

**КАРБЕНОИДНЫЙ ХАРАКТЕР ЛИГАНДОВ,
СОДЕРЖАЩИХ ТЯЖЕЛЫЕ p-ЭЛЕМЕНТЫ IV-VI ГРУПП
В КОМПЛЕКСАХ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ**

А.А.Пасынский, Ю.В.Торубаев, И.В.Скабицкий, С.С.Шаповалов, А.И.Блохин

Сектор химии обменных кластеров

Институт общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова РАН

Богатая химия карбеновых комплексов переходных металлов, открытие которых Э.О.Фишером было отмечено Нобелевской премией 1973 г., а их использование в качестве уникальных катализаторов метатезиса олефинов – Нобелевской премией Ива Чевина, Роберта Граббса и Ричарда Шрока в 2005 г., ставит вопрос о проявлении карбеноидных свойств группировками, содержащими другие элементы, кроме традиционных двухвалентных непереходных элементов IV группы (углерода, кремния, германия и олова).

В данной работе мы исследовали способность других группировок, содержащих тяжелые непереходные элементы, проявлять свойства карбеноидов за счет наличия НЭП и вакантной орбитали, или двух полузаполненных орбиталей, а именно:

1) образование сильно укороченных связей с переходными металлами;

2) внедрение в ординарные связи X-X или M-X.

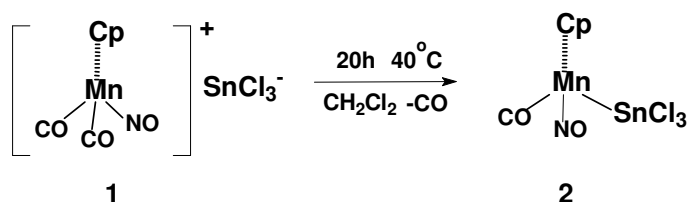
При рассмотрении относительного укорочения или удлинения связей мы их будем сопоставлять с суммой ковалентных радиусов атомов (СКР) на основе недавней испанской работы о ковалентных радиусах переходных и непереходных элементов (см.таблицу).

Особое внимание мы сконцентрировали на необычных проявлениях карбеноидных свойств соединениями тяжелых p-элементов IV-VI групп.

Csp ³	0.76	Cr	1.39
Csp ²	0.74	Mn l.s.	1.39
P	1.07	Fe l.s.	1.32
S	1.05	Co l.s.	1.26
Cl	1.02	Mo	1.54
Se	1.20	Ru	1.46
Br	1.20	Pd	1.39
Sn	1.39	W	1.62
Te	1.38	Re	1.51
I	1.39	Pt	1.36

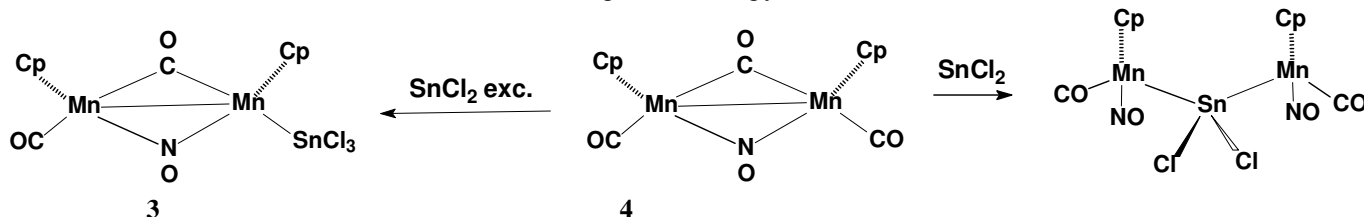
Укороченность формально ординарных связей M-SnCl₃ без удлинения связей Sn-Cl.

В полученном нами ионном комплексе [Cp(CO)₂(NO)Mn]⁺SnCl₃⁻ (1) в моноядерном анионе SnCl₃⁻ связи Sn-Cl удлинены, в среднем, до 2.500 Å по сравнению с суммой ковалентных радиусов (СКР) (2.44 Å), вероятно, за счет отталкивающего влияния НЭП при атоме олова. При декарбонилировании (1) возникает формально ординарная, но резко укороченная до 2.5178(5) Å ковалентная связь Mn-Sn (по сравнению с СКР 2.78 Å) в комплексе Cp(CO)(NO)Mn-SnCl₃ (2) [1]. Укорочение такой связи должно было бы также привести к удлинению связей Sn-Cl по сравнению с СКР, если бы использовались их разрыхляющие орбитали для дополнительного взаимодействия олова с НЭП у атома марганца. Однако связи Sn-Cl в (2) равны, в среднем, 2.371 Å, т.е. не удлинены, а существенно укорочены по сравнению с СКР

