

УДК 549.233:539.26

АДДУКТЫ СТЕРИЧЕСКИ ЗАТРУДНЕННОГО КАТЕХОЛАТА ТЕЛЛУРА С N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНОМ

© 2024 г. П. А. Петров^{1, *}, Е. А. Филиппова¹, Т. С. Сухих¹

¹ Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

* e-mail: panah@niic.nsc.ru

Поступила в редакцию 12.03.2024 г.

После доработки 04.04.2024 г.

Принята к публикации 04.04.2024 г.

Изучено образование аддуктов 3,6-ди-*tert*-бутилcateхолата теллура(IV) ($\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$) с N-метилпирролидоном (NMP). Установлено, что кристаллизация из смеси CH_2Cl_2 –NMP–ароматический углеводород приводит к образованию димерных комплексов $[\{\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2\}_2(\mu\text{-NMP})(\mu\text{-arene})]$ (arene = C_6H_6 , C_7H_8), тогда как из смеси CH_2Cl_2 –NMP–алкан — к мооядерному $[\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2(\text{NMP})_2]$. Образование аддуктов с ароматическими углеводородами указывает на возможную перспективу использования комплексов теллура для разделения смесей углеводородов, в том числе промышленно важной смеси бензол–циклогексан.

Ключевые слова: теллур, хиноны, рентгеноструктурный анализ, N-метилпирролидон, ЯМР

DOI: 10.31857/S0132344X24100033, **EDN:** LPWAYK

Химия комплексов непереходных элементов с редокс-активными лигандами, способными существовать в нескольких окислительных состояниях, активно изучается в последние десятилетия [1, 2]. Классическим примером таких лигандов являются производные 1,2-бензохинона (диоксолены), способные к ступенчатому восстановлению до *o*-семихинолятного анион-радикала и cateхолатного дианиона (схема 1).

За счет координации редокс-активного лиганда комплексы непереходных элементов могут проявлять необычную реакционную способность (например, активировать малые молекулы [3–10]), проявлять нетривиальные каталитические [11–15], оптические [16–19] и магнитные [20–23] свойства. Комплексы халькогенов с редокс-активными лигандами гораздо более малочисленны, чем их аналоги с элементами 13–15 групп [24–29] и имеют важные отличия

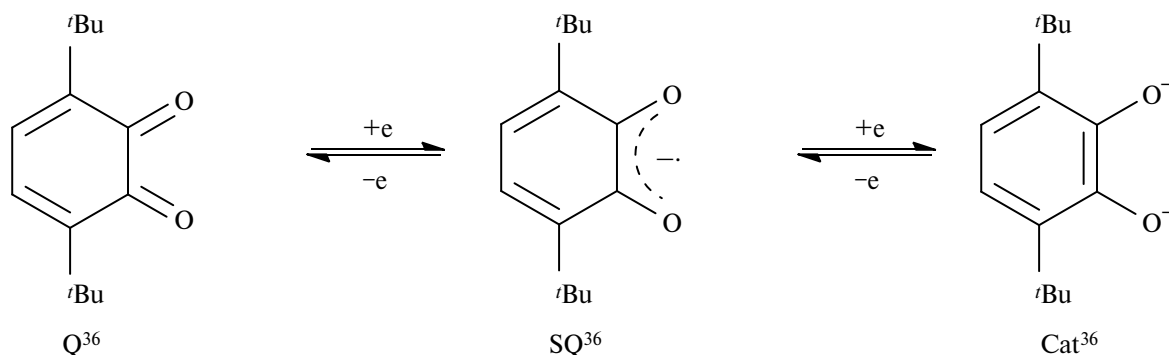


Схема 1.

от последних. Во-первых, для теллура нехарактерно образование комплексов с анион-радикальной формой диоксоленового или иминоксоленового лиганда. Единственным известным на сегодняшний день исключением является комплекс теллура с тетрадентатным *бис*(амидофенолятом), при восстановлении которого удалось выделить устойчивое анион-радикальное производное, являющееся первым примером структурно охарактеризованного теллури-центрированного радикала [30]. Кроме того, для бискатехолатов теллура характерно увеличение координационной сферы не за счет ковалентного связывания дополнительных лигандов, а за счет невалентных контактов (халькогеновых связей [31]). Комплексы с халькогеновыми связями интенсивно изучаются в последние годы и рассматриваются в качестве сенсоров [32] и катализаторов [33]. Настоящая работа посвящена синтезу и исследованию аддуктов *бис*(3,6-ди-*трет*-бутил)катехолат теллура(IV) с N-метилпирролидоном (NMP).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

$\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ получали по литературной методике [28]. Спектры ЯМР регистрировали на спектрометре Bruker Avance III 500 с рабочей частотой 500.03 МГц для ядер ^1H и 150.76 МГц для ядер ^{125}Te . ИК-спектры в таблетках KBr записывали на приборе Simex FT-801. Элементный анализ выполняли в Аналитической лаборатории ИНХ СО РАН.

