

УДК 546.7,548.3,546.22

ГАЛОГЕННЫЕ И ВОДОРОДНЫЕ СВЯЗИ В СОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЛЯХ ФЕРРОЦЕНИЙ-ОРГАНОТЕЛЛУРГАЛОГЕНИДОВ

© 2019 г. Ю. В. Торубаев^{1, *}, К. А. Лысенко², А. Е. Попова¹

¹Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

²Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН, Москва, Россия

*e-mail: torubaev@igic.ras.ru

Поступила в редакцию 08.04.2019 г.

После доработки 16.05.2019 г.

Принята к публикации 20.05.2019 г.

При взаимодействии ферроцена и декаметилферроцена с винильным трихлортеллуридом $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ образуются необычные солевые сокристаллы $[\text{Cp}_2\text{Fe}]^+\text{Cl}^-\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ (I) и $[(\text{C}_5\text{Me}_5)_2\text{Fe}]^+\text{Cl}^-\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ (II). Молекула $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ в них нейтральна и образует лишь нековалентные (водородные и халькогенные) связи с хлорид-ионом. Гидролитическое замещение атома хлора в $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$, не участвующего в 3-центрковой-4-электронной связи $\text{Cl}-\text{Te}-\text{Cl}$, происходит вследствие общей чувствительности органических теллурхлоридов к влаге, и сопутствующая реакция окисления ферроцена не является необходимым условием образования $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ (III) (CCDC № 1908530 (I), 1908531 (II), 1908532 (III)).

Ключевые слова: галогенные связи, халькогенные связи, водородные связи, сокристаллические соли, теллургалогениды, ферроцен, PCA

DOI: 10.1134/S0132344X19110100

Интенсивное изучение галогенных связей [1], родственных им халькогенных [2] и прочих так называемых σ -дырочных взаимодействий [3] в последнее десятилетие привело к бурному росту числа исследований фундаментальных и прикладных аспектов нековалентных межмолекулярных взаимодействий (называемых также вторичными, невалентными). Это, в свою очередь, дало новые инструменты для дизайна кристаллов и функциональных материалов [4, 5] и привлекло значительное внимание и ресурсы к инженерии сокристаллов [6, 7]. Большое разнообразие, необычность сочетаний компонентов в сокристаллах, в частности их растущая роль в современной фармацевтике, привело к необходимости уточнения и пересмотра номенклатуры и классификации бинарных (и более) кристаллических систем [8, 9].

В описанных нами ранее продуктах взаимодействия ферроцена с PhTeBr_3 наблюдается два типа структур: 1) $\text{Cp}_2\text{Fe}^+[\text{PhTeBr}_4]^-$, компактная, с четким разделением компонентов на димерные анионы $[\text{PhTeBr}_3(\mu-\text{Br})]_2^-$ и стопки катионов Cp_2Fe^+ , образующихся за счет π - π -стекинга между Cp -кольцами ферроцена, 2) частично гидролизованый оксо-хлортеллуурофенолят ферроцена $[\text{Cp}_2\text{Fe}^+[(\text{PhTeBr}_3)_2(\mu-\text{O})]^-]$, в котором катионы Fe^+

располагаются между анионами $[(\text{PhTeBr}_3)_2(\mu-\text{O})]^-$ и связаны с ними за счет $\text{C}-\text{H}\cdots\text{Te}$ и $\text{C}-\text{H}\cdots\pi\text{Ph}$ водородных связей (рис. 1) [10].

В продолжение этих исследований и с целью изучения подходов к направленному дизайну гибридных сокристаллов, содержащих металлокомплексные и элементоорганические компоненты, мы изучили образование и строение продуктов сокристаллизации ферроценов с инильным трихлортеллуридом $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Коммерческие $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Fe}$ и $(\text{C}_5\text{Me}_5)_2\text{Fe}$ перекристаллизовывали перед использованием. $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ получали по методике [11]. Органические растворители осушали по стандартным методикам.

