C<sub>3</sub>F<sub>7</sub> (**e**).

При нагревании растворов тэллуридов **6a–d** в хлороформе в присутствии большого избытка 2,3-диметилбутадиена первоначально образующиеся тэллурокетоны **11a–d** вступают в реакцию [4 + 2]-циклогипросоединения.<sup>1–3</sup> Производные 3,6-дигидро-4,5-диметилтэллурина **14a–d** выделены с выходами 70–90%.<sup>1–3</sup>



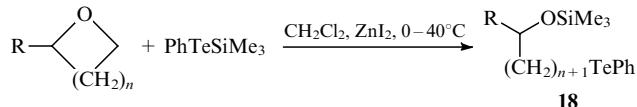
R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = F (**a**); R<sup>1</sup> = F, R<sup>2</sup> = CF<sub>3</sub> (**b**); R<sup>1</sup> = R<sup>2</sup> = CF<sub>3</sub> (**c**);  
R<sup>1</sup> = F, R<sup>2</sup> = C<sub>2</sub>F<sub>5</sub> (**d**).

Триметилсilyл(фенил)тэллурид в мягких условиях (дихлорметан, 20°C) в присутствии катализитических количеств ZnI<sub>2</sub> расщепляет циклы лактонов и простых эфиров с образованием продуктов С-тэллурирования и О-силирования.<sup>18</sup> Так, из лактонов **15** и PhTeSiMe<sub>3</sub> получаются кислоты **16** с выходами, превышающими 80%. Интермедиатами в этих реакциях являются O-триметилсilyловые эфиры **17**, которые гидролизуются при обработке реакционных смесей.



Триметилсilyл(фенил)тэллурид значительно превосходит по реакционной способности родственные соединения серы и селена. Раскрытие лактонных циклов под действием тэллурида протекает при 20°C (PhSSiMe<sub>3</sub> реагирует при 70°C,<sup>36</sup> а PhSeSiMe<sub>3</sub> — при 80–100°C).<sup>37</sup>

Так же легко под действием триметилсilyл(фенил)тэллурида расщепляются циклы в оксиранах и других циклических эфирах с образованием триметилсilyксзамещенных тэллуридов **18**.<sup>18</sup> Описаны и другие примеры подобных реакций.<sup>18</sup>



R = Me, Et, n = 0; R = H, n = 1–4; R = Me, n = 2.

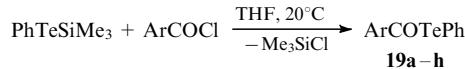
Органил(триметилсilyл)тэллуриды RTeSiMe<sub>3</sub> являются синтетическими эквивалентами органилтэллурият-анионов RTe<sup>-</sup> (см.<sup>4–9</sup>), причем в ряде случаев применение тэллуридов дает лучшие результаты по сравнению с тэллуриятами щелочных металлов. Так, взаимодействием MeTeSiMe<sub>3</sub>, генерированного *in situ* (из MeTeLi и Me<sub>3</sub>SiCl), с арилазосульфонами в MeCN, содержащем каталитическое количество 18-краун-6, синтезированы арилметилтэллуриды с выходами 36–62%.<sup>8</sup>



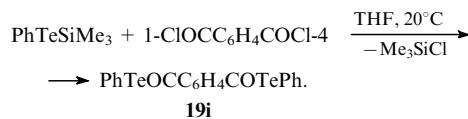
R = H, 4-Br, 4-COMe, 2-CO<sub>2</sub>Me.

Использование в этой реакции MeTeLi, который получают из MeLi и Te в ТГФ, не приводит к арилметилтэллуридам. В ТГФ реакция деазосульфонирования не идет, а при замене ТГФ на MeCN образуется смесь диметилтэллурида и диметилдителлурита, инертных по отношению к арилазосульфонам.<sup>8</sup>

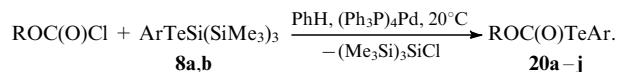
Триметилсilyл(фенил)тэллурид в мягких условиях (ТГФ, 20°C) реагирует с ароилхлоридами с образованием фенилтэллуробензоатов **19a–i** (выход 62–91%).<sup>9</sup> Преимущества этого способа синтеза соединений **19a–i** по сравнению с классическим, основанным на использовании тэллурофенолятов натрия,<sup>38</sup> заключаются в более высоких выходах получаемых эфиров, а также простоте их выделения из реакционных смесей.



Ar = 4-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**a**), 3-ClC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**b**), 4-BrC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**c**), 4-NO<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**d**),  
4-NCC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**e**), Ph (**f**), 4-MeC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**g**), 4-MeOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (**h**).

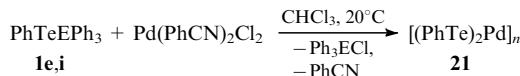


Арил[три(триметилсilyл)сilyл]тэллуриды **8a,b**, используемые *in situ*, взаимодействуют с хлорформиатами только в присутствии катализитических количеств тетракис(трифенилфосфин)палладия(0), образуя арилтэллуроформиаты **20a–j**<sup>6,7</sup> (о применении соединений **20a–j** в качестве предшественников оксиацильных и алкильных радикалов см.<sup>39,40</sup>). Синтез арилтэллуроформиатов **20e,j**, содержащих при эфирном атоме кислорода фенильный радикал, был осуществлен<sup>6,7</sup> лишь при использовании соединений **8a,b**. Взаимодействием хлорформиатов с тэллурофенолятом натрия арилтэллуроформиаты **20e,j** получить невозможно.<sup>6,7</sup>



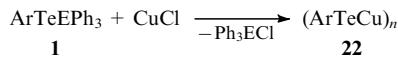
Соединение <b>20</b>	Ar	R	Соединение <b>20</b>	Ar	R
<b>a</b>	Ph	Me	<b>f</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Me
<b>b</b>	Ph	Pr <sup>i</sup>	<b>g</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Pr <sup>i</sup>
<b>c</b>	Ph	cyclo-C <sub>6</sub> H <sub>11</sub>	<b>h</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	cyclo-C <sub>6</sub> H <sub>11</sub>
<b>d</b>	Ph	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub>	<b>i</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>8</sub> H <sub>17</sub>
<b>e</b>	Ph	Ph	<b>j</b>	4-FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub>	Ph

Соединения **1** реагируют с галогенидами некоторых металлов с образованием теллуролятов соответствующих металлов. Так, при взаимодействии фенил(трифенилгермил(станил))тетралуридов **1e,i** с бензонитрильным комплексом хлорида палладия(II) элиминируется  $\text{Ph}_3\text{ECl}$  и образуются красно-коричневые теллуроляты палладия **21**, имеющие, вероятно, полимерное строение.<sup>4</sup>



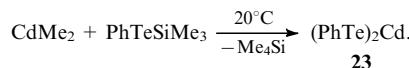
$E = \text{Ge}$  (**1e**),  $\text{Sn}$  (**1i**).

Реакция соединений **1** с  $\text{CuCl}$  в хлороформе<sup>4</sup> или ацетонитриле<sup>41</sup> дает полимерные теллуроляты меди(I) **22**.

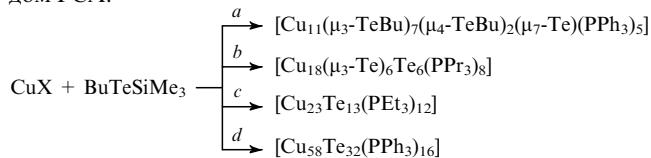


$E = \text{Ge, Sn, Pb; Ar} = \text{Ph, 4-EtOC}_6\text{H}_4$ .

