

## СМЕШАННЫЕ АМИДОГАЛОТАНТАЛАТЫ $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{X}_3]^-$ ( $\text{X} = \text{F}, \text{Cl}$ )

© 2020 г. П. А. Петров<sup>1,2,\*</sup>, Е. А. Голубицкая<sup>2</sup>, Н. Б. Компаньков<sup>1</sup>,  
Т. С. Сухих<sup>1,2</sup>, М. Н. Соколов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

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

Поступила в редакцию 29.01.2020 г.

После доработки 28.02.2020 г.

Принята к публикации 02.03.2020 г.

Анионный комплекс тантала ( $\text{I}^{\text{BuH}}[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_3]$  (I) синтезирован при взаимодействии  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  с N-гетероциклическим карбеном  $\text{I}^{\text{Bu}}$  и выделен в виде двух кристаллических модификаций (Ia и Ib). Его фторидный аналог ( $\text{I}^{\text{BuH}}[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{F}_3]$  (II) получен по реакции  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  с  $(\text{I}^{\text{BuH}})\text{BF}_4$ . Структуры комплексов установлены методом PCA (CIF files CCDC № 1977540 (Ia), 1977541 (Ib), 1977542 (II)).

**Ключевые слова:** тантал, амиды, галогены, N-гетероциклические карбены, рентгеноструктурный анализ

**DOI:** 10.31857/S0132344X20080058

Гомолептические диалкиламиды металлов являются удобными предшественниками многих других классов координационных соединений за счет выраженных основных и нуклеофильных свойств амидной группы [1]. Диалкиламиды ранних переходных металлов и их производные используются для нанесения тонких пленок нитридов методом CVD [2–5]. Смешанные амидогалогениды ранних переходных металлов также известны, хотя изучены гораздо меньше. Интерес к таким соединениям связан с тем, что наличие у металла лигандов различной природы может использоваться для направленной модификации координационного узла. Среди производных диалкиламидов тантала, помимо бинарных амидов  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  [6] и  $\text{Ta}(\text{NEt}_2)_5$  [7], известны смешанные нейтральные амидохлориды  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_4\text{Cl}]$  [8, 9],  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  [10] и  $[\text{Ta}(\text{NEt}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  [11]. Описаны также комплексы с силилированными амидами  $[\text{TaCl}_3(\text{N}(\text{SiMe}_3)_2)_2]$  [12] и  $[\text{TaCl}_2(\text{N}(\text{SiMe}_3)_2)_2]$  [11]. Подобные соединения с другими галогенидами, насколько можно судить, неизвестны. Их ниобиевые аналоги чрезвычайно малочисленны: известны бинарные амиды  $\text{Nb}(\text{NMe}_2)_5$  [13] и  $\text{Nb}(\text{NPh}_2)_4$  [14], а также смешанные комплексы  $[\text{NbX}_2(\text{N}(\text{SiMe}_3)_2)_2]$  ( $\text{X} = \text{Cl}, \text{Br}$ ) [14]. Бинарные диалкиламиды  $\text{Nb}(\text{NR}_2)_4$  ( $\text{R} = \text{Et}, n\text{-Pr}, n\text{-Bu}$ ), по-видимому, не являются индивидуальными соединениями [4].

Кроме того, структурно охарактеризованы анионные комплексы *цис*- $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_4\text{Cl}_2]^-$  [15] и *гран*- $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_3]^-$  [16]; последний мы получили в реакции  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  с хлоридом N,N'-димезитилимидазолия  $(\text{IMesH})\text{Cl}$ . Эта соль является одновременно источником хлорид-иона и N-гетероциклического карбена  $\text{IMes}$ . Основной продукт данной реакции – карбеновый комплекс  $[(\text{IMes})\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]$ , тогда как реакция  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  с тетрафторборатной солью того же катиона приводит к образованию  $[(\text{IMes})\text{Ta}(\text{NMe}_2)_2\text{F}_3]$  в результате обмена галогеном между Ta и B [16]. Реакция  $\text{Nb}(\text{NMe}_2)_5$  с  $(\text{IMesH})\text{BF}_4$  идет иначе и приводит к  $(\text{IMes}_2\text{H})[\text{NbF}_6]$  [17].