Синтез $[\text{Cp}_2\text{Fe}]^+\text{Cl}^-\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ (I). Желто-оранжевый раствор 9 мг (0.05 ммоль) ферроцена в 0.1 мл CH_2Cl_2 помещали в пробирку (внутренний диаметр 5 мм) и осторожно, по каплям прибавляли бесцветный раствор 22 мг (0.05 ммоль) $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ в 0.1 мл CH_2Cl_2 . Область соприкосновения растворов окрашивалась в зеленый цвет, характерный для катиона ферроцена, и в области контакта растворов на-

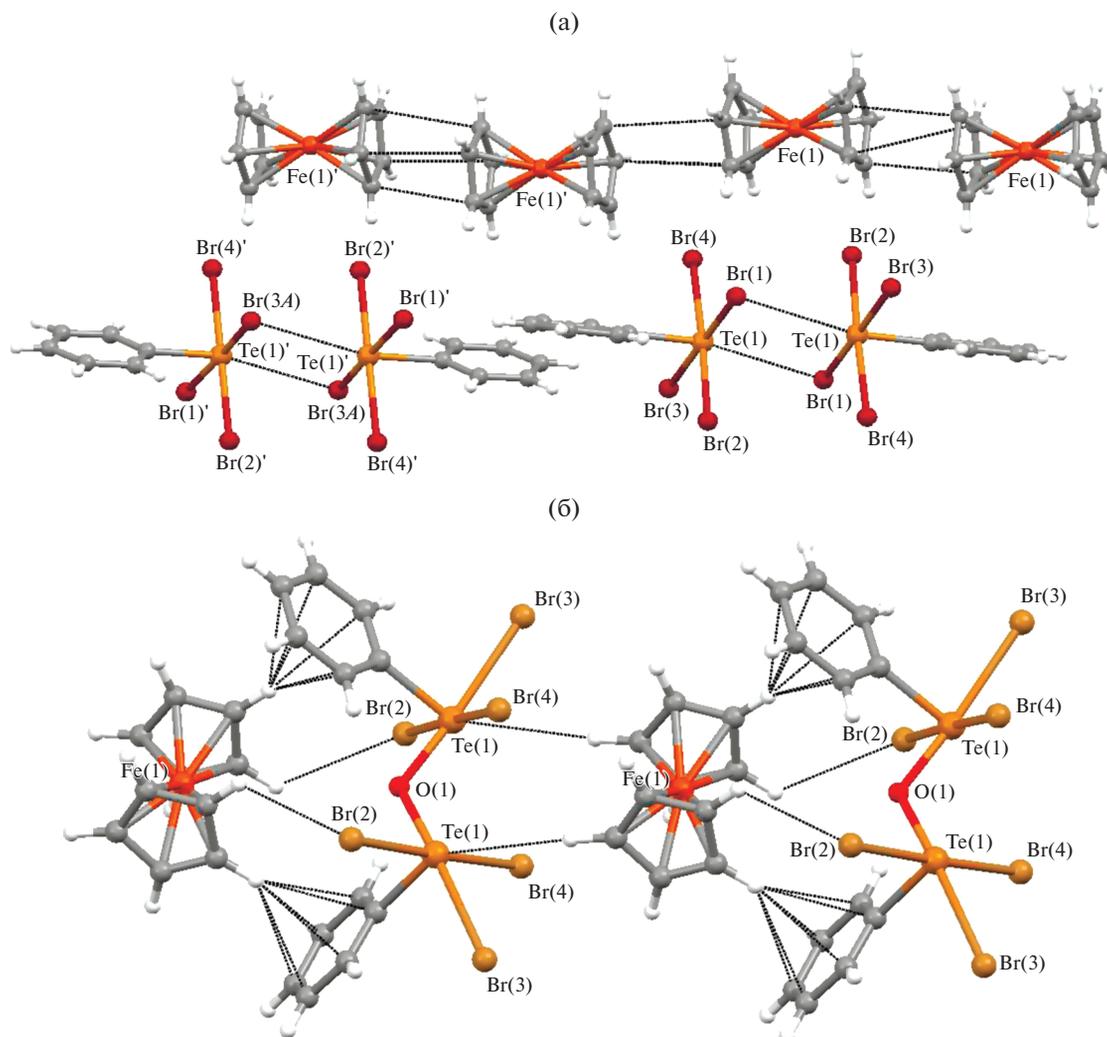


Рис. 1. Фрагменты цепочечных структур в кристаллической упаковке $Cp_2Fe^+[PhTeBr_4]^-$ (а) и $[Cp_2Fe]^+[(PhTeBr_3)_2(\mu-O)]^-$ (б) [10].