Синтез $[\{\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2\}_2(\mu\text{-NMP})(\mu\text{-C}_7\text{H}_8)]$ (I). $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ (50 мг, 0.088 ммоль) растворяли в смеси 5 мл сухого CH_2Cl_2 и 2 мл толуола, после чего добавляли к раствору 2 капли N-метилпирролидона. Медленное упаривание раствора на воздухе привело к образованию желтых кристаллов I, пригодных для PCA. Выход 38 мг (65%).

ЯМР ^1H (CDCl_3 ; δ , м.д.) 1.26 (с, 72H, CH_3 (Cat)), 2.01 (м, 2H, C^4H_2 (NMP)), 2.36 (с, 3H, CH_3 (толуол)), 2.40 (м, 2H, C^3H_2 (NMP)), 2.84 (с, 3H, CH_3 (NMP)), 3.38 (м, 2H, C^2H_2 (NMP)), 6.67 (с, 8H, CH (Cat)), 7.19–7.40 (м, 5H, CH (толуол)). ЯМР ^{125}Te (CH_2Cl_2): δ 1611.9.

ИК-спектр (KBr; ν , cm^{-1}): 3083, 2951, 2909, 2867, 1656, 1623, 1508, 1491, 1466, 1396, 1384, 1357, 1307, 1272, 1203, 1144, 1028, 970, 938, 922, 808, 738, 715, 688, 647, 604.

Найдено, %: C 61.45; H 7.05; N, 1.05.
Для $\text{C}_{68}\text{H}_{97}\text{NO}_9\text{Te}_2$
вычислено, %: C 61.28; H 7.34; N, 1.05.

Синтез $[\{\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2\}_2(\mu\text{-NMP})(\mu\text{-C}_6\text{H}_6)]$ (II). $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ (50 мг, 0.088 ммоль) растворяли в смеси 5 мл сухого CH_2Cl_2 и 2 мл бензола, после чего добавляли к раствору 2 капли N-метилпирролидона. Медленное упаривание раствора на воздухе привело к образованию желтых кристаллов II, пригодных для PCA. Выход 40 мг (69%).

ЯМР ^1H (CDCl_3 ; δ , м.д.) 1.26 (с, 72H, CH_3 (Cat)), 2.05 (м, 2H, C^4H_2 (NMP)), 2.50 (м, 2H, C^3H_2 (NMP)), 2.89 (с, 3H, CH_3 (NMP)), 3.42 (м, 2H, C^2H_2 (NMP)), 6.68 (с, 8H, CH (Cat)), 7.36 (с, 6H, CH (бензол)). ЯМР ^{125}Te (CH_2Cl_2): δ 1611.6.

ИК-спектр (KBr; ν , cm^{-1}): 3085, 3032, 2951, 2909, 2867, 1621, 1507, 1492, 1467, 1398, 1384, 1357, 1307, 1233, 1204, 1144, 1028, 970, 938, 922, 808, 715, 689, 647, 604.

Найдено, %: C 60.85; H 7.20; N, 0.95.
Для $\text{C}_{67}\text{H}_{95}\text{NO}_9\text{Te}_2$
вычислено, %: C 61.02; H 7.27; N, 1.06.

Синтез $[\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2(\text{NMP})_2] \cdot 2\text{NMP}$ (III $\cdot$ 2NMP). $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ (53 мг, 0.093 ммоль) растворяли в смеси 5 мл сухого CH_2Cl_2 и 2 мл циклогексана, после чего добавляли к раствору 2 капли N-метилпирролидона. Медленное упаривание раствора на воздухе привело к образованию порошка III $\cdot$ 2NMP. Монокристаллы III отбирали из реакционной смеси. Выход 65 мг (72%).

ЯМР ^1H (CDCl_3 ; δ , м.д.) 1.24 (с, 36H, CH_3 (Cat)), 2.01 (м, 8H, C^4H_2 (NMP)), 2.38 (м, 8H, C^3H_2 (NMP)), 2.84 (с, 12H, CH_3 (NMP)), 3.38 (м, 8H, C^2H_2 (NMP)), 6.65 (с, 4H, CH (Cat)). ЯМР ^{125}Te (CH_2Cl_2): δ 1606.4.

ИК-спектр (KBr; ν , cm^{-1}): 3081, 2950, 2908, 1667, 1650, 1505, 1491, 1476, 1401, 1384, 1359, 1307, 1273, 1237, 1201, 1144, 1111, 1029, 972, 940, 924, 808, 795, 714, 687, 647, 615, 597.

Найдено, %: C 60.65; H 8.00; N, 5.65.
Для $\text{C}_{48}\text{H}_{76}\text{N}_4\text{O}_8\text{Te}$
вычислено, %: C 60.85; H 7.93; N, 5.80.