Настоящая работа посвящена изучению реакций  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  с солями N,N'-ди(*трет*-бутил)замещенного имидазолия  $\text{I}^{\text{BuH}^+}$  – предшественниками N-гетероциклического карбена  $\text{I}^{\text{Bu}}$ .

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все операции по синтезу, очистке и характеристике комплексов проводили в инертной атмосфере с использованием стандартной аппаратуры Шленка. Растворители для синтезов подвергали обезвоживанию и дегазации кипячением и перегонкой в атмосфере инертного газа с использованием

соответствующих осушителей [18].  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  [10],  $(\text{I}^t\text{BuH})\text{BF}_4$  [19] и  $\text{I}^t\text{Bu}$  [20] синтезировали по литературным методикам. Спектры ЯМР регистрировали на спектрометре Bruker Avance III 500 с рабочей частотой 500.03 МГц для ядер  $^1\text{H}$  и 125.73 МГц для ядер  $^{13}\text{C}$ . ИК-спектры в таблетке KBr записывали на приборе SCIMITAR FTS 2000.

**Синтез комплекса I.** Смесь  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  (102 мг, 0.13 ммоль) и  $\text{I}^t\text{Bu}$  (50 мг, 0.27 ммоль) помещали в сосуд Шленка, охлаждали до  $-196^\circ\text{C}$ , вакуумировали и конденсировали в него  $\sim 30$  мл толуола. Смесь нагревали до комнатной температуры, образовавшуюся лимонно-желтую суспензию перемешивали в течение 14 сут, полученный раствор фильтровали через стеклянный фильтр (G4) в Г-образную ампулу, которую затем запаивали. При медленном упаривании растворителя образовывалась смесь желтых призматических (**Ia**) и пластинчатых (**Ib**) кристаллов, пригодных для РСА. Выход 15 мг (22%).

ИК-спектр (KBr;  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3049 ср, 3001 ср, 1618 ср, 1585 ср, 1483 ср, 1433 с, 1308 ср, 1189 ср, 1158 ср, 1096 ср, 1026 ср, 998 ср, 912 ср, 839 ср, 738 с, 691 с, 552 с, 516 с, 489 ср, 442 сл, 423 сл. ЯМР  $^1\text{H}$ : 9.55 (1H, NCHN), 6.89 (2H,  $-\text{CH}=\text{CH}-$ ), 4.12 (18H,  $\text{NMe}_2$ ), 1.36 (18H,  $\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ). ЯМР  $^{13}\text{C}$ : 134.6 ( $\text{C}^2\text{H}$ ), 119.5 ( $-\text{CH}=\text{CH}-$ ), 60.6 ( $\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ), 49.8 ( $\text{NMe}_2$ ), 29.9 ( $\text{C}(\text{CH}_3)_3$ ).

Найдено, %: C 33.8; H 6.45; N 11.5.  
Для  $\text{C}_{17}\text{H}_{39}\text{N}_5\text{Cl}_3\text{Ta}$   
вычислено, %: C 33.98; H 6.54; N 11.66.

**Синтез комплекса II.** Смесь  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  (200 мг, 0.50 ммоль) и  $(\text{I}^t\text{BuH})\text{BF}_4$  (130 мг, 0.49 ммоль) помещали в сосуд Шленка, охлаждали до  $-196^\circ\text{C}$ , вакуумировали и конденсировали в него  $\sim 25$  мл ТГФ. Смесь нагревали до комнатной температуры, полученную суспензию перемешивали в течение суток, затем кипятили при интенсивном перемешивании в течение суток. Полученный после кипячения раствор профильтровали через стеклянный фильтр (G4) в Г-образную ампулу, которую запаивали. При медленном упаривании растворителя образовалось желтое масло и бесцветные кристаллы, которые промыли ТГФ и высушивали. Выход 45 мг (17%).

ИК-спектр (KBr;  $\nu$ ,  $\text{cm}^{-1}$ ): 3172 ср, 3139 ср, 3004 ср, 2862 ср, 2821 ср, 2773 ср, 1608 сл, 1564 сл, 1542 сл, 1482 ср, 1457 с, 1419 ср, 1394 ср, 1267 ср, 1244 ср,

1219 ср, 1161 сл, 1128 ср, 1101 ср, 1047 ср, 978 с, 961 с, 930 ср, 854 ср, 736 с, 696 с, 587 ср, 559 с.