блюдалось образование черно-зеленых твердых частиц. Пробирку продували аргоном, запечатывали несколькими слоями парафильма и оставляли при комнатной температуре в темном месте. Через 2 сут растворитель практически полностью испарялся и на стенках ампулы образовывались однородные зеленые призматические кристаллы, пригодные для РСА.

Синтез $[(C_5Me_5)_2Fe]^+Cl^-(Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_2OH)$ (II). Желто-оранжевый раствор 16 мг (0.05 ммоль) декаметилферроцена в 0.1 мл CH_2Cl_2 помещали в пробирку (внутренний диаметр 5 мм) и осторожно, по каплям прибавляли бесцветный раствор 22 мг (0.05 ммоль) $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_3$ в 0.2 мл CH_2Cl_2 . Область соприкосновения растворов окрашивалась в зеленый цвет, характерный для катиона ферроцена, но выпадения осадка или образования твердых частиц в области контакта

растворов не наблюдалось. Пробирку продували аргоном, запечатывали несколькими слоями парафильма и оставляли при комнатной температуре в темном месте. Через 5 сут растворитель практически полностью испарялся и на стенках образовывались однородные зеленые призматические кристаллы, пригодные для РСА.

Синтез $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_2OH$ (III). Раствор 22 мг (0.05 ммоль) $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_3$ в 0.1 мл ДМСО помещали в пробирку (внутренний диаметр 5 мм), закрывали ватной заглушкой и оставляли в защищенном от света и пыли месте при комнатной температуре. Через 2 нед. на дне пробирки под слоем растворителя образовывались однородные бесцветные призматические кристаллы, пригодные для РСА.

РСА выполнен на дифрактометре Bruker APEX II CCD (II, III) и Agilent Oxford (I). Поглощение учтено методом множественного измерения эк-

Таблица 1. Кристаллографические данные и параметры уточнения структур I–III

Параметр	Значение		
	I	II	III
Брутто-формула	$C_{38}H_{32}O_2Cl_7Fe_1Te_2$	$C_{48}H_{52}O_2Cl_7FeTe_2$	$C_{12}H_{16}O_2SCl_3Te$
<i>M</i>	1080.77	1220.93	458.26
Излучение (λ , Å)	CuK_{α} (1.54184)	MoK_{α} (0.71073)	MoK_{α} (0.71073)
<i>T</i> , К	293	150	150
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная
Пр. гр.	$P2_1/c$	$C2/c$	Pc
<i>Z</i>	4	8	8
<i>a</i> , Å	17.4427(3)	30.1203(19)	12.5710(11)
<i>b</i> , Å	15.5567(3)	9.8261(6)	12.4019(11)
<i>c</i> , Å	14.8766(3)	21.636(2)	19.3794(17)
α , град	90	90	90
β , град	100.7562(18)	128.9990(10)	106.986(2)
γ , град	90	90	90
<i>V</i> , Å ³	3965.85(13)	4976.5(7)	2889.5(4)
ρ (выч.), г/см ³	1.809	1.628	2.107
μ , см ⁻¹	190.35	18.65	27.52
<i>F</i> (000)	2100	2420	1784
$2\theta_{max}$, град	135	50	50
Число измеренных отражений	15834	29609	35020
Число независимых отражений	7521	6634	15226
Число отражений с $I > 2\sigma(I)$	5420	5691	11370
Количество уточняемых параметров	459	278	623
<i>R</i> ₁	0.0497	0.0253	0.0630
<i>wR</i> ₂	0.1330	0.0635	0.1784
GOOF	1.030	1.047	0.977
Остаточная электронная плотность (min/max), $e \text{ \AA}^{-3}$	1.348/–0.833	0.626/–0.369	2.603/–1.364

вивалентных отражений с использованием программы SADABS [12]. Структура I–III определена прямым методом и уточнена методом наименьших квадратов относительно F^2 в анизотропном приближении неводородных атомов с использованием пакета программ SHELXTL [13]. Положения атомов H рассчитаны геометрически. Параметры рентгеноструктурного эксперимента и уточнения для структуры I–III приведены в табл. 1, основные расстояния и углы – в подписях к рис. 2–4.