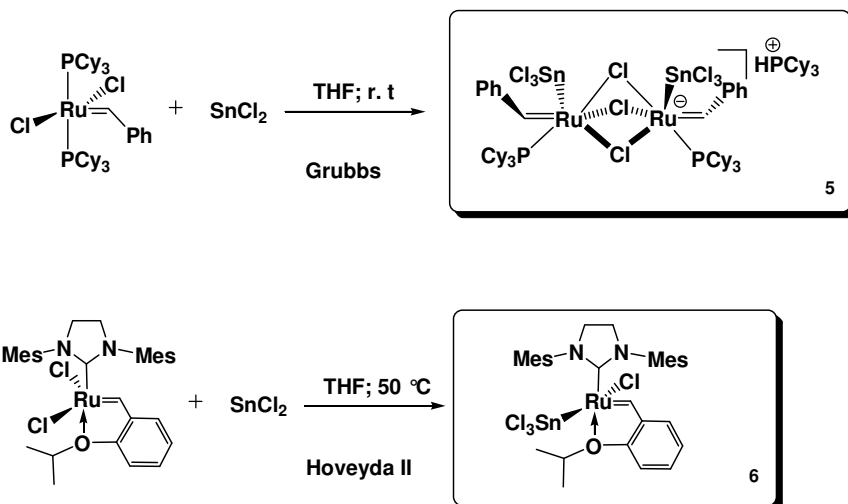


Отметим, что такое поведение связи M-Sn в станилиновых комплексах хорошо известно, является универсальным и мало зависит от природы M и X [2]. Однако на отсутствие разрыхления связей Sn-X обычно не обращают внимания, хотя это может означать, что для дополнительной обратной связи M→Sn использованы вакантные d-орбитали олова, на роль которых указывали Коттон и Уилкинсон еще 50 лет назад [3]. Мы показали,

что даже связывание атома олова с несколькими атомами M при внедрении SnCl₂ в связь M-M относительно мало влияет на укороченность связей M-Sn. Так, длина концевой связи Sn - Mn (2.5604(8) Å) в комплексе (3) на схеме почти не отличается от расстояний Sn-Mn (2.5669(14) и 2.5742(14) Å) в комплексе (4), а длина связей Sn - Cl увеличивается от 2.3637(15)-2.3908(15) Å в (3) до 2.419(2) Å в (4) лишь из-за стерических затруднений [4].



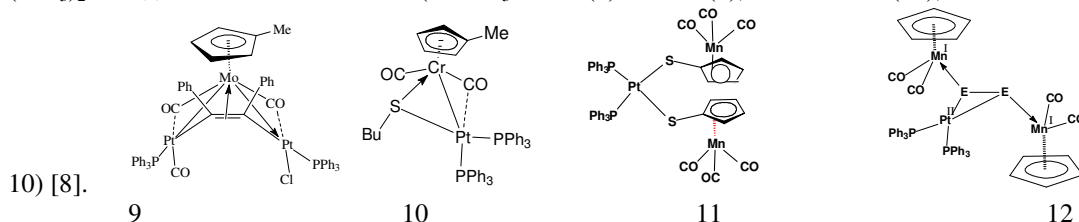
Станилирование оказалось эффективным способом модификации известных карбен-рутениевых катализаторов метатезиса олефинов путем внедрения SnCl₂ в связь M-Cl, причем возникает только одна связь Ru-Sn, одинаково резко укороченная как в производном 18-электронного катализатора Граббса I (комплекс 5) (Ru-Sn 2.5834(9), Ru-P 2.352(2) Å), так и в производном 16-электронного катализатора Ховейда II (комплекс 6) (Ru-Sn 2.5925(12), Ru-O 2.255(5) Å), хотя они существенно различаются длинами мостиковых и концевых связей Ru-Cl (Ru-Cl 2.494(2) и 2.335(2) Å, соответственно). Снова в обоих случаях не происходит удлинения связей Sn-Cl (средн. 2.387 Å) [5]:



Хотя стanniлирование катализатора Грabbса I не улучшило его каталитических характеристик, но в итоге в (5) один фосфиновый лиганд оказался уже выведенным из координационной сферы рутения (обычно для этого приходится вводить протоны или кислоты Льюиса типа MeI, Ti(OiPr)₄ или CuCl). С другой стороны, стanniлирование катализатора Ховейды II резко (в пять раз) увеличило его активность в кросс-метатезисе жирных ненасыщенных альдегидов и акрилонитрила, поэтому появляется перспектива иммобилизации или широкой модификации таких катализаторов путем замены лабильных атомов хлора при олове на другие группировки, в том числе, металлсодержащие, по аналогии с изученными нами реакциями. Например, соль цимантренкарбоновой кислоты KO₂CC₃H₄Mn(CO)₃ (KO₂CCym) взаимодействует с циклогексаденил-дикарбонил-трихлорстанильным комплексом железа (η^5 -C₆H₇)Fe(CO)₂SnCl₃ (7), в котором связь Fe-Sn (2,4906(13) Å) сильно укорочена по сравнению с СКР (2.71 Å). В образующемся трис-карбоксилатном комплексе (η^5 -C₆H₇)Fe(CO)₂Sn(O₂CCym)₃ (8) связь Fe-Sn еще чуть укорачивается (2,4787(4) Å), причем не наблюдается удлинения связей Sn-O (2,0572(19) Å) по сравнению с СКР (2.05 Å) [6].

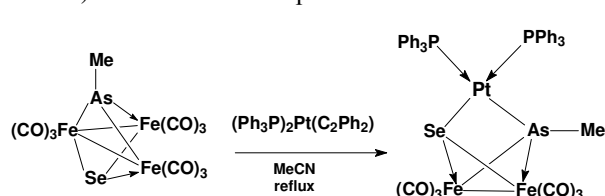
Укороченность формально ординарных связей М-Э, где Э – тяжелые непереходные элементы V группы.

Рассмотренный выше анион SnCl₃⁻ изоэлектронен нейтральным молекулам ЭХ₃ для тяжелых непереходных элементов V группы, которые формально имеют только неподеленную электронную пару (НЭП), но в то же время дают устойчивые продукты присоединения карбенов. Например, один из комплексов Виттига, Ph₃P=CB_r2, получается при действии трифенилфосфина на СВ_r4 с одновременным образованием Ph₃PB_r2 (свойства, подобные комплексу Виттига, Ph₃P=CH₂, т.е. образование олефинов в реакции с альдегидами, характерны и для арсинметиленов R₃As=CHCOR'). Как и анион SnCl₃⁻, лиганд ЭХ₃ также способен к дополнительной обратной связи с атомами переходных металлов, приводя к резкому укорочению формально ординарных связей М-Э. В частности, связи Pt – P (2.3112(14) и 2.3536(16) Å) в полученном нами гетерометаллическом кластере Cr⁰Mo(μ-CO)₂(C₂Ph₂)Pt₂(PPh₃)₂(CO)Cl (9) [7] являются сильно укороченными по сравнению с СКР (2.43 Å). То же относится к Cr⁰Cr(CO)₂(μ-SBu)Pt(PPh₃)₂, продукту присоединения (PPh₃)₂Pt к двойной связи Cr=SBu (Pt-PPh₃ 2.308(2) и 2.285(2), Cr-Pt 2.7538(15), Cr-S 2.274(3), Pt-S 2.294(2) Å) (комплекс



Отметим, что укороченность связей Pt^{II}-PPh₃ не зависит от природы других заместителей в плоско-квадратном окружении Pt(II): так, отсутствие или наличие связи между атомами серы практически не влияет на длины связей Pt-P (2.2958(13) Å) в цимантренилтиолатном комплексе (11) [9] или Pt-P (2.286(2) Å) в дисульфидном комплексе (12). Более того, замена атомов серы на атомы селена в последней формуле также не сказывается на длине связей Pt-P (комплекс 13).

В сложном по составу кластере (14), полученном заменой группы Fe(CO)₃ в метиларсин-селен-железо-карбонильном кластере на фрагмент (PPh₃)₂Pt, сильно укороченными оказываются формально ординарные связи Pt-P (средн. 2.291 Å) и Pt-As (2.414(2) Å, СКР 2.55 Å). При этом не происходит удлинение связи As-CH₃ (As-C 1.950(1) Å, СКР 1.95 Å). Аналогичным образом оказываются сильно укороченными связи Fe-As (2.331(1) Å, СКР 2.53 Å) [10].

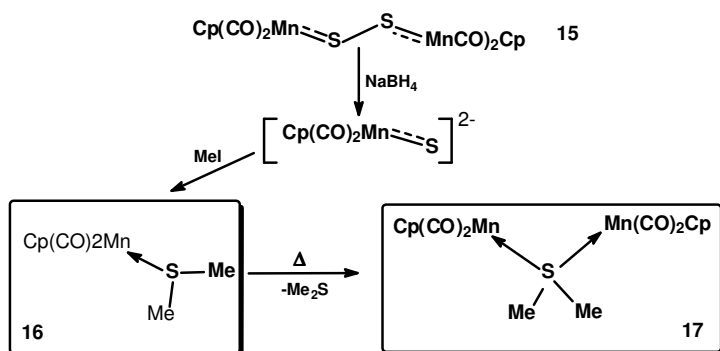


Поскольку и у фосфора, и у мышьяка не остается свободных НЭП, укорочение связей М-Э, вероятно, происходит за счет высоколежащих вакантных d-орбиталей Э, участвующих в дополнительном обратном взаимодействии с НЭП атомов металла.