Найдено, %: C 36.85; H 7.4; N 12.8.  
Для  $\text{C}_{17}\text{H}_{39}\text{N}_5\text{F}_3\text{Ta}$   
вычислено, %: C 37.03; H 7.13; N 12.70.

**РСА.** Все измерения проведены по стандартной методике на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker-Nonius X8 APEX (двухкоординатный CCD детектор,  $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$ , графитовый монохроматор). Интенсивности отражений измерены методом  $\phi$ -сканирования узких ( $0.5^\circ$ ) фреймов. Поглощение учтено эмпирически (SADABS) [21]. Структуры расшифрованы с использованием программы SHELXT [22] и уточнены по программе SHELXL [23] в анизотропном приближении для неводородных атомов с использованием программной оболочки Olex2 [24]. Атомы водорода локализованы геометрически и уточнены в приближении жесткого тела. Кристаллографические характеристики комплекса и детали дифракционного эксперимента в комплексах Ia, Ib и II приведены в табл. 1, длины связей и валентные углы – в табл. 2.

Полный набор рентгеноструктурных параметров для Ia, Ib и II депонирован в Кембриджском банке структурных данных (CIF files CCDC №1977540–1977542; <http://www.ccdc.cam.ac.uk/conts/retrieving.html>).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Ранее при взаимодействии  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  и карбена  $\text{IMes}$  с мезитильными заместителями был получен комплекс с аномальной (через атом  $\text{C}(4)$ ) координацией лиганда к атому Ta. Предполагалось, что аналогичная реакция с более объемным карбеном  $\text{I}^t\text{Bu}$  также будет приводить к образованию аномального комплекса. Вопреки ожиданиям, взаимодействие  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]_2$  с  $\text{I}^t\text{Bu}$  в толуоле привело лишь к частичному растворению осадка исходного комплекса, а из раствора были выделены с небольшим выходом кристаллы ионного комплекса  $(\text{I}^t\text{BuH})[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_3]$  (**Ia**) (схема 1). Образование того же комплексного аниона *гран*- $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_3]^-$  мы зафиксировали при исследовании продуктов взаимодействия  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5]$  и  $(\text{IMesH})\text{Cl}$ . Образование ионного комплекса вместо ожидавшегося нейтрального  $[(\text{I}^t\text{Bu})\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_2]$  может быть связано с гидролизом продукта и/или исходного карбена следами воды, которые, несмотря на все предосторожности, могли присутствовать в растворителе.

**Таблица 1.** Кристаллографические данные и параметры уточнения структур Ia, Ib и II

Параметр	Значение		
	Ia	Ib	II
<i>M</i>	600.83	600.83	551.48
Сингония	Моноклиная	Моноклиная	Моноклиная
Пр. гр.; <i>Z</i>	<i>P</i> 2 <sub>1</sub> / <i>c</i> ; 4	<i>P</i> 2 <sub>1</sub> / <i>c</i> ; 16	<i>P</i> 2 <sub>1</sub> / <i>c</i> ; 4
<i>a</i> , Å	15.0188(9)	14.7545(9)	13.9032(5)
<i>b</i> , Å	9.5763(5)	14.7189(10)	10.5711(4)
<i>c</i> , Å	16.9822(10)	46.432(3)	17.1947(5)
β, град	91.152(2)	94.397(2)	112.4830(10)
<i>V</i> , Å <sup>3</sup>	2442.0(2)	10053.9(12)	2335.06(14)
<i>F</i> (000)	1200	4800	1104
μ <sub>Mo</sub> , мм <sup>-1</sup>	4.841	4.703	4.740
Размер кристалла, мм	0.31 × 0.16 × 0.12	0.19 × 0.19 × 0.07	0.31 × 0.23 × 0.1
Область сбора данных по θ, град	4.798–59.356	1.76–48.814	3.17–51.566
Диапазоны <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	–20 ≤ <i>h</i> ≤ 20, –13 ≤ <i>k</i> ≤ 12, –23 ≤ <i>l</i> ≤ 23	–17 ≤ <i>h</i> ≤ 17, –17 ≤ <i>k</i> ≤ 14, –53 ≤ <i>l</i> ≤ 53	–16 ≤ <i>h</i> ≤ 16, –12 ≤ <i>k</i> ≤ 9, –20 ≤ <i>l</i> ≤ 15
Число измеренных, независимых и наблюдаемых отражений ( <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> ))	41310, 6897, 6531	67628, 16534, 12231	11295, 4428, 3953
Число уточняемых параметров и ограничений	0.0238	0.1036	0.0174
<i>R</i> <sub>int</sub>	247.0	984.18	247.0
GOOF по <i>F</i> <sup>2</sup>	1.059	1.177	0.978
<i>R</i> <sub>1</sub> , <i>wR</i> <sub>2</sub> ( <i>I</i> > 2σ( <i>I</i> ))	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.0117, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.0282	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.0763, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.1469	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.0171, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.0425
<i>R</i> <sub>1</sub> , <i>wR</i> <sub>2</sub> (все отражения)	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.0133, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.0288	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.1083, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.1566	<i>R</i> <sub>1</sub> = 0.0216, <i>wR</i> <sub>2</sub> = 0.0445
Δρ <sub>max</sub> /Δρ <sub>min</sub> , e Å <sup>-3</sup>	0.71/–0.44	1.73/–2.33	0.82/–0.58