Теллуроляты металлов образуются также при использовании триметилсилил(фенил)тетралурида в качестве источника лиганда PhTe. Так, реакцией этого соединения с диметилкадмием в  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  получен теллурофенолят кадмия(II) (**23**).<sup>10</sup>

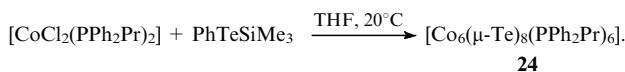


Взаимодействие органил(триметилсилил)тетралуридов, в частности  $\text{BuTeSiMe}_3$ , с солями меди(I) приводит к теллурсодержащим кластерам, которые охарактеризованы методом РСА.<sup>5</sup>

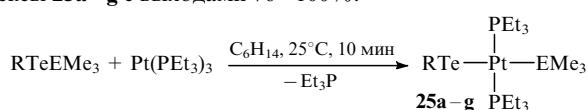


$X = \text{Cl, OAc}; a) \text{PPh}_3, \text{TGF}; b) \text{PPr}_3, \text{диглим}; c) \text{PEt}_3, \text{TGF}; d) \text{PPh}_3, \text{диглим}.$

Кластер **24** является единственным продуктом реакции триметилсилил(фенил)тетралурида с комплексной солью кобальта(II).<sup>5</sup>



Сравнительно недавно<sup>42</sup> показано, что соединения  $\text{RTeEMe}_3$ , так же как и  $(\text{Me}_3\text{E})_2\text{Te}$  ( $\text{E} = \text{Si, Sn}$ ), вступают в реакцию окислительного присоединения с триэтилфосфиновыми комплексами платины  $\text{Pt}(\text{PEt}_3)_n$  ( $n = 3, 4$ ), давая комплексы **25a–g** с выходами 76–100%.

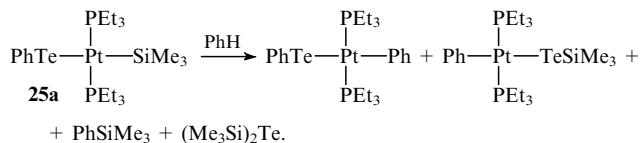


$E = \text{Si}; R = \text{Ph}$  (**a**), 4- $\text{PhC}_6\text{H}_4$  (**b**),  $\text{Bu}$  (**c**),  $\text{Me}_3\text{Si}$  (**d**);  
 $E = \text{Ge, R} = \text{Ph}$  (**e**);  $E = \text{Sn}; R = \text{Ph}$  (**f**),  $\text{Me}_3\text{Sn}$  (**g**).

Строение соединений **25** подтверждено методами спектроскопии ЯМР и РСА (на примере комплекса **25b**).<sup>42</sup> Они представляют собой твердые красные вещества, стабильные в атмосфере аргона, но крайне чувствительные к кислороду и влаге.<sup>42</sup>

Реакционная способность триметилсилил(фенил)халько-генидов  $\text{PhMSiMe}_3$  ( $M = \text{S, Se, Te}$ ) в этой реакции возрастает в последовательности  $\text{S} < \text{Se} < \text{Te}$ . Так, триметилсилил(фенил)сульфид не реагирует с  $\text{Pt}(\text{PEt}_3)_3$  даже при пятичасовом нагревании при  $50^\circ\text{C}$ , а триметилсилил(фенил)селенид при  $25^\circ\text{C}$  взаимодействует с комплексом  $\text{Pt}(0)$ , но гораздо медленнее, чем его теллуровый аналог.<sup>42</sup>

В бензоле комплексы **25** постепенно разлагаются даже при  $25^\circ\text{C}$ . В случае соединения **25a** идентифицированы продукты разложения.<sup>42</sup>



Реакция разложения обратима: добавление в раствор даже одного эквивалента  $\text{PEt}_3$  ингибирует этот процесс.<sup>42</sup>

### III. Методы получения и реакции соединений $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$

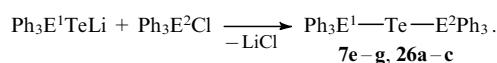
В ряду соединений, содержащих две связи  $\text{Te}$  – элемент 14-й группы, существуют как симметричные  $(\text{R}_3\text{E})_2\text{Te}$  ( $\text{E}$  – элемент 14 группы) (**7**), так и несимметричные производные типа  $\text{R}_3^1\text{ETeR}_3^2$  (**26**). Поскольку способы получения и реакции соединений обоих типов близки, они рассмотрены в одном разделе.

#### 1. Методы получения

В разделе II описаны две реакции, приводящие к теллуридам **7**. Первая из них – взаимодействие гидридов  $\text{R}_3\text{EH}$  с диорганилтетралуридами. В этой реакции в зависимости от природы субстратов образуются соединения **1**, **7** или их смеси.<sup>25, 26</sup> Вторая реакция – диспропорционирование теллуридов **1**.<sup>17</sup>

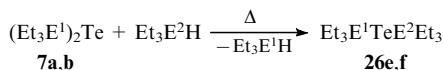
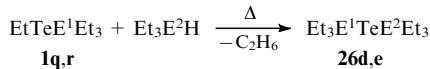
При добавлении  $\text{Me}_3\text{SiCl}$  к эфирному раствору  $\text{PhTeMgBr}$  образуется бис(триметилсилил)тетралурид,<sup>43</sup> очевидно, также в результате диспропорционирования  $\text{PhTeSiMe}_3$  в условиях реакции. Следует отметить, что взаимодействие тех же реагентов в ТГФ (см. раздел II.1) дает  $\text{PhTeSiMe}_3$ .

Общий метод синтеза как симметричных теллуридов **7**, так и несимметричных **26** основан на взаимодействии литийорганических производных  $\text{R}_3^1\text{E}^1\text{TeLi}$  с хлоридами  $\text{R}_3^2\text{E}^2\text{Cl}$ .<sup>44–48</sup> Однако этот метод используют сравнительно редко: таким путем были синтезированы только фенильные производные, содержащие атомы Ge, Sn и Pb в различных сочетаниях. Эта реакция была использована также для получения бис(трифенилсилил)тетралурида.<sup>49</sup>



Соединение	$\text{E}^1$	$\text{E}^2$	Ссылки
<b>7e</b>	Ge	Ge	46
<b>7f</b>	Sn	Sn	44, 45
<b>7g</b>	Pb	Pb	47
<b>26a</b>	Sn	Ge	46
<b>26b</b>	Sn	Pb	45
<b>26c</b>	Pb	Ge	46

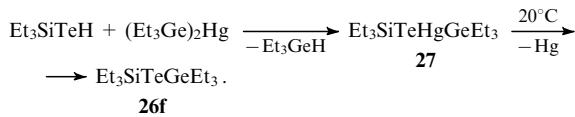
К несимметричным производным **26d–f** приводят также реакции гидридов триэтилолова или германия с теллуридами **1q,r** (выходы 60–90%)<sup>26</sup> или **7a,b**.<sup>50</sup>



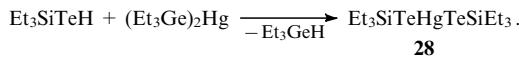
$\text{E}^1 = \text{Si}$  (**1q, 7a**),  $\text{Ge}$  (**1r, 7b**);  $\text{E}^1 = \text{Si}$ ,  $\text{E}^2 = \text{Sn}$  (**26d**);  $\text{E}^1 = \text{Ge}$ ,  $\text{E}^2 = \text{Sn}$  (**26e**);  $\text{E}^1 = \text{Si}$ ,  $\text{E}^2 = \text{Ge}$  (**26f**).

В этих реакциях гидриды по своей активности располагаются в последовательности  $\text{E}^2 = \text{Sn} > \text{Ge} > \text{Si}$ . Так, при взаимодействии  $\text{Et}_3\text{GeH}$  с  $(\text{Et}_3\text{Si})_2\text{Te}$  ( $235^\circ\text{C}$ , 6 ч) образуются  $(\text{Et}_3\text{Ge})_2\text{Te}$  (выход 79%) и  $\text{Et}_3\text{SiH}$  (выход 50%); реакция  $\text{Et}_3\text{SnH}$  с  $(\text{Et}_3\text{Ge})_2\text{Te}$  ( $70^\circ\text{C}$ , 1 ч) приводит к  $(\text{Et}_3\text{Sn})_2\text{Te}$  (выход 76%) и  $\text{Et}_3\text{GeH}$  (выход 57%).<sup>50</sup>

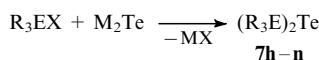
Реакции ртутных производных  $(\text{Et}_3\text{E}^1)_2\text{Hg}$  с гидридами  $\text{R}_3\text{E}^2\text{TeH}$  также приводят к несимметричным теллуридам **26**,<sup>51</sup> однако этот метод синтеза сравнительно мало изучен. В результате взаимодействия бис(триэтилгермил)ртути с  $\text{Et}_3\text{SiTeH}$  (мольное соотношение 1:1) в мягких условиях ( $-78^\circ\text{C}$ , 2–3 мин) получается соединение **27**, содержащее фрагмент  $\text{Si} - \text{Te} - \text{Hg} - \text{Ge}$ , которое легко элиминирует атом ртути, давая несимметричный теллурид **26f**.