PCA монокристаллов (I, II, III $\cdot$ 2NMP) проведен в ЦКП ИНХ СО РАН на дифрактометре Bruker D8 Venture с детектором CMOS PHOTON III и микрофокусным источником $\text{IuS } 3.0$ (MoK_α -излучение $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, фокусирующие зеркала Монтея) при 150 К. Интегрирование и учет поглощения проведены в пакете программ APEX3 [34]. Структуры расшифрованы с использованием программы SHELXT [35] и уточнены с использованием программы SHELXL [36]

в анизотропном приближении для неводородных атомов с использованием программной оболочки Olex2 [37]. Атомы водорода локализованы геометрически и уточнены в приближении жесткого тела. В структурах комплексов I и II молекулы N-метилпирролидона и толуола разупорядочены по двум позициям каждая с заселенностью 0.5. Уточнение этих молекул проводилось с ограничениями DFIX, SADI, FLAT, RIGU и ISOR. Кристаллографические характеристики комплексов и детали дифракционного эксперимента приведены в табл. 1.

Кристаллографические параметры комплексов депонированы в Кембриджском банке структурных данных (CCDC № 2208717–2208719) и могут быть получены по адресу: <http://www.ccdc.cam.ac.uk>.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Упаривание раствора $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ в смеси CH_2Cl_2 –толуол (5 : 2) в присутствии NMP привело к образованию комплекса $[\{\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2\}_2(\mu\text{-NMP})(\mu\text{-C}_7\text{H}_8)]$ (I) (рис. 1a). Данный комплекс

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

Параметр	Значение		
	I	II	III
Брутто-формула	$\text{C}_{68}\text{H}_{97}\text{NO}_9\text{Te}_2$	$\text{C}_{67}\text{H}_{95}\text{NO}_9\text{Te}_2$	$\text{C}_{38}\text{H}_{58}\text{N}_2\text{O}_6\text{Te}$
<i>M</i>	1327.66	1313.63	766.46
Сингония	Моноклинная	Моноклинная	Моноклинная
Пр. группа	<i>C2/c</i>	<i>C2/c</i>	<i>C2/c</i>
<i>a</i> , Å	18.9849(3)	18.7903(6)	22.6078(5)
<i>b</i> , Å	12.0993(2)	12.1239(4)	15.6929(4)
<i>c</i> , Å	30.1877(7)	30.1586(9)	11.2267(2)
α , град	90	90	90
β , град	107.071(1)	107.405(1)	106.433(1)
γ , град	90	90	90
<i>V</i> , Å ³	6628.7(2)	6555.9(4)	3820.33(15)
<i>Z</i>	4	4	4
μ , мм ^{−1}	0.934	0.943	0.824
<i>F</i> (000)	2752.0	2720.0	1600.0
Размер кристалла, мм	0.12×0.1×0.09	0.15×0.1×0.1	0.2×0.1×0.09
Область сбора данных 2 θ , град	4.496–58.56	4.54–55.854	4.534–54.284
Диапазон индексов <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	−25 ≤ <i>h</i> ≤ 25, −16 ≤ <i>k</i> ≤ 16, −39 ≤ <i>l</i> ≤ 41	−24 ≤ <i>h</i> ≤ 24, −15 ≤ <i>k</i> ≤ 15, −39 ≤ <i>l</i> ≤ 39	−28 ≤ <i>h</i> ≤ 28, −20 ≤ <i>k</i> ≤ 20, −14 ≤ <i>l</i> ≤ 14
Число измеренных, независимых и наблюдаемых (<i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>)) отражений	48372, 8540, 6931	58633, 7833, 7155	33033, 4228, 4053
<i>R</i> _{int}	0.0442	0.0423	0.0315
Число уточняемых параметров	434	397	220
Число ограничений	175	45	0
GOOF	1.024	1.056	1.063
<i>R</i> ₁ , <i>wR</i> ₂ (<i>I</i> > 2 σ (<i>I</i>))	0.0281, 0.0565	0.0255, 0.0571	0.0194, 0.0471
<i>R</i> ₁ , <i>wR</i> ₂ (все отражения)	0.0416, 0.0601	0.0289, 0.0588	0.0206, 0.0481
$\Delta\rho_{\text{max}}/\Delta\rho_{\text{min}}$, e Å ^{−3}	0.39/−0.53	0.53/−0.66	0.46/−0.31