Координаты атомов и другие параметры структуры I–III депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 1908530 (I), 1908531 (II), 1908532 (III); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При замене $PhTeBr_3$ на $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_3$ в реакции с ферроценом также наблюдается окисление ферроцена до монокациона Cp_2Fe^+ и частичный гидролиз $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_3$ до $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_2OH$, образующего водородные ($O-H \cdots Cl \sim 2.5 \text{ \AA}$) и халькогенные ($Te \cdots Cl \sim 3.3 \text{ \AA}$) связи с хлорид-анионом. В кристалле I на один катион ферроцена приходится один хлоридный анион и две молекулы $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_2OH$. В отличие от $PhTeBr_3$, образующего анион $PhTeBr_4^-$, четвертое положение в экваториальной плоскости теллура в $Ph(Cl)C=C(Ph)TeCl_3$ экранировано винильным атомом хлора, поэтому гидроксильная группа замещает один из трех атомов хлора при теллуре. Важно отметить, что это хлор, не

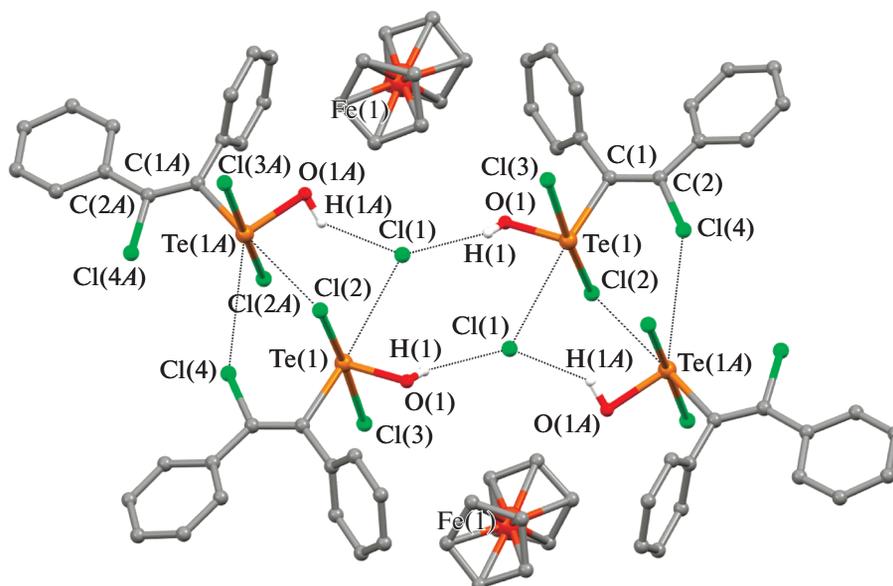


Рис. 2. Фрагмент кристаллической упаковки I: внутримолекулярные расстояния – Te(1)–Cl(3) 2.521(2), Te(1)–Cl(2) 2.495(2), Te(1)–O(1) 1.909(4), Te(1A)–Cl(3A) 2.454(2), Te(1A)–Cl(2A) 2.533(2), Te(1A)–O(1A) 1.908(4) Å; межмолекулярные расстояния – H(1A)–Cl(1) 2.286, H(1)–Cl(1) 2.362, Te(1A)–Cl(2) 3.601(2), Te(1)–Cl(1) 3.271(2) Å; внутримолекулярные углы – Cl(3)Te(1)Cl(2) 174.54(6)°, C(1)Te(1)O(1) 94.3(2)°, C(1A)Te(1A)O(1A) 94.2(2)°; межмолекулярные углы – Cl(3A)Te(1A)Cl(2A) 174.56(7)°, C(1)Te(1)Cl(1) 166.0(2)°, C(1A)Te(1A)Cl(2) 173.1(2)°.