Следует отметить, что при мольном соотношении теллурурол:производное ртути = 2:1 образуется бис(триэтилсилилтеллурил)ртуть (**28**), которая, в отличие от соединения **27**, термически стабильна и не разлагается даже при  $130^\circ\text{C}$  в течение 7 ч.<sup>51</sup>



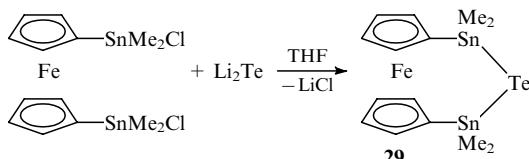
Синтез симметричных теллуридов **7** изучен гораздо лучше по сравнению с их несимметричными аналогами **26**. Наиболее общим методом получения этих соединений является реакция теллуридов натрия<sup>52</sup> или лития<sup>21,53–57</sup> с галогенидами  $\text{R}_3\text{EX}$ . Выходы теллуридов **7** варьируют от очень низких (5%)<sup>57</sup> до количественных.<sup>55</sup>



$\text{M} = \text{Na}, \text{Li}$ .

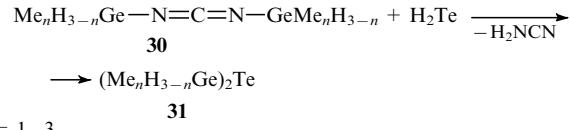
Соединение <b>7</b>	E	R <sub>3</sub>	Ссылки
<b>h</b>	Si	H <sub>3</sub>	53, 55
<b>i</b>	Si	Me <sub>3</sub>	21, 52–54, 56
<b>j</b>	Si	Bu <sup>t</sup> Me <sub>2</sub>	56
<b>k</b>	Ge	(CF <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	57
<b>l</b>	Ge	Me <sub>3</sub>	52
<b>m</b>	Sn	Me <sub>3</sub>	52
<b>n</b>	Pb	Me <sub>3</sub>	52

Реакция 1,1'-бис(хлордиметилстанил)ферроцена<sup>58</sup> с теллуридом лития была использована для получения 1,3-дистанна-2-теллура[3]ферроценофана **29** (выход 28%).<sup>59</sup>



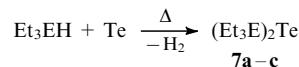
Для синтеза бис(трифенилстанил)теллурида (**7f**) применили гидротеллурид натрия.<sup>19, 60</sup>

Некоторые дигермилтллуриды были получены при использовании теллурводорода в качестве теллурсодержащего реагента.<sup>61</sup> Так, при отогревании смеси карбодиимидов **30** с избытком H<sub>2</sub>Te от  $-196^\circ\text{C}$  до комнатной температуры образуются бис(гермил)тллуриды **31** с выходами 60–90%.<sup>61</sup>



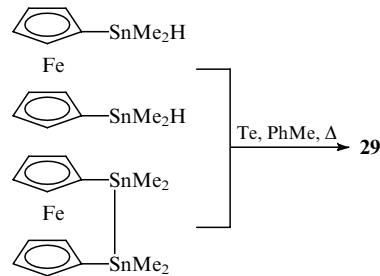
Кремниевые аналоги карбодиимидов **30** в подобную реакцию не вступают<sup>61</sup>.

Симметричные теллуриды **7a–c** получены нагреванием гидридов R<sub>3</sub>EH с порошкообразным теллуром.<sup>26, 50, 62, 63</sup> Как и в приведенных выше случаях, реакционная способность гидридов возрастает в последовательности E = Si < Ge < Sn. Если реакция теллура с Et<sub>3</sub>SnH протекает при  $130^\circ\text{C}$ ,<sup>26, 62</sup> а с Et<sub>3</sub>GeH — при  $190-210^\circ\text{C}$ ,<sup>26, 62</sup> то взаимодействие Te с Et<sub>3</sub>SiH, приводящее к бис(триэтилсилил)тллуриду **7a** с выходом 71%, осуществимо только при  $280^\circ\text{C}$ .<sup>50, 63</sup>

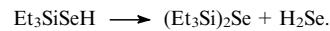


E = Si (**a**), Ge (**b**), Sn (**c**).

Реакцией 1,1'-бис(диметилстанил)ферроцена<sup>58</sup> с порошкообразным теллуром синтезирован теллурид **29** (выход 90%);<sup>59</sup> это же соединение получено с выходом 79% взаимодействием 1,1,2,2-тетраметил-1,2-дистаннил[2]ферроценофана с теллуром.<sup>59</sup>



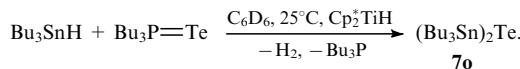
Взаимодействие серы и селена с гидридами R<sub>3</sub>EH приводит в зависимости от природы гидрида и халькогена или к элементоорганическим гидрохалькогенидам R<sub>3</sub>EMH (E = Si,<sup>50, 63</sup> Ge;<sup>26</sup> M = S,<sup>63</sup> Se (см.<sup>26, 50, 63</sup>)), или к их смесям с соединениями (R<sub>3</sub>E)<sub>2</sub>M. Устойчивость гидридов R<sub>3</sub>EMH возрастает в ряду M = Te < Se < S. Так, при нагревании серы с трифенилсиланом при  $200^\circ\text{C}$  единственным продуктом реакции является трифенилсилилтиол Ph<sub>3</sub>SiSH (выход 70%),<sup>63</sup> а взаимодействие селена с триэтилсиланом ( $260^\circ\text{C}$ ) приводит к смеси Et<sub>3</sub>SiSeH (выход 62%) и (Et<sub>3</sub>Si)<sub>2</sub>Se (выход 32%).<sup>50, 63</sup> Последнее соединение образуется в результате реакции симметризации.<sup>63</sup>



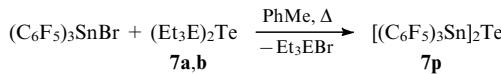
Наименее стабильный из халькогенолов — триэтилсилилтллуорол Et<sub>3</sub>SiTeH — симметризуется полностью, тогда как более устойчивый триэтилсилилселенол превращается в бис(триэтилсилил)селенид и H<sub>2</sub>Se только на 40%.<sup>63</sup>

Следует отметить, что по данным работы<sup>26</sup> реакция селена с германами R<sub>3</sub>GeH (R = Pr<sup>t</sup>, cyclo-C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>) приводит в основном к гермилселиенолам R<sub>3</sub>GeSeH.

Вместо металлического теллура в реакциях с триорганилстанилгидридами был использован его синтетический эквивалент — трибутилфосфинтеллурид  $Bu_3P=Te$ .<sup>64</sup> Растворимость последнего в органических растворителях позволяет осуществить синтез бис(триорганилстанил)теллуридов (например, бис(трибутилстанил)теллурида **7o**) в мягких условиях в присутствии каталитических количеств (2–10 мол. %)  $Cp_2^*TiH$  ( $Cp^* = Me_5C_5$ ). В отсутствие катализатора выход конечного продукта не превышает 2%.<sup>64</sup>

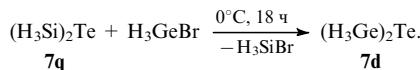


Теллуриды **7** ( $E = Ge, Sn$ ) синтезированы также обменными реакциями соединений **7**, содержащих более легкие элементы 14 группы, с галогенидами  $R_3EX$ . Так, бис[трис(пентафторменил)станил]теллурид **7p** получен с выходами 57 и 51% соответственно взаимодействием бис(триэтилгермил)- (**7b**) или бис(триэтилсилил)теллуридов (**7a**) с  $(C_6F_5)_3SnBr$ .<sup>65</sup> Реакция протекает, вероятно, путем постадийного обмена групп  $Et_3E$  ( $E = Si, Ge$ ) на  $(C_6F_5)_3Sn$  через четырехцентровые переходные состояния.