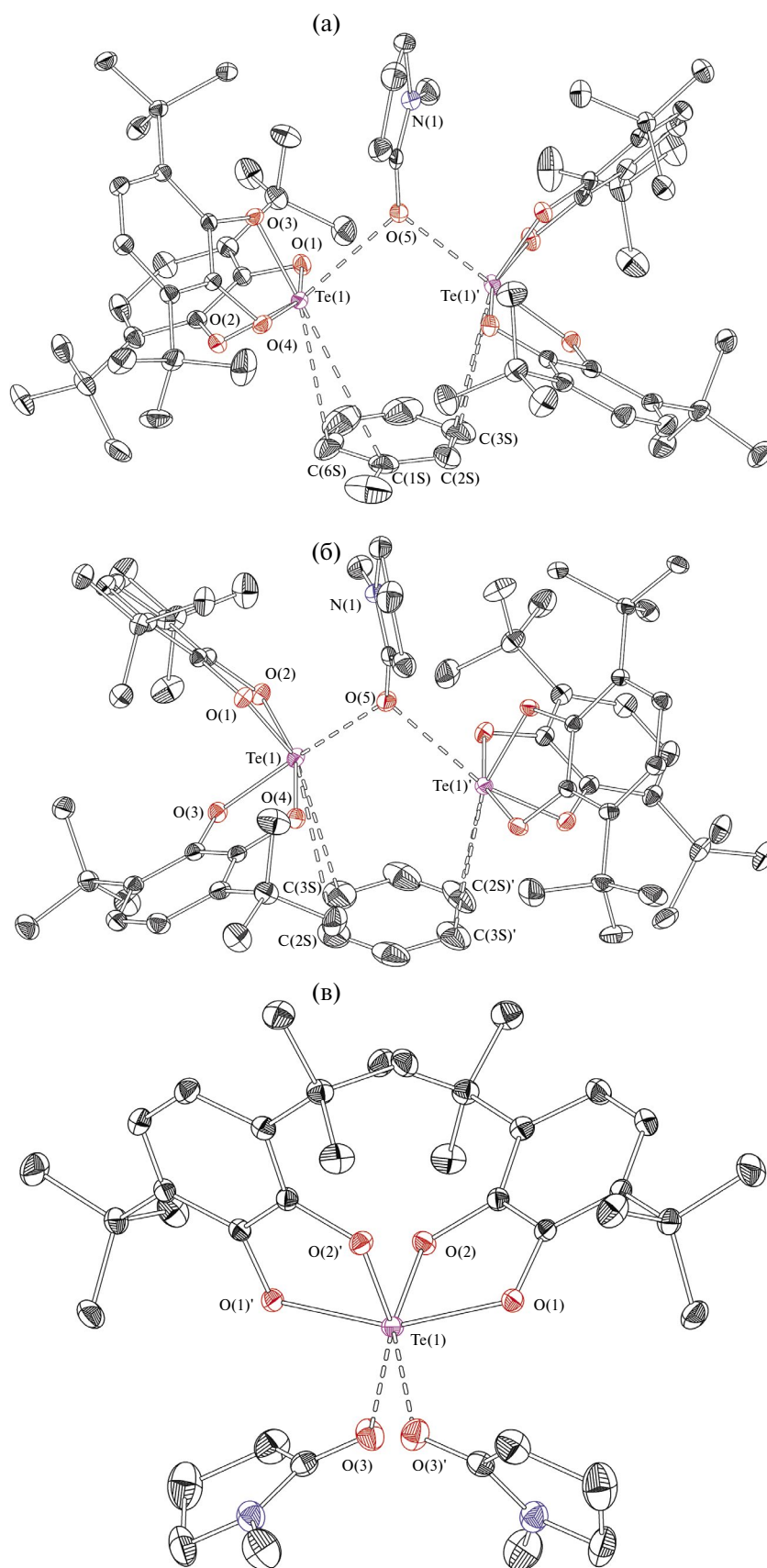


Рис. 1. Молекулярные структуры комплексов I (а), II (б), III (в) (тепловые эллипсоиды 30%-ной вероятности; атомы Н не показаны).

является крайне редким примером координации NMP к неметаллу — ранее был описан единственный комплекс бора $[(TsC(PPh_3))_2B(NMP)]^+$ (Ts = тозил) [38]. Комплекс I кристаллизуется в моноклинной пространственной группе $C2/c$, атом O N-метилпирролидона лежит на кристаллографической оси 2 порядка. Лиганд NMP является мостиковым и соединяет два фрагмента $\{Te(Cat^{36})_2\}$, из которых лишь один является кристаллографически независимым. Длина связи $Te-O_{NMP}$ равна 2.6431(12) Å, что существенно больше, чем в описанном ранее аддукте с ДМФА (2.4815(10) Å) [28]. Это различие относится, скорее, не к разнице донорных чисел ДМФА и NMP (26.6 и 27.3 соответственно [39]), а к различному способу координации (терминальному для ДМФА и мостиковому для NMP). Двугранный угол между хелатными циклами равен 81°. Помимо мостикового N-метилпирролидона, два фрагмента связаны мостиковой молекулой толуола, координированной по η^2 -типу к каждому атому Te. Молекула толуола, как и молекула NMP, разупорядочена по двум позициям. Расстояния $Te-C$ ($Te(1)-C(1S)$, 3.827(5) Å; $Te(1)-C(6S)$, 3.509(15) Å; $Te(1')-C(2S)$ 3.588(14) Å, $Te(1')-C(3S)$ 3.527(5) Å) сравнимы с таковыми в аддукте $[Te(Cat^{36})_2(Py)(\eta^6-C_7H_8)]$ (3.500(3)–3.755(2) Å), однако несколько больше расстояний $Te-C$ в димерном 3,5-ди-*трет*-бутилкатехолате теллура $[Te(Cat^{35})_2]_2$ (3.192(1)–3.601(2) Å), в котором также присутствуют контакты $Te-(\eta^6-C_6)$ [27].