Укороченность формально ординарных связей М-Е, где Е – тяжелые непереходные элементы VI группы.

Атомы халькогенов (Е) имеют электронную структуру, содержащую вакантную орбиталь и три НЭП, или соответственно, две НЭП и две полузаполненные орбитали. Таким образом, они соответствуют определению карбеноидов. Действительно, подобно карбенам, атомы халькогенов легко внедряются по связи С-С (SCl_2), связываются с другими карбенами ($\text{H}_2\text{C}=\text{S}$) или «карбенофилами», например, образуя $\text{S}=\text{PPh}_3$, как формальный аналог комплекса Виттига $\text{CH}_2=\text{PPh}_3$. Но в то же время существует сульфонийметирид $\text{Me}_2\text{S}^+-\text{CH}_2^-$, который, по аналогии с трифенилфосфонийметиридом $\text{Ph}_3\text{P}^+-\text{CH}_2^-$ (иначе, комплексом Виттига, $\text{Ph}_3\text{P}=\text{CH}_2$), можно представить, как $\text{Me}_2\text{S}=\text{CH}_2$, т.е. Me_2S тоже обладает карбеноидными свойствами.

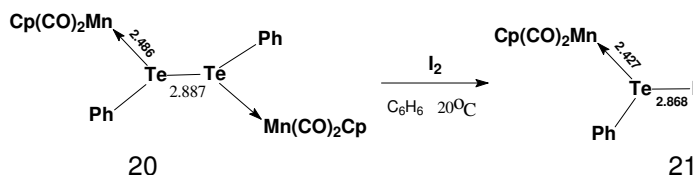
Действительно, восстановлением дисульфидного комплекса марганца (15) с последующим метилированием промежуточного дианиона получены комплексы с концевым (16) или мостиковым (17) диметилсульфидом, имеющие связи Mn-S (2.274 и 2.267 Å, соответственно), которые формально ординарны, но резко укорочены по сравнению с СКР 2.44 Å [11].



(до 2.486 Å) формально ординарных связей Mn-Te определяется дополнительным обратным связыванием за счет разрыхляющей орбитали связи Te-Te, которая удлинилась до 2.887 Å [12] по сравнению с СКР 2.76 Å и со связью Te-Te в самом дифенилдителлуре (2.712 Å) [13].

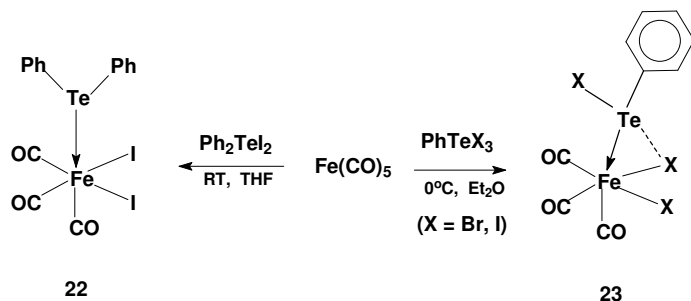
Аналогичная ситуация наблюдается в случае соответствующих биядерных комплексов марганца с мостиковым диметилселеном (18) (Mn-Se 2.363 Å, СКР 2.59 Å) [11] или дибензилтеллуrom (19) (Mn-Te 2.50 Å, СКР 2.77 Å) [12]. При этом отметим, что в (19) наблюдается заметное удлинение связей Te-C до 2.17 - 2.19 Å по сравнению с СКР 2.14 Å, т.е. в дополнительной обратной связи существенно участвуют разрыхляющие орбитали связей Te-C с бензильными группировками, хорошо делокализуя электронную плотность.

Вероятно, такая же ситуация наблюдается в комплексе $[\text{Cp}(\text{CO})_2\text{Mn}]_2\text{Ph}_2\text{Te}_2$ (20), где резкое сокращение



При действии иода связь Te-Te в (20) разрывается с образованием комплекса (21), в котором связь Mn-Te сохраняется и еще больше укорачивается (до 2.427 Å). Очевидно, это происходит за счет разрыхления связи Te-I, удлиняющейся до 2.868 Å [14] по сравнению с СКР 2.77 Å. В то же время связь Te-C (2.15 Å, СКР 2.12 Å) удлинена чуть меньше, чем в вышеупомянутом дибензилтеллуридовом комплексе (19).