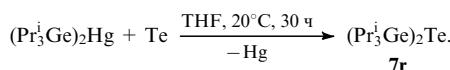


$E = Si$  (**a**),  $Ge$  (**b**).

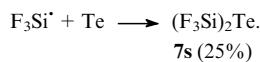
При избытке гермилбромида ди(силил)теллурид (**7q**) количественно превращается в ди(гермил)теллурид (**7d**), очевидно, по этому же механизму.<sup>55</sup>



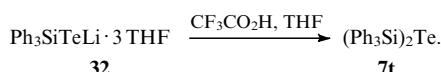
Другие способы получения теллуридов **7** исследованы на единичных примерах, хотя некоторые из них, по-видимому, могут быть использованы для синтеза большего числа соединений. Так, бис(триизопропилгермил)теллурид (**7r**) получен с выходом 78% при взаимодействии бис(триизопропилгермил)рутти с порошкообразным теллуром.<sup>30</sup>



Бис(трифторменил)теллурид (**7s**) синтезирован взаимодействием трифторменильных радикалов, генерированных разложением гексафтормисилана, с парами теллура в низкотемпературной матрице.<sup>66, 67</sup>

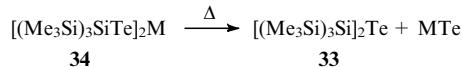


Синтез силильных производных типа **7**, содержащих остатки стерически затрудненных силанов, требует особого подхода. Так, бис(трифенилсилил)теллурид (**7t**) получен protonированием трифенилсилилтеллуролята лития (**32**) в ТГФ или окислением этой соли кислородом воздуха.<sup>49</sup>



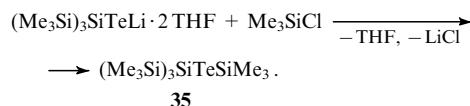
Следует отметить, что окисление трис[(триметилсилил)-силил]теллурола  $(Me_3Si)_3SiTeH$  или его литиевой соли приводит к дителлуриду  $[(Me_3Si)_3Si]_2Te_2$ .<sup>68, 69</sup>

Симметричный теллурид **33** образуется наряду с теллуридами соответствующих металлов при пиролизе теллуролятов **34**.<sup>16</sup>



$M = Zn, Cd, Sn, Pb, Yb$ .

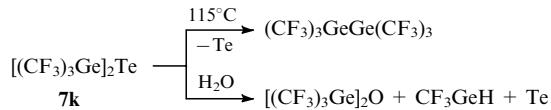
Описанные выше симметричные и несимметричные теллуриды с двумя связями  $Te-E$  содержат при атомах элементов 14-й группы одинаковые заместители. Пожалуй, единственным соединением с разными заместителями при этих атомах является теллурид **35**,<sup>69</sup> полученный из трис(триметилсилил)силилтеллуролята лития и trimethylchlorosilane.



## 2. Реакции соединений $(R_3E)_2Te$ ( $E = Si, Ge, Sn, Pb$ )

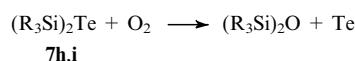
Следует отметить, что значительное число реакций теллуридов **7** и **26** изучено на примерах ограниченного количества соединений, поэтому в ряде случаев трудно судить о том, насколько общий характер имеет та или иная реакция.

Большинство реакций теллуридов **7** (реакции несимметрических производных **26** мало изучены) протекает с элиминированием атома теллура. Гидридные производные  $(H_3E)_2Te$  светочувствительны и разлагаются даже при комнатной температуре на шероховатых стеклянных поверхностях.<sup>53</sup> В то же время бис[трис(трифторметил)гермил]теллурид (**7k**) элиминирует атом теллура лишь при  $115^\circ C$ .<sup>57</sup> Теллуриды **7**, содержащие алкильные и трифторметильные радикалы, сравнительно легко гидролизуются.<sup>57</sup>



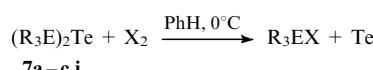
Симметричные (**7e–g**) и несимметричные фенильные производные (**26a–c**) представляют собой термически и гидролитически довольно устойчивые соединения. Их стабильность по отношению к влаге и кислороду возрастает в последовательности  $(Ph_3Ge)_2Te < (Ph_3Pb)_2Te < (Ph_3Ge)_2Te < Ph_3GeTeSnPh_3 < Ph_3GeTePbPh_3$ .<sup>47</sup> Несимметричные алифатические производные  $R_3^1E^1TeE^2R_3^2$  легко диспропорционируют с образованием симметричных теллуридов  $(R_3^1E^1)_2Te$  ( $R_3^2E^2)_2Te$ .<sup>70</sup>

В теллуридах **7** связи  $Te-E$  легко разрушаются под действием различных окислителей. Так, силильные производные **7h,i** реагируют с кислородом, давая элементный теллур и соответствующий силоксан.<sup>53</sup>



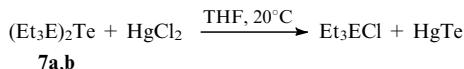
$R = H$  (**h**),  $Me$  (**i**).

Окисление теллуридов **7** галогенами протекает в мягких условиях и приводит к галогенидам  $R_3EX$  (выходы 50–85%) и  $Te$ ; в случае станильных производных образуется некоторое количество  $R_2SnX_2$ .<sup>56, 71</sup>

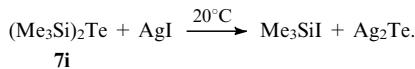


$R = Et$ :  $E = Si$  (**a**),  $Ge$  (**b**),  $Sn$  (**c**);  $R = Me$ ,  $E = Si$  (**i**);  $X = Cl, Br, I$ .

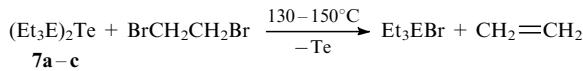
Образование галогенидов  $R_3EX$  происходит и при взаимодействии теллуридов **7** с солями Ag(I)<sup>43</sup> и Hg(II),<sup>51</sup> наряду с ними получаются теллуриды металлов. Следует отметить, что при взаимодействии тех же солей с диорганилтеллуридами  $R_2Te$  образуются комплексы состава 1 : 1 или 1 : 2.<sup>72</sup>



$E = Si$  (**a**),  $Ge$  (**b**).

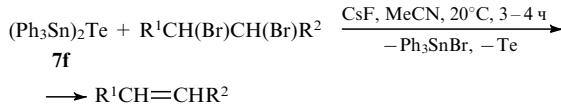


В работе<sup>63</sup> впервые показано, что в соединениях **7** разрыв связей  $E - Te$  осуществляется под действием не только свободных галогенов, но и органических дигалогенидов, содержащих достаточно подвижные атомы галогенов. Так, при кипячении этильных производных **7a–c** в 1,2-дигромэтане образуются  $Et_3EBr$ ,  $Te$  и этилен.<sup>63</sup> Наиболее легко протекает реакция с бис(триэтилстанил)теллуридом (**7c**).



$E = Si$  (**a**),  $Ge$  (**b**),  $Sn$  (**c**).

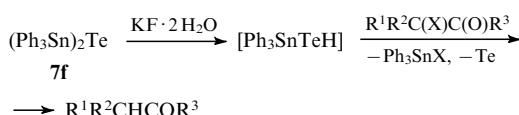
Именно на этой реакции, в частности, основано использование бис(трифенилстанил)теллурива (**7f**) в сочетании с  $CsF$  в качестве дегалогенирующего агента<sup>73</sup> для получения олефинов из вицинальных дигромидов.