Упаривание раствора $Te(Cat^{36})_2$ в смеси CH_2Cl_2 –бензол (5 : 2) в присутствии NMP привело к образованию комплекса $\{[Te(Cat^{36})_2]_2(\mu-NMP)(\mu-C_6H_6)\}$ (II). Комплексы I и II изоструктурны, их геометрические характеристики близки (табл. 2). В структуре II разупорядоченной является лишь молекула NMP. Длина связи

$Te-O_{NMP}$ (2.6061(12) Å) несколько меньше, чем в комплексе I. Расстояния $Te-C$ равны 3.552(3) и 3.722(3) Å. Несмотря на то что контакты $Te-(\eta^6-C_6)$ описывались ранее [27, 28, 40], координация ароматического цикла к атому Te по η^2 -типу, насколько нам известно, ранее не фиксировалась. Очевидно, контакт $Te-(C=C)$ можно описать как взаимодействие σ -дырки связи $Te-O_{cat}$ и π -системы ароматического углеводорода. Соответствующие углы $OTeC_2$ (C_2 – центр связи $C=C$) находятся в интервале 155.2°–166.8° (табл. 2).

Попытки получения аналогов комплекса I, содержащие иодбензол и нитробензол, успехом не увенчались. Также была предпринята попытка получить аналог комплекса II с циклогексаном, однако упаривание раствора $Te(Cat^{36})_2$ в смеси CH_2Cl_2 –циклогексан (5 : 2) в присутствии NMP привело к образованию мономерного комплекса $[Te(Cat^{36})_2(NMP)_2]$ (III). Таким образом, можно сделать вывод, что взаимодействия между атомом Te и ароматическим углеводородом, несмотря на свою слабость, вносят свой вклад в стабилизацию структур I и II. Комплекс III также образуется при кристаллизации $Te(Cat^{36})_2$ из смеси CH_2Cl_2 –гептан (5 : 2) в присутствии NMP. Мономерный комплекс III кристаллизуется в моноклинной сингонии, атом Te находится в частной позиции на оси 2 порядка, кристаллографически независимыми являются один катехолатный лиганд и одна молекула NMP. Двугранный угол между плоскостями металлоциклов $TeOCCO$ равен 83.4°, угол между плоскостями N-метилпирролидоновых лигандов – 81.3°. Расстояние $Te-O_{NMP}$ равно 2.7270(11) Å. Как и в комплексах I и II, а также ранее описанных аддуктах $Te(Cat^{36})_2$ связи $Te-O_{cat}$ неэквивалентны: одна из них на ~0.08 Å длиннее другой.

Таблица 2. Основные геометрические характеристики аддуктов I–III

Связь	I	II	III
	$d, \text{\AA}$		
$Te-O_{cat}$	1.9441(13), 2.0099(13), 1.9469(12), 2.0424(13)	1.9518(12), 2.0168(12), 1.9491(12), 2.0091(13)	1.9560(10), 2.0314(10)
$Te \cdots O_{NMP}$	2.6431(12)	2.6061(12)	2.7270(11)
$Te \cdots C$	3.509(15)–3.827(17)	3.552(3)–3.722(3)	
Угол	$\omega, \text{град}$		
$O_{cat}TeO_{cat}$	83.34(5), 79.71(5)	80.60(5), 81.27(5)	80.39(4)
$O_{cat}TeC_2^*$	160.1, 166.8	155.2	

* C_2 – центр связи $C=C$ углеводорода.

Атомы кислорода NMP находятся приблизительно в *транс*-положении по отношению к более коротким связям $\text{Te}-\text{O}_{\text{cat}}$, что отмечалось для аддуктов $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ и ранее [28, 29]. Расстояния C—C и C—O в металлоциклах комплексов I—III однозначно указывают на дианионное (катехолатное) состояние диоксоленовых лигандов. Длина связи C=O (1.229(2)–1.265(4) Å) в комплексах I—III лишь незначительно отличается от среднего значения для некоординированных молекул NMP, найденного в Кембриджской базе структурных данных (1.24(5) Å).