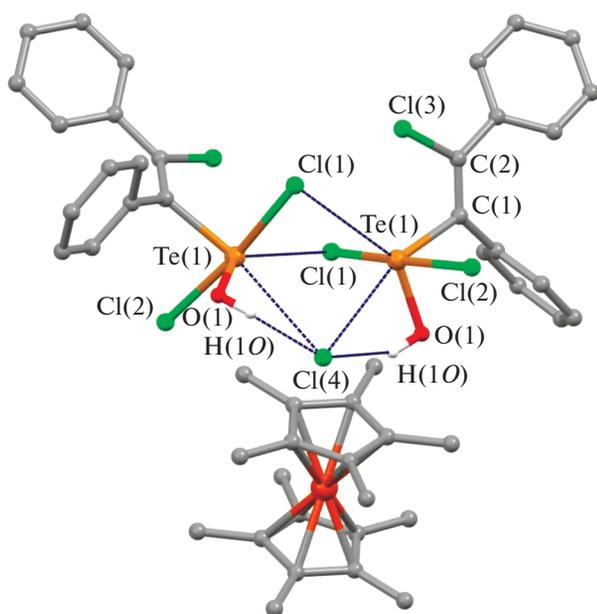


Рис. 3. Фрагмент кристаллической упаковки II: внутримолекулярные расстояния – Te(1)–Cl(1) 2.5224(6), Te(1)–Cl(2) 2.4825(6), Te(1)–O(1) 1.9262(2) Å; межмолекулярные расстояния – H(1O)–Cl(4) 2.3569; Te(1)–Cl(4) 3.1464; Te(1)–Cl(1) 3.654(1) Å; внутримолекулярные углы – Cl(2)Te(1)Cl(1) 173.02(3)°; межмолекулярные углы – C(1)Te(1)Cl(4) 162.57°, O(1)Te(1)Cl(1) 144.94(6)°.

участвующий в 3-центрковой-4-электронной связи Cl(2)–Te(1)–Cl(3).

В отличие от $[\text{PhTeBr}_3(\mu\text{-Br})_2]^{2-}$ и $[\text{Cp}_2\text{Fe}]^+[(\text{PhTeBr}_3)_2(\mu\text{-O})]^-$, классифицирующихся как соли (а не сокристаллы), комплекс I – несольватированный солевой сокристалл (“nonsolvated salt cocrystal”), так как его часть $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$, скорее, нейтральная, образующая лишь нековалентные (водородные и халькогенные) связи с хлорид-ионом. Окружение центрального атома теллура представляет собой искаженный Ψ -октаэдр с 3-центрковой-4-электронной системой Cl–Te–Cl и двумя халькогенными связями: $\text{Te}\cdots\text{Cl}(1)$ (3.271(2) Å) с хлорид-анионом и $\text{Te}\cdots\text{Cl}(1A)$ (3.601(2) Å) с атомом хлора фрагмента Cl–Te–Cl соседней молекулы (рис. 2).

Похожая сокристаллическая соль II образуется в аналогичных условиях для декаметилферроцена. При этом не наблюдалось выпадения осадка или образования твердых частиц, как в случае I, что можно объяснить лучшей растворимостью солей декаметилферроцена $(\text{C}_5\text{Me}_5)_2\text{Fe}^+$ по сравнению с ферроцием $(\text{C}_5\text{H}_5)_2\text{Fe}^+$. В кристалле II на один катион декаметилферроцена приходится один хлорид-анион и так же, как и в I, две молекулы $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$, образующие водородные $\text{O}-\text{H}\cdots\text{Cl}$ ($\text{H}\cdots\text{Cl} \sim 2.36$ Å) и халькогенные связи с хлорид-анионом ($\text{Te}(1)\cdots\text{Cl}(4) \sim 3.15$ Å) и с

атомом хлора фрагмента Cl–Te–Cl соседней молекулы ($\text{Te}(1)\cdots\text{Cl}(1) \sim 3.65 \text{ \AA}$) (рис. 3).