$R^1 = H; R^2 = Ph, Me(CH_2)_7, PhSO_2CH_2; R^1 = R^2 = Ph;$   
 $R^1 - R^2 = CH_2OCH_2OCH_2.$

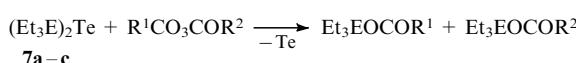
Реакция идет в мягких условиях; олефины в большинстве случаев получаются с выходами, близкими к количественным. Так, взаимодействие *мезо*-1,2-дигром-1,2-дифенилэтана с  $(Ph_3Sn)_2Te$  приводит к *транс*-стильбену с выходом 94%.<sup>73</sup>

При замене  $CsF$  на  $KF \cdot 2H_2O$  теллурид **7f** в мягких условиях ( $MeCN$ ,  $20^\circ C$ ) дегалогенирует  $\alpha$ -хлор(бром)-кетоны.<sup>73</sup> При мольном соотношении реагентов **7f**:  $KF \cdot 2H_2O$ :  $\alpha$ -галогенкетон = 1 : 3 : 1 кетоны получаются с выходами 60–90%. Вероятный механизм реакции включает промежуточное образование трифенилстанилтеллурола.<sup>74</sup>



$R^1 = R^2 = H; R^3 = Me, Et, Ph; R^1 = Me, R^3 = Ph; R^2 = H, Me;$   
 $R^1 - R^3 = (CH_2)_4, R^2 = H.$

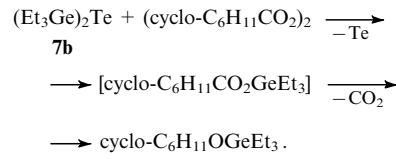
Разрыв связей  $Te - E$  в теллуривах **7a–c** легко протекает под действием симметричных и несимметричных пероксидов ацилов.



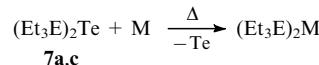
$E = Si$  (**a**),  $Ge$  (**b**),  $Sn$  (**c**);  $R^1 = Ph, R^2 = Ph, Me.$

Продуктами реакции являются элементный  $Te$  и триорганилсилильные(гермильные, станильные) эфиры соответствующих кислот, выделяемые с высокими выходами.

При взаимодействии бис(триэтилгермил)теллурива (**7b**) с дициклогексилперкарбонатом наряду с  $Te$  получаются  $CO_2$  и циклогексилокситриэтилгерман, очевидно, в результате распада первоначально образующегося триэтилгермилового эфира циклогексанкарбоновой кислоты.<sup>75</sup>



Подобно диарилтеллуривам  $Ar_2Te$ ,<sup>72</sup> теллуривы **7a,c** при нагревании с серой или селеном элиминируют  $Te$  и переходят в сульфиды и селениды соответственно.<sup>50,63</sup> Как и в реакции с диарилтеллуривами,<sup>72</sup> сера превосходит по реакционной способности селен. Так, взаимодействие  $(Et_3Sn)_2Te$  с серой протекает при  $20^\circ C$  (90 ч), тогда как реакция того же теллурива с селеном требует нагревания ( $150^\circ C$ , 30 ч).<sup>50,63</sup>



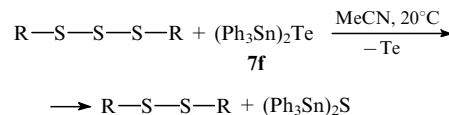
$E = Si, M = S; E = Sn: M = S, Se.$

Формально к этому же типу реакций относится восстановление диорганилхалькогеноксидов бис(триалкилсилил)-теллуривами,<sup>56</sup> которое можно рассматривать как промышленный метод получения халькогенидов из халькогеноксидов, поскольку они образуются с высокими выходами (80–100%) и легко отделяются от других продуктов — гексаалкилдисилоксанов и элементного теллура. Следует отметить, что бис(триметилсилил)сульфид и -селенид также довольно эффективны в этой реакции.<sup>56</sup>



$R^1 = Me; R^2 = Ph, M = Te; R^2 = Me, M = S;$   
 $R_3^1 = Bu^tMe_2; R^2 = Ph, M = Se; R^2 = Me, M = S.$

На сравнительно легком элиминировании атома  $Te$  из соединений **7** основано использование бис(трифенилстанил)-теллурива (**7f**) для монодесульфирования органических трисульфидов<sup>76</sup> и синтеза арил(трифенилстанил)сульфидов.<sup>77</sup> Органические трисульфиды различных типов (арил-, бензил-, алкил-) легко переходят в соответствующие дисульфиды под действием  $(Ph_3Sn)_2Te$ . Скорость реакции десульфирования возрастает по мере повышения полярности растворителя.



$R = FC_6H_4, MeC_6H_4, Bn, PhCHMe, Me(CH_2)_2.$

Другие бис(трифенилстанил)халькогениды ( $(Ph_3Sn)_2M$  ( $M = S, Se$ )) также способны монодесульфировать органические трисульфиды; при этом реакционная способность халькогенидов  $(Ph_3Sn)_2M$  уменьшается в ряду  $M = Te > Se > S$ . Бис(трифенилстанил)селенид десульфирует только диарил- и дифенилтрисульфиды, а десульфирование бис(трифенилстанил)сульфидом протекает с очень низкими выходами и лишь при продолжительном кипячении реакционной смеси.<sup>76</sup>

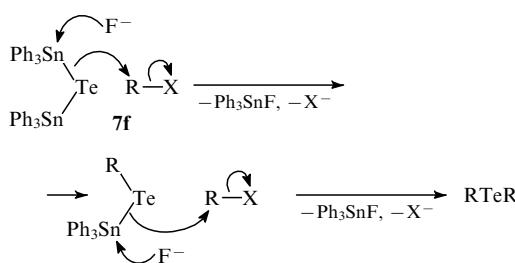
Взаимодействие теллурида **7f** с диарилдисульфидами, осуществляющееся в мягких условиях ( $\text{MeCN}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ), приводит к арил(трифенилстанил)сульфидам **36** с высокими, а в ряде случаев с количественными выходами.<sup>77</sup> Диалкил- и дibenзилдисульфиры в подобную реакцию не вступают. Соединения **36** могут быть получены из диарилдисульфидов и бис(трифенилстанил)селенода.<sup>77</sup> Однако последний заметно менее эффективен по сравнению с теллуридом. Так, при прочих равных условиях (растворитель, температура, время реакции) 4-метилфенил(трифенилстанил)сульфид образуется с количественным выходом при обработке соответствующего дисульфида теллуридом **7f** с выходом только 28% при использовании селенового производного.<sup>77</sup>



$\text{Ar} = 4\text{-ClC}_6\text{H}_4, 4\text{-FC}_6\text{H}_4, \text{Ph}, 4\text{-MeC}_6\text{H}_4, 2\text{-C}_10\text{H}_7$ .

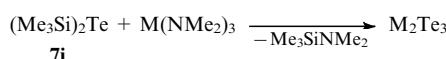
Если органил(триметилсилил)теллуриды  $\text{RTeSiMe}_3$  являются синтетическими эквивалентами органилтеллуролят-анионов  $\text{RTe}^-$  (см. раздел II.2), то соединения **7** и, в частности, бис(трифенилстанил)теллурид (**7f**) выступают как синтетические эквиваленты теллурид-аниона  $\text{Te}^{2-}$  (см.<sup>73, 78</sup>).

Бис(трифенилстанил)теллурид (**7f**) в сочетании с  $\text{CsF}$  (4 экв.) является мягким теллурирующим агентом.<sup>73, 78</sup> При взаимодействии этого реагента с органическими бромидами и иодидами в  $\text{MeCN}$  при  $20^\circ\text{C}$  образуются симметричные диорганилтеллуриды с высокими выходами.<sup>73, 78</sup> Арил-иодиды и алкилхлориды инертны по отношению к соединению **7f**, что позволяет синтезировать диорганилтеллуриды, содержащие в молекулах атомы хлора. Полагают,<sup>73</sup> что образование диорганилтеллуридов происходит в две стадии и включает атаку фторид-иона на атом олова.



$\text{X} = \text{Br, I}; \text{R} = \text{Pr}^i, \text{Bn, Cl}(\text{CH}_2)_6, \text{Me}(\text{CH}_2)_9, \text{PhCOCH}_2, \text{CH}_2\text{CO}_2\text{Et}, \text{CH}_2\text{CO}_2\text{Me, CH}_2\text{CO}_2\text{Pr}^n, \text{CH}_2\text{CO}_2\text{Bu}^i, (\text{CH}_2)_3\text{CO}_2\text{Et}$ .

Особый интерес представляют реакции бис(триалкилсилил)теллуридов с некоторыми элементоорганическими соединениями, в ходе которых происходит разрыв обеих связей  $\text{Te-Si}$ , причем образуется не элементный  $\text{Te}$ , а теллуриды соответствующих металлов. Так, реакция бис(триметилсилил)теллурида (**7i**) с трис(диметиламинино)сульфом или -висмутом протекает в очень мягких условиях (тексан,  $-30^\circ\text{C}$ ) и приводит к поликристаллическим теллуридам сульфма и висмута,<sup>11</sup> которые обладают полупроводниковыми свойствами.