Данные ^1H ЯМР-спектроскопии подтверждают состав аддуктов I—III. Химический сдвиг молекулы C_6H_6 в спектре II (7.36 м.д.) в точности совпадает с химическим сдвигом бензола в CDCl_3 [41]. То же относится к комплексу I (хим. сдвиг метильной группы толуола 2.36 м.д.). Это указывает на то, что структура комплексов I и II не сохраняется в растворе. Несмотря на упомянутую близость донорных чисел для ДМФА и NMP (26.6 и 27.3, соответственно), сигнал $\delta(^{125}\text{Te})$ для раствора $\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$ в чистом N-метилпирролидоне (1607.9 м.д.) сдвинут в слабое поле по сравнению с сигналом в ДМФА (1597.7 м.д.). Хим. сдвиг $\delta(^{125}\text{Te})$ комплекса III в CH_2Cl_2 (1606.4 м.д.) близок к значению для чистого NMP. Хим. сдвиги комплексов I и II практически совпадают (1611.9 и 1611.6 м.д.) и находятся в еще более слабом поле, что можно объяснить соотношением $\text{Te} : \text{NMP}$ в них (2:1).

Таким образом, получены и охарактеризованы методами РСА и спектроскопии ЯМР аддукты стерически затрудненного бис(3,6-ди-*трет*-бутил)катехолата теллура(IV) с N-метилпирролидоном. Установлено, что ароматические углеводороды (бензол и толуол) входят в состав комплексов за счет слабых взаимодействий атома Te с π -системой арена. Отметим, что комплексы теллура могут быть потенциально интересными предшественниками систем разделения ароматических и алифатических углеводородов, в том числе промышленно важной смеси бензол—циклогексан.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Н.Б. Компанькову за регистрацию спектров ЯМР.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект № 121031700313-8).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Poddel'sky A.I., Cherkasov V.K., Abakumov G.A. // Coord. Chem. Rev. 2009. V. 253. P. 291.
2. Kaim W. // Inorg. Chem. 2011. V. 50. P. 9752.
3. Abakumov G.A., Poddelsky A.I., Grunova E.V. et al. // Angew. Chem., Int. Ed. 2005. V. 44. P. 2767.
4. Cherkasov V.K., Abakumov G.A., Grunova E.V. et al. // Chem. Eur. J. 2006. V. 12. P. 3916.
5. Poddel'sky A.I., Kurskii Yu.A., Piskunov A.V. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2011. V. 25. P. 180.
6. Ilyakina E.V., Poddel'sky A.I., Cherkasov V.K., Abakumov G.A. // Mendeleev Commun. 2012. V. 22. P. 208.
7. Ладоев А.В., Пискунов А.В., Черкасов В.К. и др. // Коорд. химия. 2006. Т. 32. № 3. С. 181 (Lado A.V., Piskunov, A.V., Cherkasov, V.K. et al // Russ. J. Coord. Chem. 2006. V. 32. P. 173). doi: 10.1134/S1070328406030031
8. Piskunov A.V., Ershova I.V., Fukin G.K., Shavyrin A.S. // Inorg. Chem. Commun. 2013. V. 38. P. 127.
9. Piskunov A.V., Meshcheryakova I.N., Fukin G.K. et al. // Dalton Trans. 2013. V. 42. P. 10533.
10. Thorwart T., Hartman D., Greb L. // Chem. Eur. J. 2022. V. 23. Art. e202202273.
11. Thorwart T., Roth D., Greb L. // Chem. Eur. J. 2021. V. 21. P. 10422.
12. Hartmann D., Braner S., Greb L. // Chem. Commun. 2021. V. 57. P. 8572.
13. Ansmann N., Thorwart T., Greb L. // Angew. Chem. Int. Ed. 2022. V. 61. Art. e202210132.
14. Arsenyeva K.V., Pashanova K.I., Trofimova O.Yu. et al. // New J. Chem. 2021. V. 45. P. 11758.
15. Arsenyeva K.V., Klimashevskaya A.V., Pashanova, K.I. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2022. V. 36. Art. e6593.
16. Maleeva A.V., Ershova I.V., Trofimova O.Y. et al. // Mendeleev Commun. 2022. V. 32. P. 83.
17. Климашевская А.В., Арсеньева К.В., Черкасов А.В. и др. // Журн. структур. химии. 2023. Т. 64. № 12. С. 118910 (Klimashevskaya A.V., Arsenyeva K.V., Cherkasov A.V. et al. // J. Struct. Chem. 2023. V. 64. P. 2271). doi: 10.1134/S0022476623120016
18. Klimashevskaya A.V., Arsenyeva, K.V., Maleeva A.V. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2023. Art. e202300540.
19. Nikolaevskaya E.N., Syroeshkin M.A., Egorov M.P. // Mendeleev Commun. 2023. V. 33. P. 733.