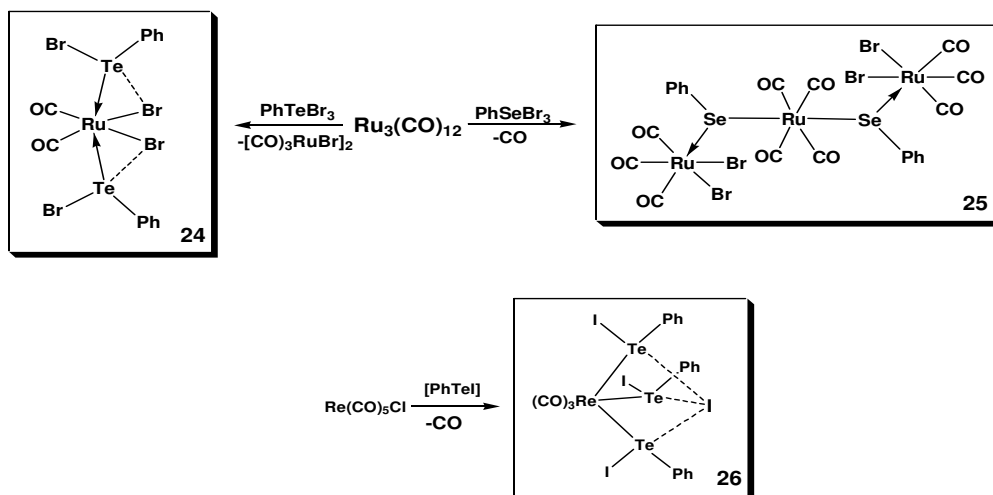
Иная картина возникает при образовании органотеллуридов железа в реакциях $\text{Fe}(\text{CO})_5$ с Ph_2TeI_2 [15] или PhTeI_3 [16]. В этих комплексах два *цис*-расположенных атома X замещают одну CO в экваториальной плоскости, а группировка Ph_2Te (в комплексе 22) или PhTeI (в комплексе 23) занимает место аксиальной группы CO в известном комплексе *цис*- $\text{I}_2\text{Fe}(\text{CO})_4$ (78) с несколько укороченными связями Fe-I (2.6375(6) Å, СКР 2.70 Å).



Замечательно, что в (22) и (23), несмотря на различие в составах и строении (в частности, наличие в фенилиодидном комплексе слабого дополнительного связывания $\text{I}_{\text{Fe}}\dots\text{Te}$ 3.16 Å), наблюдаемое резкое укорочение связей Fe-Te (2.582(2) и 2.572 Å, соответственно, при СКР 2.70 Å) не приводит к удлинению связей Te-C (средн. 2.095) или Te-I (2.750 Å) [16]. Такое отличие от вышеупомянутого связывания фенилтеллуриодида с марганцем в (21) может объясняться карбеноидным характером дикарбонильных фрагментов $\text{Ph}_2\text{Te}^{2+}$ или PhTe^{2+} , имеющих у атома теллура, в отличие от нейтральных фрагментов PhTeX , лишь одну НЭП и одну вакантную sp_2 -орбиталь. Тогда атомы иода при железе играют роль галоид-анионов, а железо остается в нулевой степени окисления, формально имея 20-электронную конфигурацию.

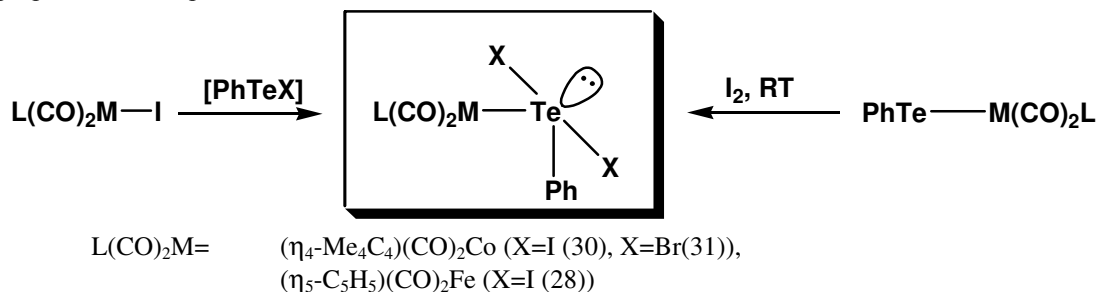
Указанные закономерности укорочения связей М-Е без удлинения связей Te-X в дигалогенидных карбонильных комплексах металлов реализуются также в дикарбонил-дибромидном комплексе рутения (24), присоединяющем два фрагмента PhTeBr в *транс*-положении (Te-Ru 2.6078(7), СКР 2.84 Å; Te-Br 2.5131(18), Te---Br 3.0701(5) Å). При этом ординарными оказываются связи Ru-Br (2.5661(13), СКР 2.58 Å) [17]. Часть атомов брома используется на образование димера $[\text{RuBr}_2(\text{CO})_3]_2$, чем, вероятно, также обусловлено неожиданное возникновение трирутениевого цепочечного комплекса (25) в реакции $\text{Ru}_3(\text{CO})_{12}$ с фенилтрибромселеном: две молекулы первоначально возникающего комплекса $(\text{OC})_3\text{Br}_2\text{Ru} \leftarrow \text{SePhBr}$, аналога комплекса (23), дебромируются по атомам селена избытком карбонила рутения. При этом