$\text{M} = \text{Sb, Bi}$ .

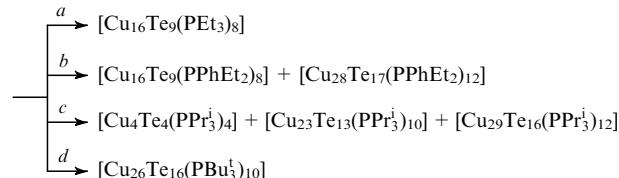
Вместо диметиламинопроизводных могут быть использованы диалкилы металлов. Этим способом синтезирован теллурид  $\text{Cd}(\text{II})^{10}$ .



Взаимодействие бис(триметилсилил)теллурида (**7i**) с хлоридом меди(I) в присутствии фосфинов приводит к кластерным комплексам меди,<sup>79</sup> отличающимся от кластеров, полученных с использованием бутил(триметилсилил)теллурида<sup>5</sup> (см. раздел II.2).



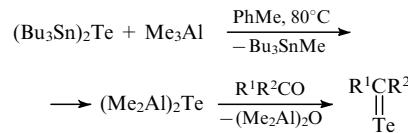
**7i**



a)  $\text{PEt}_3, \text{Et}_2\text{O}$ ; b)  $\text{PPhEt}_2, \text{Et}_2\text{O}$ ; c)  $\text{PPr}_3^i, \text{Et}_2\text{O}$ ; d)  $\text{PBu}_3^i, \text{THF}$ .

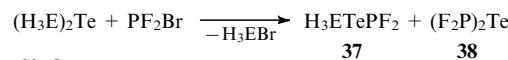
Взаимодействие теллуридов **7** с иными по сравнению с приведенными выше элементоорганическими производными  $\text{Sb, Bi}$  и  $\text{Cd}$  протекает с разрывом двух (реже одной) связей  $\text{Te-E}$ ; при этом теллур входит в состав одного из конечных продуктов реакций.

Бис(трибутилстанил)теллурид вступает в реакцию перегородки с триметилалюминием.<sup>80, 81</sup> Используемый *in situ* бис(диметилалюминий)теллурид  $(\text{Me}_2\text{Al})_2\text{Te}$  является эффективным теллурирующим агентом. При обработке этим реагентом альдегидов, кетонов<sup>80</sup> и *N*-метилформамила<sup>81</sup> образуются теллуроальдегиды (кетоны)<sup>80</sup> и *N*-метилтелеуроформалид<sup>81</sup> соответственно.



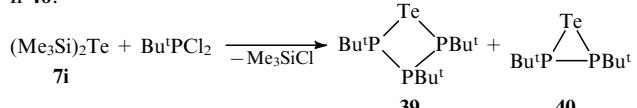
$\text{R}^1 = \text{H}; \text{R}^2 = \text{Pr}^n, \text{Bu}^i, \text{Ph, N}(\text{Me})\text{Ph}; \text{R}^1\text{R}^2\text{CO}$  — адамантанон, бицикло[3.3.1]нонан-7-он.

Теллуриды  $(\text{H}_3\text{E})_2\text{Te}$  реагируют с  $\text{PF}_2\text{Br}$  с разрывом одной и двух связей  $\text{Te-E}$ , что приводит к смеси соединений **37** и **38**.<sup>82</sup> Последние не были выделены в индивидуальном состоянии и об их образовании судили по спектрам ЯМР  $^1\text{H}$  и  $^{19}\text{F}$ .



$\text{E} = \text{Si, Ge}$ .

В то же время взаимодействие бис(триметилсилил)теллурида **7i** с  $\text{Bu}^i\text{PCl}_2$  протекает с разрывом обеих связей  $\text{Te-Si}$ , в результате чего образуется смесь циклических соединений **39** и **40**.<sup>83</sup>



Реакции бис(триалкилсилил)теллуридов с ацилхлоридами и бисацилтеллуридами рассмотрены в недавнем обзоре<sup>84</sup>.

Связь  $\text{Te-E}$  в теллуридах **7** легко расщепляется под действием протонных кислот ( $\text{HCl}$ , безводная  $\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$ ).<sup>63</sup> Так, первый силилтеллурол — триэтилсилилтеллурол — получен обработкой бис(триэтилсилил)теллурида (**7a**) трифторуксусной кислотой (мольное соотношение реагентов 1 : 1) при  $20^\circ\text{C}$ . Под действием избытка кислоты связь  $\text{Te-Si}$  в теллуроле разрывается, и конечными продуктами реакции

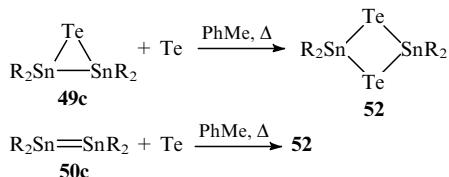


Синтез Te,Ge-цикла **49d** был осуществлен также кипячением гексаметилциклотригермана (**51**) с порошкообразным теллуром в толуоле.<sup>90</sup> Очевидно, что реакция протекает через промежуточное образование дигермана **50** ( $E = Ge, R = 2,4,6\text{-Me}_3C_6H_2$ ).

**51**

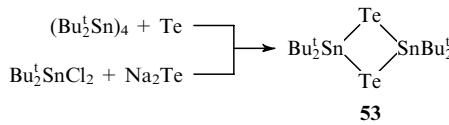
Соединения **49a–d** представляют собой высокоплавкие кристаллические вещества, стабильные по отношению к кислороду и влаге воздуха. Гермильные производные **49b,d** обладают термохромными свойствами: бесцветные при  $-196^{\circ}\text{C}$ , они становятся светло-желтыми при  $20^{\circ}\text{C}$  и оранжевыми при  $140^{\circ}\text{C}$ .<sup>90</sup> Строение циклических соединений **49a–c** изучено методом РСА.

Взаимодействие соединения **49c** с избытком порошкообразного теллура в толуоле приводит к цикло-1,3-дителлура-2,4-дистаннану **52** с количественным выходом.<sup>91</sup> Этот же цикл получен с выходом 73% кипячением смеси соответствующего дистаннана **50c** с порошкообразным теллуром в толуоле (мольное соотношение реагентов 1:3).<sup>91</sup>

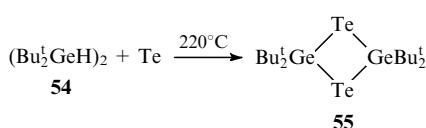


$\mathbf{R} = 2,4,6\text{-Pr}_3C_6H_2$ .

*трет*-Бутильный аналог соединения **52** — цикло-1,3-дителлура-2,4-дистаннан **53** — синтезирован реакцией тетрамерного ди(*трет*-бутил)олова с теллуром, а также взаимодействием  $Bu_2^tSnCl_2$  с теллуридом натрия.<sup>92</sup>

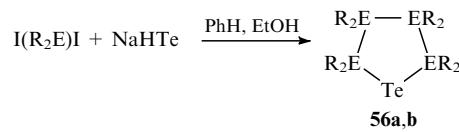


Для получения цикло-1,3-дителлура-2,4-дигермана **54** использована реакция, подобная применявшейся для синтеза теллуридов  $(R_3E)_2Te$  (см. раздел III.1). Нагревание гидрида **54** с порошкообразным теллуром приводит к циклическому соединению **55** с почти количественным выходом.<sup>93</sup> Следует отметить, что при взаимодействии гидрида **54** с селеном образуется смесь четырех- и пятичленных циклических продуктов.<sup>93</sup>

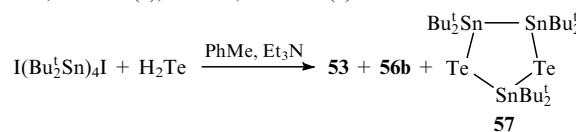


Синтез пятичленных циклических производных  $R_8E_4Te$  (**56a,b**,  $E = Ge, Sn$ ) осуществлен при использовании однотипных по строению производных элементов 14 группы. Октафенилтеллуратетрагермацикlopентан (**56a**) получен реакцией 1,4-диiodоктатетрагермана с гидротеллуридом натрия в смеси бензол–этанол.<sup>94</sup> Взаимодействие 1,4-диiodоктатетрагермана с  $H_2Te$  в присутствии триэтиламина приводит к окта(*трет*-бутил)теллуратетрагермацикlopентану (**56b**).<sup>95</sup> Поскольку в результате реакции триэтиламина с  $H_2Te$  образуется гидротеллурид триэтиламмония  $Et_3NH^+HTe^-$ , можно утверждать, что теллуродержащим субстратом в обеих реакциях является анион