Образование гидроксильного производного $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ в I и II, несмотря на использование сухих растворителей, является несомненным проявлением известной склонности органотеллурхлоридов к гидролизу [14]. Тем не менее было интересно проверить, насколько окислительно-восстановительные условия в данном случае необходимы для гидролиза. Для этого растворы $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ в CH_2Cl_2 и в DMSO оставляли в неплотно закрытых пробирках в защищенном от света и пыли месте при комнатной температуре. В пробирке с раствором в хлористом метиле через 48 ч были обнаружены лишь кристаллы исходного $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$. Во второй пробирке, гигроскопичный DMSO в течение 2 нед. поглощал из воздуха влагу, которая одновременно вызывала гидролиз $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ и осаждение нерастворимого в воде кристаллосольвата $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH} \cdot \text{DMSO}$ (IIIa, рис. 4). Таким образом, показано, что сопутствующая реакция окисления ферроцена не является необходимым условием образования $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$, но

в присутствии ферроцена протекает существенно быстрее.

Геометрия молекул $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ в кристаллосольвате IIIa незначительно отличается от таковой в I и II, только углом поворота фенильных колец относительно плоскости Te–C=C–Cl, но окружение атомов теллура практически идентично (см. подписи к рис. 2–4). Это сходство косвенно подтверждает предположение о нейтральности молекулы $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$ в I и II. В кристаллической решетке IIIa четко прослеживаются полимерные цепочки $[\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}\cdots\text{DMSO}]_n$, в которых сольватная молекула DMSO выступает акцептором межмолекулярной водородной $\text{O}-\text{H}\cdots\text{O}=\text{S}$ ($\text{H}\cdots\text{O} \sim 1.88 \text{ \AA}$) и халькогенной ($\text{Te}\cdots\text{O}=\text{S} \sim 2.93 \text{ \AA}$) связи, и дополнительно связывает таким образом две молекулы $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH}$, ассоциированные за счет халькогенной связи $\text{Te}\cdots\text{Cl}(2)$ ($\sim 3.48 \text{ \AA}$, рис. 4).

Как в I, II и других известных структурах органических оксо- и гидроксо-теллурдигалогенидов, замещенным на кислород оказывается атом галогена, лежащий в экваториальной плоскости относительно гипервалентной группировки X–Te–X ($\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$; схема 1).

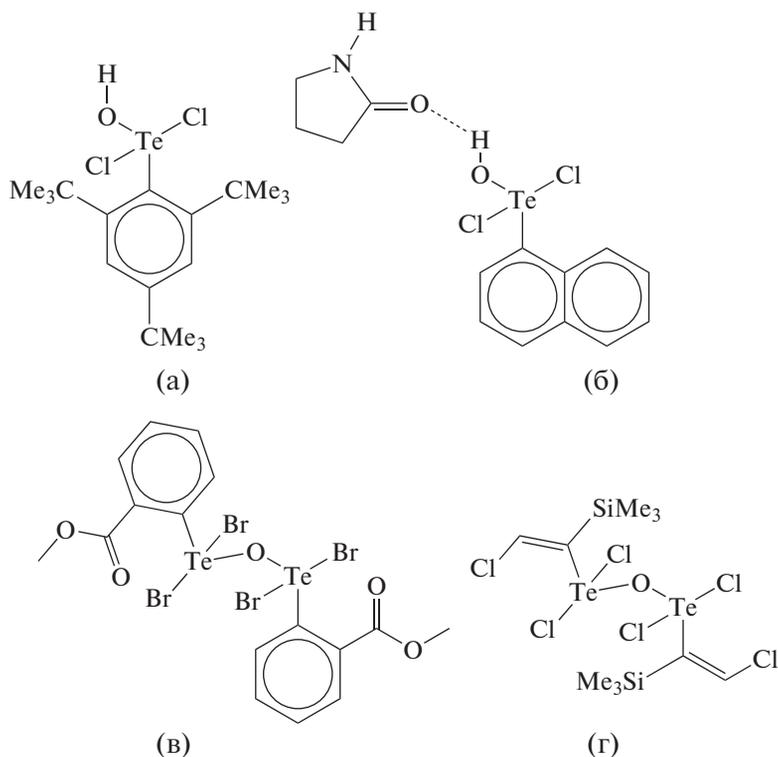


Схема 1. Органические оксо- и гидроксотеллурдигалогениды по данным Кембриджской базы структурных данных [12]: (а) (CIDKIK) – дихлоро-гидрокси-(2,4,6-три-*трет*-бутилфенил)-теллурид(IV) [15], (б) (ECAHEN) – дихлоро-(1-нафтил)-гидрокси-теллурид(IV) пирролидин-2-он [16], (в) (MEGVUR) – (μ_2 -оксо)-*бис*(2-(метоксикарбонил)фенил)-тетрабромодителлурид [17], (г) (RUFQEP) – (μ_2 -оксо)-*бис*((*Z*)-2-хлоро-1-триметилсилилвинил)-тетрахлоро-дителлурид(IV) [18].