периферийная связь Ru-Se (2.5448(16) Å) оказывается короче связей с центральным атомом рутения (Ru-Se 2.5905(13) Å), в то же время все они короче, чем СКР (2.66 Å).



Связывание атома переходного металла с тремя фенилтеллуриодидными лигандами наблюдалось в реакции $\text{Re}(\text{CO})_5\text{Cl}$ с фенилтеллуриодидом (схема). В октаэдрическом окружении атома рения в комплексе (26) три атома теллура занимают фашиальное положение, образуя укороченные связи Re-Te (2.7554(12) Å, СКР 2.88 Å), причем связи Te-I не удлинены (2.7731(16)Å, СКР 2.77 Å). Интересной чертой комплекса является координация иодид-аниона со всеми тремя атомами теллура (Te...I 3.2927(2)Å) [17]. По-видимому, для дополнительного обратного связывания Re→Te используются вакантные d-орбитали теллура.

Особый интерес вызывает укороченность формально ординарной связи Fe-Te (2.577 Å) в комплексе $\text{Cr}(\text{CO})_2\text{Fe-TePh}$ (27), в котором у атома Te имеются две НЭП, а у атома железа нет низколежащих вакантных орбиталей [18]. Поскольку нет разрыхления связи Te-C, то укорочение связи Fe-Te означает участие вакантных d-орбиталей Te в дополнительном обратном связывании с атомом железа. Атом теллура в (27) легко окисляется иодом, причем связь Fe-Te в возникающем комплексе (28) не только не разрывается, но даже укорачивается до 2.528 Å. Одновременно наблюдается сильное удлинение связей Te-I (до 2.88-3.07 Å), так что, по-видимому, в дополнительном обратном связывании участвуют разрыхляющие орбитали этих связей [14].



Этот же комплекс (28) можно получить встречным синтезом – путем типичной для карбеноидов реакции внедрения PhTeI в связь Fe-I в комплексе $\text{Cr}(\text{CO})_2\text{FeI}$ [14]. Аналогично реагирует тетраметилциклобутadiеновый комплекс кобальта, $\pi\text{-Me}_4\text{C}_4\text{Co}(\text{CO})_2\text{I}$, с PhTeX (X = I или Br), образуя комплексы (30) и (31) [19], причем длины связей Co-Te почти не зависят от X (2.52 и 2.53 Å, соответственно), будучи укороченными по сравнению с СКР (2.64 Å) и по сравнению с расстоянием Co-Te (2.585(1) Å) в $\text{Me}_4\text{C}_4(\text{CO})_2\text{Co-TePh}$ (29) (Te-C 2.112(7) Å) [20]. И снова связи Te-X в (30) и (31) оказываются удлиненными (2.95-2.98 и 2.70 Å, соответственно) [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный материал показывает универсальность явления резкого укорочения формально одинарных связей между переходными металлами и тяжелыми непереходными элементами (Q) IV-VI групп. Важно, что обсуждаемые укорочения весьма значительны по величине – не менее 0.1 Å и доходят до 0.3 Å, что намного перекрывает возможные погрешности в определении расстояний в молекулах или в величинах ковалентных радиусов элементов. Если такое укорочение возникает за счет дополнительного гипервалентного взаимодействия НЭП у M и разрыхляющих орбиталей связей Q-X, то должно наблюдаться удлинение последних. В рассмотренных же выше многочисленных случаях, когда такое удлинение не обнаруживается, остается предположить дополнительное обратное связывание НЭП при атоме M с вакантными d-орбиталями тяжелых элементов Q IV-VI групп.