$HTe^-$ . Теллурид натрия не пригоден для получения цикла **56b**, так как он расщепляет связи  $Sn—Sn$  в исходном соединении. Побочными продуктами при получении 1-теллура-2,3,4,5-тетрастаннацикlopентана **56b** являются соединение **53** и *трет*-бутильное производное 1,3-дителлура-2,4,5-тристаннацикlopентана **57**.<sup>95</sup>



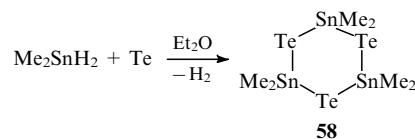
$E = Ge, R = Ph$  (**a**);  $E = Sn, R = Bu_2^t$  (**b**).



Соединение **56b** довольно стабильно при хранении, тогда как его германиевый аналог **56a** быстро окисляется на воздухе с образованием  $(Ph_2Ge)_4O$ .<sup>94</sup> Согласно данным РСА,<sup>95</sup> цикл в соединении **56b** практически планарен.

Представитель еще одного типа пятичленных циклических соединений, содержащих атомы Te и Sn, — 2,4,5-гексаметил-1,3-дителлура-2,4,5-тристаннацикlopентан — получен реакцией порошкообразного теллура с диметилстannаном, который в свою очередь синтезирован восстановлением диметилдихлорстannана алюмогидридом лития в смеси  $Et_2O$ –DMF (30:1 по объему).<sup>96</sup> Он охарактеризован данными масс-спектрометрии и спектроскопии ЯМР  $^1H$  (см.<sup>96</sup>) и  $^{119}Sn$  (см.<sup>97</sup>).

Восстановление диметилдихлорстannана или  $Me_2SnO$  алюмогидридом лития в  $Et_2O$  и последующая реакция диметилстannана с порошкообразным теллуром приводят к 2,2,4,4,6,6-гексаметил-1,3,5-трителлура-2,4,6-тристаннациклюгексану (**58**) с выходом 58%.<sup>98</sup>



Соединение **59** получено с выходом 62% также реакцией диметилдихлорстannана с гидротеллуридом натрия (синтезирован из Te и  $NaBH_4$  в воде).<sup>99</sup> Оно охарактеризовано данными РСА<sup>99</sup> и масс-спектрометрии.<sup>98</sup>

## VI. Заключение

Представленные в обзоре данные свидетельствуют о том, что соединения со связью Te–элемент 14-й группы являются перспективным в синтетическом отношении классом элементоорганических соединений. Они могут быть использованы для синтеза теллурорганических производных различных типов: элементоорганических теллуролов, арилалкилтеллуролов, арилтеллуробензоатов и арилтеллуроформиатов, различных теллурокетонов и гетероциклов на основе последних. Перспективная, хотя и малоизученная к настоящему времени, область применения рассматриваемых соединений — получение теллуролятов различных металлов, теллуродержащих кластеров и низкотемпературный синтез теллуридов металлов. Немногочисленные пока данные указывают на возможность использования соединений со связью Te–E в органическом синтезе для получения ряда органических производных серы и некоторых других элементоорганических соединений.

Расширение круга изученных реакций, прежде всего приходящих к теллуролятам и теллуридам металлов, поиск новых методов синтеза и изучение свойств соединений  $R_3^1ETeR^2$  и  $(R_3E)_2Te$ , разработка способов получения и изучение реакций других типов соединений со связями Te — элемент 14-й группы —  $(RTe)_4E$  и  $(R^1Te)_nER_{4-n}$  ( $n = 2, 3$ ) — представляют несомненный интерес как для теллурорганической химии, так и для органической химии вообще.

Обзор написан при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 99-03-33132а и № 00-15-97320) и Министерства образования РФ (грант 2000-5-117).