20. Ershova I.V., Piskunov A.V., Cherkasov V.K. // Russ. Chem. Rev. 2020. V. 89. P. 1157.
21. Chegerev M.G., Starikova A.A., Piskunov A.V., Cherkasov V. K. // Eur. J. Inorg. Chem. 2016. V. 2016. P. 252.
22. Chegerev M.G., Piskunov A.V., Starikova A.A. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2018. V. 2018. P. 1087.
23. Greb L. // Eur. J. Inorg. Chem. 2022. V. 2022. Art. e202100871.
24. Antikainen P.J., Mälkönen P.J. // Z. Anorg. Allg. Chem. 1959. V. 299. P. 292.
25. Lindqvist O. // Acta Chem. Scand. 1967. V. 21. P. 1473.
26. Annan T.A., Ozarowski A., Tian Z., Tuck D.G. // Dalton Trans. 1992. P. 2931.
27. Kieser J.M., Jones L.O., Lin N.J. et al. // Inorg. Chem. 2021. V. 60. P. 3460.
28. Petrov P.A., Filippova E.A., Sukhikh T.S. et al. // Inorg. Chem. 2022. V. 61. P. 9184.
29. Пемпов П.А. // Коорд. химия. 2023. Т. 49. № 6. С. 354 (Petrov P.A. // Russ. J. Coord. Chem. 2023. V. 49. P. 357). doi: 10.1134/S1070328423600262
30. Petrov P.A., Kadilenko E.M., Sukhikh T.S. et al. // Chem. Eur. J. 2020. V. 26. P. 14688.
31. Mahmudov K.T., Kopylovich M.N., Guedes da Silva M.F.C., Pombeiro A.J.L. // Dalton Trans. 2017. V. 46. P. 10121.
32. Fourmigué M., Dhaka A. // Coord. Chem. Rev. 2020. V. 403. P. 213084.
33. Pale P., Mamane V. // Chem. Eur. J. 2023. V. 29. Art. e202302755.
34. Bruker Apex3 software suite: Apex3, SADABS-2016/2 and SAINT. Version 2018.7-2. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 2017.
35. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. A. 2015. V. 71. P. 3.
36. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. P. 3.
37. Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al. // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339.
38. Scherpf T., Feichtner K.-S., Gessner V.H. // Angew. Chem. Int. Ed. 2017. V. 56. P. 3275.
39. Schmid R. // J. Solution Chem. 1983. V. 12. P. 135.
40. O'Quinn G.K., Rudd M.D., Kautz J.A. // Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem. 2002. V. 177. P. 853.
41. Fulmer G.R., Miller A.J., Sherden N.H. et al. // Organometallics. 2020. V. 29. P. 2176.

Adducts of Sterically Hindered Tellurium Catecholate with N-Methylpyrrolidone

P. A. Petrov^{a,*}, E. A. Filippova^a, and T. S. Sukhikh^a

^a Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

*e-mail: panah@niic.nsc.ru

The formation of adducts of tellurium(IV) 3,6-di-*tert*-butyl catecholate ($\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2$) with N-methylpyrrolidone (NMP) is studied. The crystallization from a CH_2Cl_2 –NMP–aromatic hydrocarbon mixture is found to result in the formation of dimeric complexes $[\{\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2\}_2(\mu\text{-NMP})(\mu\text{-arene})]$ (arene = C_6H_6 , C_7H_8), whereas mononuclear $[\text{Te}(\text{Cat}^{36})_2(\text{NMP})_2]$ is formed from a CH_2Cl_2 –NMP–alkane mixture. The formation of the adducts with aromatic hydrocarbons indicates a possibility of using the tellurium complexes for the separation of hydrocarbon mixtures, including an industrially important benzene–cyclohexane mixture.

Keywords: tellurium, quinones, XRD, N-methylpyrrolidone, NMR

REFERENCES

1. Poddel'sky A.I., Cherkasov V.K., Abakumov G.A. // Coord. Chem. Rev. 2009. V. 253. P. 291.
2. Kaim W. // Inorg. Chem. 2011. V. 50. P. 9752.
3. Abakumov G.A., Poddelsky A.I., Grunova E.V. et al. // Angew. Chem., Int. Ed. 2005. V. 44. P. 2767.
4. Cherkasov V.K., Abakumov G.A., Grunova E.V. et al. // Chem. Eur. J. 2006. V. 12. P. 3916.
5. Poddel'sky A.I., Kurskii Yu.A., Piskunov A.V. et al. // Appl. Organomet. Chem. 2011. V. 25. P. 180.
6. Ilyakina E.V., Poddel'sky A.I., Cherkasov V.K., Abakumov G.A. // Mendelev Commun. 2012. V. 22. P. 208.
7. Lado A.V., Piskunov, A.V., Cherkasov, V.K. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2006. V. 32. P. 173. doi: 10.1134/S1070328406030031
8. Piskunov A.V., Ershova I.V., Fukin G.K., Shavyrin A.S. // Inorg. Chem. Commun. 2013. V. 38. P. 127.
9. Piskunov A.V., Meshcheryakova I.N., Fukin G.K. et al. // Dalton Trans. 2013. V. 42. P. 10533.
10. Thorwart T., Hartman D., Greb L. // Chem. Eur. J. 2022. V. 23. Art. e202202273.
11. Thorwart T., Roth D., Greb L. // Chem. Eur. J. 2021. V. 21. P. 10422.
12. Hartmann D., Braner S., Greb L. // Chem. Commun. 2021. V. 57. P. 8572.