Важность укорочения связей M-Q очевидна как с точки зрения строения и реакционной способности комплексов, так и с позиций материаловедения, т.к. из-за прочности связей соответствующие элементы не удаляются (или труднее удаляются) в процессе пиролиза комплексов, позволяя точнее предсказывать состав неорганического остатка после термолитического разложения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 09-03-00961), Отделения химии и наук о материалах РАН (грант ОХ 1.3) и Президиума РАН (грант 7П22).

СПИСОК ССЫЛОК (КУРСИВОМ) И НАШИХ ПОСЛЕДНИХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДАННОЙ РАБОТЫ.

1. А.И.Блохин, А.А.Пасынский, Ю.В.Торубаев, М.Шеер, СИНТЕЗ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ ТРИХЛОР – И ТРИС(ФЕНИЛАЦЕТИЛЕНИД)СТАННИЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛ-КАРБОНИЛ-НИТРОЗИЛА МАРГАНЦА. //Координационная химия 2010.Т.36.№ 4., С. 284–288.
2. *Holt M.S., Wilson W.L., Nelson J.H. //Chem. Rev. 1989. V.89. P. 11.*
3. *Ф.Комтон, Дж.Уилкинсон Современная неорганическая химия, 1969. М. «Мир», т.2.*
4. А.И.Блохин, А.А.Пасынский, Ю.В.Торубаев СИНТЕЗ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ ХЛОРСТАННИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИЛ-КАРБОНИЛ-НИТРОЗИЛА МАРГАНЦА //Координационная химия 2010, том 36, No. 7, pp. 490–496;
5. Xiaowei Miao, A.Blokhin, A.Pasynskii, S.Nefedov, S.Osipov, T.Roisnel, C.Bruneau, P.Dixneuf, Alkyldiene-ruthenium-tin catalysts for the formation of fatty nitriles via cross-metathesis of plant oil derivatives with acrylonitrile //Organometallics, 2010(published on line).
6. С.С.Шаповалов, А.В.Гордиенко, А.А.Пасынский, Ю.В.Торубаев, И.В.Скабицкий, Г.Г.Александров СИНТЕЗ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ π -ЦИКЛОГЕКСАДИЕНИЛ-ЖЕЛЕЗО-ДИКАРБОНИЛ-ИОДИДА, - ТРИХЛОРСТАННИДА И - ТРИС(ЦИМАНТРЕНИЛКАРБОКСИ)СТАННИДА //Координационная химия 2011.Т.37.№ 00. С.000 (принято к печати).
7. А.А. Пасынский, И.В. Скабицкий, Ю.В. Торубаев, С.С.Шаповалов, Окислительное присоединение связи Mo-Cl к комплексу нуль-валентной платины. Синтез и строение $\text{Cp}^*\text{Mo}(\mu\text{-CO})_2(\text{C}_2\text{Ph}_2)\text{Pt}_2(\text{PPh}_3)_2(\text{CO})\text{Cl}$. // Коорд. Хим. 2009, Т.35. №, С. 410.
8. А.А. Pasynskii, I.V. Skabitsky, Yu. V. Torubaev, S.S. Shapovalov Synthesis and structure of mixed-metal thiolate complex $\text{Cp}^*\text{Cr}(\text{CO})_2(\mu\text{-SBu})\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2$: π -coordination of platinum with Cr-S double bond// J.Organomet.Chem., 2009. V.694. N21.P. 3373-3375.
9. Пасынский А.А., Скабицкий И.В., Торубаев Ю. В // Образование группировок Pt-S-Mn в трифенилфосфиновых комплексах платины с цимантренилтиолатными лигандами // Известия РАН. серия Хим., (2005) № 7, 1508
10. А.А.Пасынский, С.С.Шаповалов, Ж.В.Доброхотова К.А.Лысенко, С.Н.Конченко, Н.И.Пушкаревский, Синтез, молекулярные структуры и термораспад гетерометаллических гетерохалькоген-метиларсенидных кластеров // Координационная химия. 2009.Т.35. №2.С.113-121