## Литература

- P.Boese, A.Haas, C.Limberg. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **2547** (1993)
- J.Beck, A.Haas, W.Herrendorf, H.Heuduk. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **4463** (1996)
- M.Baum, J.Beck, A.Haas, W.Herrendorf, C.Monse. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **11** (2000)
- S.A.Gardner, P.J.Trotter, H.J.Gysling. *J. Organomet. Chem.*, **212**, 35 (1981)
- J.F.Corrigan, S.Balter, D.Fenske. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **729** (1996)
- C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Chem. Soc., Perkin Trans. I*, **2689** (1997)
- C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Org. Chem.*, **63**, 5713 (1998)
- M.J.Evers, L.E.Christiaens, M.Renson. *J. Org. Chem.*, **51**, 5196 (1986)
- K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 977 (1986)
- S.M.Stuczynski, J.G.Brennan, M.L.Steigerwald. *Inorg. Chem.*, **28**, 4431 (1989)
- T.J.Groshens, R.W.Gedridge, C.K.Lowe-Mo. *Chem. Mater.*, **6**, 727 (1994)
- K.J.Irgolic. *The Organic Chemistry of Tellurium*. Gordon and Breach, New York; London; Paris, 1974
- И.Д.Садеков, А.А.Максименко, В.И.Минкин. *Химия теллурорганических соединений*. Изд-во Рост. ун-та, Ростов-на-Дону, 1983
- The Chemistry of Organic Selenium and Tellurium Compounds. Vol. 1.* (Eds S.Patai, Z.Rappoport). Wiley, New York; Brisbane; Toronto; Singapore, 1986
- J.Arnold. *Progr. Inorg. Chem.*, **43**, 353 (1995)
- И.Д.Садеков, А.В.Захаров. *Успехи химии*, **68**, 999 (1999)
- J.E.Drake, R.T.Hemmings. *Inorg. Chem.*, **19**, 1879 (1980)
- K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Tetrahedron Lett.*, **26**, 453 (1985)
- C.H.W.Jones, R.D.Sharma, S.P.Taneja. *Can. J. Chem.*, **64**, 980 (1986)
- А.Н.Егорочкин, Е.Н.Гладышев, С.Я.Хоршев, П.Я.Баюшкин, А.И.Буров, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 639 (1971)
- C.H.W.Jones, R.D.Sharma. *J. Organomet. Chem.*, **268**, 113 (1984)
- K.Praefcke, C.Weichsel. *Synthesis*, 216 (1980)
- А.И.Чаров, М.Н.Бочкарев, Н.С.Вязанкин. *Журн. общ. химии*, **43**, 772 (1973)
- N.S.Dance, W.R.McWhinnie, C.H.W.Jones. *J. Organomet. Chem.*, **125**, 291 (1977)
- Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **36**, 1154 (1966)
- Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **37**, 1037 (1967)
- C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1419 (1996)
- C.H.Schiesser, M.A.Skidmore. *J. Organomet. Chem.*, **552**, 145 (1998)
- D.L.I.Clive, G.I.Chittattu, V.Farina, W.A.Kiel, S.M.Menchien, C.G.Russell, A.Singh, C.K.Wong, N.I.Curtis. *J. Am. Chem. Soc.*, **102**, 4438 (1980)
- Е.Н.Гладышев, В.С.Андреевичев, А.А.Климов, Н.С.Вязанкин, Г.А.Разуваев. *Журн. общ. химии*, **42**, 1077 (1972)
- G.Becker, K.W.Klinkhammer, S.Lartiges, P.Bottcher, W.Poll. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **613**, 7 (1992)
- J.C.Scaiano, P.Schmid, K.U.Ingold. *J. Organomet. Chem.*, **121**, C4 (1976)
- N.Ohira, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 853 (1984)
- Y.Aso, T.Nishioka, M.Osuka, K.Nagakawa, K.Sasaki, T.Otsubo, F.Ogura. *J. Chem. Soc. Jpn., Chem. Ind.*, 1490 (1987); *РЖХим.*, 3 Ж 475 (1988)
- K.Nagakawa, M.Osuka, K.Sasaki, Y.Aso, T.Otsubo, F.Ogura. *Chem. Lett.*, 1331 (1987)
- E.W.Abel, D.J.Walker. *J. Chem. Soc. A*, 2338 (1968)
- N.Miyoshi, H.Ishii, S.Murai, N.Sonoda. *Chem. Lett.*, 873 (1979)
- S.Kato, T.Murai, M.Ishida. *Org. Prep. Proc. Int.*, **18**, 369 (1986)
- M.A.Lucas, C.H.Schiesser. *J. Org. Chem.*, **61**, 5754 (1996)
- M.A.Lucas, C.H.Schiesser. *J. Org. Chem.*, **63**, 3032 (1998)
- I.Davies, W.R.McWhinnie, N.S.Dance, C.H.W.Jones. *Inorg. Chim. Acta*, **29**, L217 (1978)
- L.-B.Han, S.Shimada, M.Tanaka. *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 8133 (1997)
- K.A.Hooton, A.L.Allred. *Inorg. Chem.*, **4**, 671 (1965)
- H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *Angew. Chem.*, **75**, 138 (1963)
- H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **2**, 361 (1963)
- H.Schumann, K.-F.Thom, M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **4**, 22 (1965)
- H.Schumann, K.-F.Thom., M.Schmidt. *J. Organomet. Chem.*, **4**, 28 (1965)
- H.Schumann, M.Schmidt. *Angew. Chem.*, **77**, 1049 (1965)
- D.E.Gindelberger, J.Arnold. *Organometallics*, **13**, 4462 (1994)
- Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **38**, 414 (1968)
- М.Н.Бочкарев, Л.П.Майорова, А.И.Чаров, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 1375 (1972)
- H.Schumann, R.Mohtachemi, H.-J.Kroth, U.Frank. *Chem. Ber.*, **106**, 2049 (1973)
- H.Buerger, U.Goetze. *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, **3**, 549 (1967)
- H.Buerger, U.Goetze, W.Sawodny. *Spectrochim. Acta*, **24A**, 2003 (1968)
- S.Cradock, E.A.V.Ebsworth, D.W.H.Rankin. *J. Chem. Soc. A*, 1629 (1969)
- M.R.Detty, M.D.Seidler. *J. Org. Chem.*, **47**, 1354 (1982)
- R.Eujen, F.F.Laufs, H.Oberhammer. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **561**, 82 (1988)
- M.Herberhold, U.Steffl, W.Milius, B.Wrackmeyer. *Angew. Chem.*, **108**, 1927 (1996)
- M.Herberhold, U.Steffl, W.Milius, B.Wrackmeyer. *J. Organomet. Chem.*, **533**, 109 (1997)
- F.W.B.Einstein, C.H.W.Jones, T.Jones, R.D.Sharma. *Can. J. Chem.*, **61**, 2611 (1983)
- J.E.Drake, R.T.Hemmings, E.Henderson. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 366 (1976)
- Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **36**, 166 (1966)
- М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина, Н.С.Вязанкин. *Журн. общ. химии*, **39**, 135 (1969)
- J.M.Fisher, W.E.Piers, S.D.P.Batchelder, M.J.Zaworotko. *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 283 (1996)
- М.Н.Бочкарев, Н.С.Вязанкин, Л.П.Майорова. *Докл. АН СССР*, **200**, 1102 (1971)
- T.R.Bierschenk, T.J.Juhlke, R.J.Lagow. *J. Am. Chem. Soc.*, **103**, 7340 (1981)
- T.R.Bierschenk, M.A.Guerra, T.J.Juhlke, S.B.Larson, R.J.Lagow. *J. Am. Chem. Soc.*, **109**, 4855 (1987)
- B.O.Dabbousi, P.J.Bonasia, J.Arnold. *J. Am. Chem. Soc.*, **113**, 3186 (1991)
- P.J.Bonasia, D.E.Gindelberger, B.O.Dabbousi, J.Arnold. *J. Am. Chem. Soc.*, **114**, 5209 (1992)
- H.Schumann, I.Schumann-Ruidish. *J. Organomet. Chem.*, **18**, 355 (1969)

71. Н.С.Вязанкин, Л.П.Санина, Г.С.Калинина, М.Н.Бочкарев. *Журн. общ. химии*, **38**, 1800 (1968)
72. I.D.Sadekov, B.V.Rivkin, A.A.Maksimenko, E.I.Sadekova. *Sulfur Rep.*, **17**, 1 (1995)
73. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **31**, 6291 (1990)
74. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **32**, 1545 (1991)
75. Н.С.Вязанкин, М.Н.Бочкарев, Л.П.Санина. *Журн. общ. химии*, **37**, 1545 (1967)
76. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **34**, 903 (1993)
77. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Tetrahedron Lett.*, **33**, 7293 (1992)
78. C.-J.Li, D.N.Harpp. *Sulfur Lett.*, **13**, 139 (1991)
79. D.Fenske, J.C.Steck. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **32**, 239 (1993)
80. M.Segi, T.Koyama, Y.Takata, T.Nakajima, S.Suga. *J. Am. Chem. Soc.*, **111**, 8749 (1989)
81. M.Segi, A.Kojima, T.Nakajima, S.Suga. *Synth. Lett.*, 105 (1991)
82. D.E.J.Arnold, J.S.Dryburgh, E.A.V.Ebsworth, D.W.H.Rankin. *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, 2518 (1972)
83. W.W.du Mont, R.Hensel, S.Kubiniok, L.Lange, T.Severengiz. *Phosphorus Sulfur Relat. Elem.*, **38**, 85 (1988)
84. И.Д.Садеков, А.А.Максименко, В.Л.Ниворожкин. *Успехи химии*, **67**, 219 (1998)
85. C.Glidewell, D.W.H.Rankin, G.M.Sheldrick. *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, 1409 (1969)
86. М.Н.Бочкарев, В.С.Андреевичев, Н.С.Вязанкин. *Изв. АН СССР. Сер. хим.*, 702 (1973)
87. H.Schumann, R.Weiss. *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.*, **9**, 246 (1970)
88. V.Küllmer, H.Vahrenkamp. *Chem. Ber.*, **110**, 228 (1977)
89. R.P.-K.Tan, G.R.Gillette, D.R.Powell, R.West. *Organometallics*, **10**, 546 (1991)
90. T.Tsumuraya, Y.Kabe, W.Ando. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.*, 1159 (1990)
91. A.Schäfer, M.Weidenbruch, W.Saak, S.Pohl, H.Marsmann. *Angew. Chem.*, **103**, 873 (1991)
92. H.Puff, R.Gattermayer, R.Hundt, R.Zimmer. *Angew. Chem.*, **89**, 556 (1977)
93. M.Wojnowska, M.Noltemeyer, H.-J.Füllgrabe, A.Meller. *J. Organomet. Chem.*, **228**, 229 (1982)
94. L.Ross, M.Dräger. *J. Organomet. Chem.*, **194**, 23 (1980)
95. H.Puff, A.Bongartz, W.Schun, R.Zimmer. *J. Organomet. Chem.*, **248**, 61 (1983)
96. B.Mathiash. *Z. Anorg. Allg. Chem.*, **432**, 269 (1977)
97. A.Blecher, B.Mathiash, T.N.Mitchell. *J. Organomet. Chem.*, **184**, 175 (1980)
98. A.Blecher, B.Mathiash. *Z. Naturforsch., B Chem. Sci.*, **33**, 246 (1978)
99. A.Blecher, M.Dräger. *Angew. Chem.*, **91**, 740 (1979)

## SYNTHESIS AND REACTIONS OF ORGANIC COMPOUNDS CONTAINING THE Te—GROUP 14 ELEMENT BOND

**I.D.Sadekov**

*Research Institute of Physical and Organic Chemistry of the Rostov State University  
194/2, Prosp. Stachki, 344090 Rostov-on-Don, Russian Federation, Fax +7(863)243–4667*

The data on the synthesis and reactions of organic compounds containing Te—Group 14 element bonds are generalised and described systematically. Data on the use of these compounds for the preparation of organoelement compounds, complexes with organotellurium ligands, tellurium-containing clusters, and metal tellurides are presented.

Bibliography — 99 references.

*Received 30th July 2001*