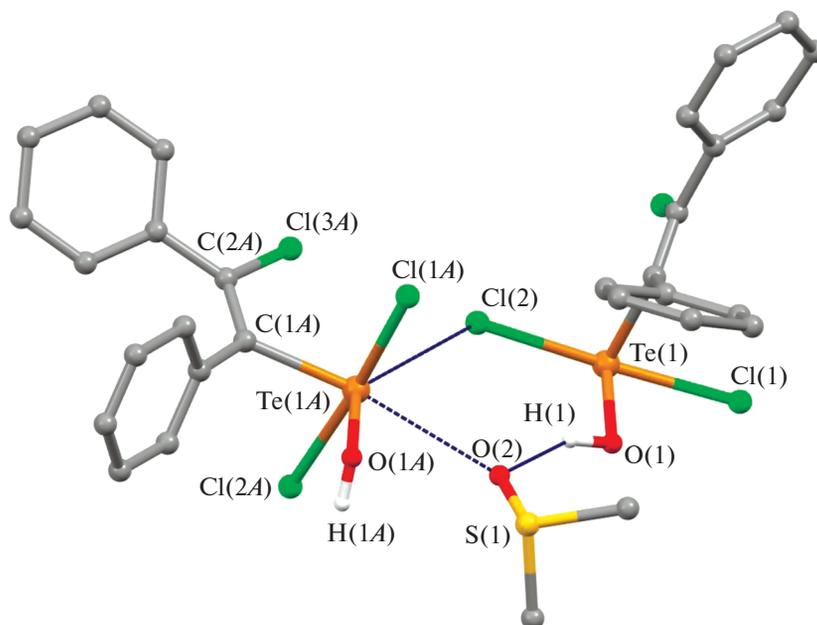
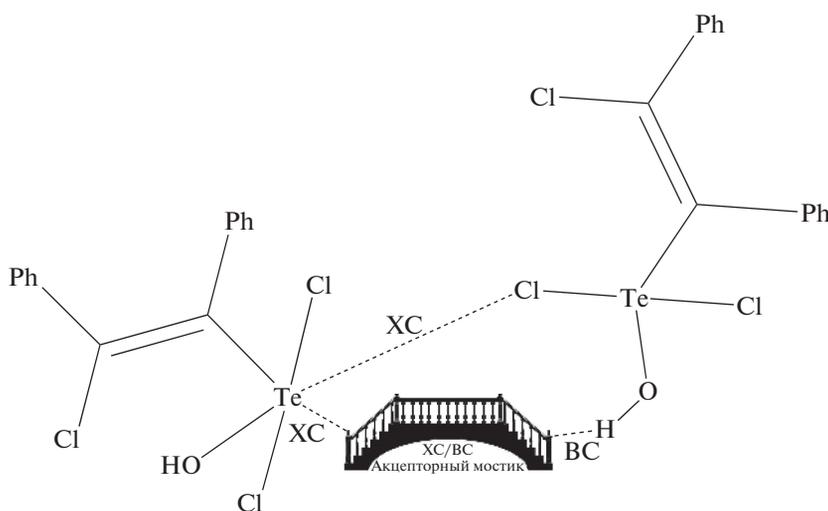


Рис. 4. Фрагмент кристаллической упаковки IIIa: внутримолекулярные расстояния – Te(1)–Cl(2) 2.502(4), Te(1)–Cl(1) 2.488(4), Te(1)–O(1) 1.906(9), Te(1A)–Cl(1A) 2.469(4), Te(1A)–Cl(2A) 2.516(4) Å; межмолекулярные расстояния – H(1)–O(2) 1.88, Te(1A)–O(2) 2.93(1), Te(1A)–Cl(2) 3.476(4) Å; внутримолекулярные углы – Cl(2)Te(1)Cl(1) 173.1(1)°, Cl(1A)Te(1A)Cl(2A) 173.2(1)°; межмолекулярные углы – Cl(1A)Te(1A)O(2) 172.2(4)°, O(1A)Te(1A)Cl(2) 142.8(3)°.