11. Pasynskii, A. A.; Grigor'ev, V. N.; Torubaev, Yu. V.; Lysenko, K. A.; Dobrokhotova, Zh. V.; Minin, V. V.; Grinberg, V. A. Synthesis, molecular structures, and properties of the manganese chalcogenide complexes $\text{CpMn}(\text{CO})_2\text{SC}(\text{O})\text{Ph}$, $[\text{CpMn}(\text{CO})_2]_2(\mu\text{-Se}_2)$, $\text{CpMn}(\text{CO})_2\text{SMe}_2$, $[\text{CpMn}(\text{CO})_2]_2(\mu\text{-SMe}_2)$ and $[\text{CpMn}(\text{CO})_2]_2(\mu\text{-SeMe}_2)$. // Zhurnal Neorganicheskoi Khimii (2002), 47(12), 1994-2003.
12. А.А. Pasynskii^a *, Yu.V. Torubaev^a, V.N. Grigor'ev^a, A.I. Blokhin^a, M. Herberhold^b, P. Mathur^c THE SHORTENED TRANSITION METAL – TELLURIUM BONDS IN ORGANOMETALLIC CLUSTERS //J.CLUST.SCI. 2009 V.20 №1.P.193-204
13. *G.Llabres, O.Dideberg, L.Dupont Acta Crystallogr. 1972. V.28B. P.2438*
14. Yury Torubaev, Alexander Pasynskii, Pradeep Mathur, Synthesis and X-ray investigation of novel Fe and Mn phenyltellurenyl-halide complexes: $(\text{CO})_3\text{FeBr}_2(\text{PhTeBr})$, $(\text{C}_5\text{H}_5)\text{Fe}(\text{CO})_2(\text{PhTeI}_2)$ and $\text{CpMn}(\text{CO})_2(\text{PhTeI})$ // Journal of Organometallic Chemistry 2009.Vol. 694, Issue 12, Pages 1781-1785.
15. *Liaw W-F., Chiang M-H, Lai C-H. et al. // Inorg. Chem. 1994. V. 33. P. 2493*
16. Ю.В. Торубаев, А.А. Пасынский, П. Матур. Синтез и молекулярная структура дийодида дифенилдителлур-трикарбонилжелеза $(\text{CO})_3\text{FeI}_2(\text{Te}_2\text{Ph}_2)$ и дийодида фенилтеллурйодид-трикарбонилжелеза $(\text{CO})_3\text{FeI}_2(\text{PhTeI})$: первый пример координации неустойчивого PhTeI с атомом переходного металла// Координационная химия.2008. Т.34.№11. 807-811.
17. Торубаев Ю.В., Пасынский А.А., Матур П. Синтез, кристаллическая и молекулярная структура фенилтеллуренилгалогенидных комплексов рутения и рения $(\text{CO})_2\text{RuBr}_2(\text{PhTeBr})_2$ и $(\text{CO})_3\text{Re}(\text{PhTeI})_3(\mu^3\text{-I})$ // Координационная химия, 2009. Т.35. No. 11, pp. 817–821
18. Ю. В. Торубаев, А. А. Пасынский, И. В. Скабицкий, Фенилтеллургалогенидные комплексы циклопентадиенил-дикарбонил железа. Синтез и молекулярная структура $\text{CpFe}(\text{CO})_2\text{TePh}$, $\text{CpFe}(\text{CO})_2\text{TeBr}_2\text{Ph}$, $\text{CpFe}(\text{CO})_2\text{TeBrPh}(\mu\text{-Br})\text{Br}_3\text{TePh}$ и $\text{PhTeI}_3(\text{C}_4\text{H}_8\text{O})$ // Корд. Хим. 2009, Т.35, № 5, С.347-352
19. Торубаев Ю.В., Пасынский А.А., Галустян А.Р., Матур П. "Синтез и молекулярное строение комплексов кобальта $(\eta^4\text{-Me}_4\text{C}_4)\text{Co}(\text{CO})_2\text{SnCl}_3$, $(\eta^4\text{-C}_4\text{Me}_4)\text{Co}(\text{CO})_2(\text{TeI}_2\text{Ph})$, $(\eta^4\text{-C}_4\text{Me}_4)\text{Co}(\text{CO})_2(\text{TeBrI}\text{Ph})$ с укороченными связями Co-Sn и Co-Te ." // Координационная химия, 2009, Vol. 35, No. 1, pp. 3–7.
20. Пасынский А.А., Скабицкий И.В., Шаповалов С.С, Галустян А.Р, Торубаев Ю. В, Гринберг В.А., Муценек Е.В., Кудинов А.Р. СИНТЕЗ, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СТРУКТУРЫ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ ТЕТРАМЕТИЛЦИКЛОБУТАДИЕНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КОБАЛЬТА, $(\text{C}_4\text{Me}_4)\text{Co}(\text{CO})_2\text{TePh}$, $(\text{C}_4\text{Me}_4)\text{Co}(\text{CO})_2\text{TePh}\cdot\text{W}(\text{CO})_5$ и $\text{Cp}_2\text{Cr}_2(\text{SCMe}_3)(\text{S})_2\text{Co}(\text{C}_4\text{Me}_4)$, //Известия РАН, серия химическая, 2007,№9,С. 1731.