13. *Ansmann N., Thorwart T., Greb L.* // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2022. V. 61. Art. e202210132.
14. *Arsenyeva K.V., Pashanova K.I., Trofimova O.Yu. et al.* // *New J. Chem.* 2021. V. 45. P. 11758.
15. *Arsenyeva K.V., Klimashevskaya A.V., Pashanova, K.I. et al.* // *Appl. Organomet. Chem.* 2022. V. 36. Art. e6593.
16. *Maleeva A.V., Ershova I.V., Trofimova O.Y. et al.* // *Mendeleev Commun.* 2022. V. 32. P. 83.
17. *Klimashevskaya A.V., Arsenyeva K.V., Cherkasov A.V. et al.* // *J. Struct. Chem.* 2023. V. 64. P. 2271. doi: 10.1134/S0022476623120016
18. *Klimashevskaya A. V., Arsenyeva, K. V., Maleeva A. V. et al.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2023. Art. e202300540.
19. *Nikolaevskaya E.N., Syroeshkin M.A., Egorov M.P.* // *Mendeleev Commun.* 2023. V. 33. P. 733.
20. *Ershova I.V., Piskunov A.V., Cherkasov V.K.* // *Russ. Chem. Rev.* 2020. V. 89. P. 1157.
21. *Chegerev M.G., Starikova A.A., Piskunov A.V., Cherkasov V.K.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2016. V. 2016. P. 252.
22. *Chegerev M.G., Piskunov A.V., Starikova A.A. et al.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2018. V. 2018. P. 1087.
23. *Greb L.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2022. V. 2022. Art. e202100871.
24. *Antikainen P.J., Mäлкönen P.J.* // *Z. Anorg. Allg. Chem.* 1959. V. 299. P. 292.
25. *Lindqvist O.* // *Acta Chem. Scand.* 1967. V. 21. P. 1473.
26. *Annan T.A., Ozarowski A., Tian Z., Tuck D.G.* // *Dalton Trans.* 1992. P. 2931.
27. *Kieser J.M., Jones L.O., Lin N.J. et al.* // *Inorg. Chem.* 2021. V. 60. P. 3460.
28. *Petrov P.A., Filippova E.A., Sukhikh T.S. et al.* // *Inorg. Chem.* 2022. V. 61. P. 9184.
29. *Petrov P.A.* // *Russ. J. Coord. Chem.* 2023. V. 49. P. 357. doi: 10.1134/S1070328423600262
30. *Petrov P.A., Kadilenko E.M., Sukhikh T.S. et al.* // *Chem. Eur. J.* 2020. V. 26. P. 14688.
31. *Mahmudov K.T., Kopylovich M.N., Guedes da Silva M.F.C., Pombeiro A.J.L.* // *Dalton Trans.* 2017. V. 46. P. 10121.
32. *Fourmigué M., Dhaka A.* // *Coord. Chem. Rev.* 2020. V. 403. P. 213084.
33. *Pale P., Mamane V.* // *Chem. Eur. J.* 2023. V. 29. Art. e202302755.
34. Bruker Apex3 software suite: Apex3, SADABS-2016/2 and SAINT. Version 2018.7-2. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 2017.
35. *Sheldrick G.M.* // *Acta Crystallogr. A.* 2015. V. 71. P. 3.
36. *Sheldrick G.M.* // *Acta Crystallogr. C.* 2015. V. 71. P. 3.
37. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // *J. Appl. Cryst.* 2009. V. 42. P. 339.
38. *Scherpf T., Feichtner K.-S., Gessner V.H.* // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2017. V. 56. P. 3275.
39. *Schmid R.* // *J. Solution Chem.* 1983. V. 12. P. 135.
40. *O'Quinn G.K., Rudd M.D., Kautz J.A.* // *Phosphorus, Sulfur, Silicon Relat. Elem.* 2002. V. 177. P. 853.
41. *Fulmer G.R., Miller A.J., Sherden N.H. et al.* // *Organometallics.* 2020. V. 29. P. 2176.