Таким образом, показано, что окисление ферроцена и его производных под действием 1,2-дифенилвинилтрихлортеллуридов сопровождается частичным гидролизом $\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_3$ с образованием сокристаллических

солей $\text{Fe}^+\text{Cl}^-(\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH})_2$, стабилизированных за счет системы водородных и халькогенных связей. Общий структурный мотив в сокристаллах I–IIIa показан на схеме 2.



XC/BC – акцепторный мостик: Cl^- (I, II), DMSO (IIIa), где XC – халькогенная связь, BC – водородная связь

Схема 2.

Во всех структурах I–IIIa наблюдается общий структурный мотив – димерный ассоциат

$(\text{Ph}(\text{Cl})\text{C}=\text{C}(\text{Ph})\text{TeCl}_2\text{OH})_2$, образующийся за счет халькогенной связи $\text{Te}\cdots\text{Cl}-\text{Te}$ и дополнительно

стабилизированный хлор-анионным (в I, II) или DMSO “мостиком” за счет галогенной (Te...Cl в I, II и Te...O в IIIa) и водородной (O–H...Cl в I, II и O–H...O в IIIa) связи (схема 2).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят ЦКП ФМИ ИОНХ РАН за использование оборудования для исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа по исследованию комплексных соединений выполнена в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований и при поддержке проекта I.35 Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cavallo G., Metrangolo P., Milani R. et al. // Chem. Rev. 2016 V. 116. P. 2478.
2. Vogel L., Wöchner P., Huber S.M. // Angew. Chem. Int. Ed. 2019. V. 58. P. 1849. <https://doi.org/10.1002/anie.201809432>
3. Tiekink E.R.T. // Coord. Chem. Rev. 2017. V. 345. P. 209.
4. Priimagi A., Cavallo G., Metrangolo P., Resnati G. // Acc. Chem. Res. 2013. V. 46. P. 2686.
5. Adonin S.A., Udalova L.I., Abramov P.A. // Chem. Eur. J. 2018. V. 24. P. 14707.
6. Metrangolo P., Resnati G., Pilati T., Biella S. // Halogen Bonding Fundamentals and Applications, Halogen bonding in crystalengineering. 2008. V. 126. P. 105.
7. Mukherjee A., Tothadi S., Desiraju G.R. // Acc. Chem. Res. 2014. V. 47. № 8. P. 2514.
8. Aitipamula S., Banerjee R., Bansal A.K. et al. // Cryst. Growth Des. 2012. V. 12. P. 2147.
9. Zhang C., Xiong Y., Jiao F. et al. // Cryst. Growth Des. 2019. V. 19. № 3. P. 1471. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.8b01537>
10. Torubaev Yu.V., Pavlova A.V., Pasynskii A.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2015. V. 41. P. 638. <https://doi.org/10.1134/S1070328415100085>
11. Zukerman-Schpector J., Camillo R.L., Comasseto J.V. // Acta Crystallogr. C. 1999. V. 55. P. 1577.
12. Groom C.R., Bruno I.J., Lightfoot M.P., Ward S.C. // Acta Crystallogr. B. 2016. V. 72. P. 171. <https://doi.org/10.1107/S2052520616003954a>
13. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. A. 2008. V. 64. P. 112.
14. Petraghani N., Stefani H.A. Tellurium in Organic Synthesis. Elsevier: Academic Press, 2007. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045310-1.X5000-X>
15. Beckmann J., Heitz S., Hesse M. // Inorg. Chem. 2007. V. 46. P. 3275.
16. Misra S., Chauhan A.K.S., Srivastava R.C. et al. // RSC Adv. 2011. V. 1. P. 808.
17. Rakesh P., Singh H.B., Butcher R.J. // Dalton Trans. 2012. V. 41. P. 0707.
18. Martynov A.V., Amosova S.V. // Russ. J. Gen. Chem. 2008. V. 78. P. 2067. <https://doi.org/10.1134/S1070363208110145>