**Таблица 2.** Избранные длины связей (Å) и углы (град) в комплексах Ia, Ib и II

Связь	Ia	Ib	II
	<i>d</i> , Å		
Ta–N	1.9772(11)–2.0001(11)	1.952(14)–2.014(12)	2.007(2)–2.016(3)
Ta–X	2.5035(4)–2.5295(3)	2.487(4)–2.531(4)	1.9821(17)–1.9987(16)
Угол	ω, град		
NTaN	90.67(5)–102.51(5)	88.8(5)–102.2(5)	93.14(11)–94.41(11)
XTaX	82.553(11)–88.271(11)	83.33(14)–88.84(14)	83.03(7)–85.02(7)
XTaN ( <i>транс</i> )	169.28(3)–175.13(3)	169.0(4)–176.2(4)	167.34(9)–169.21(10)

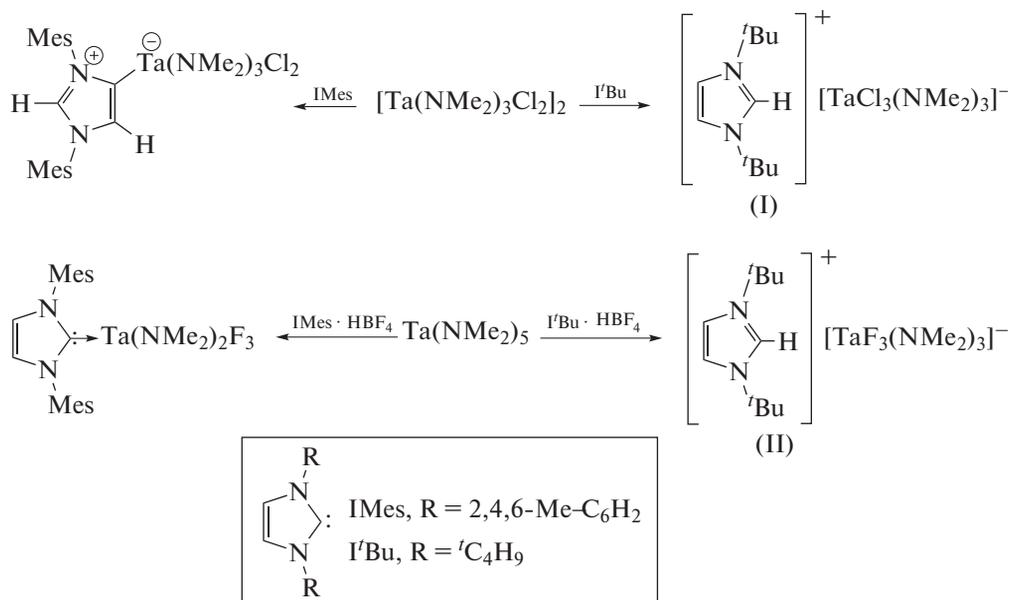
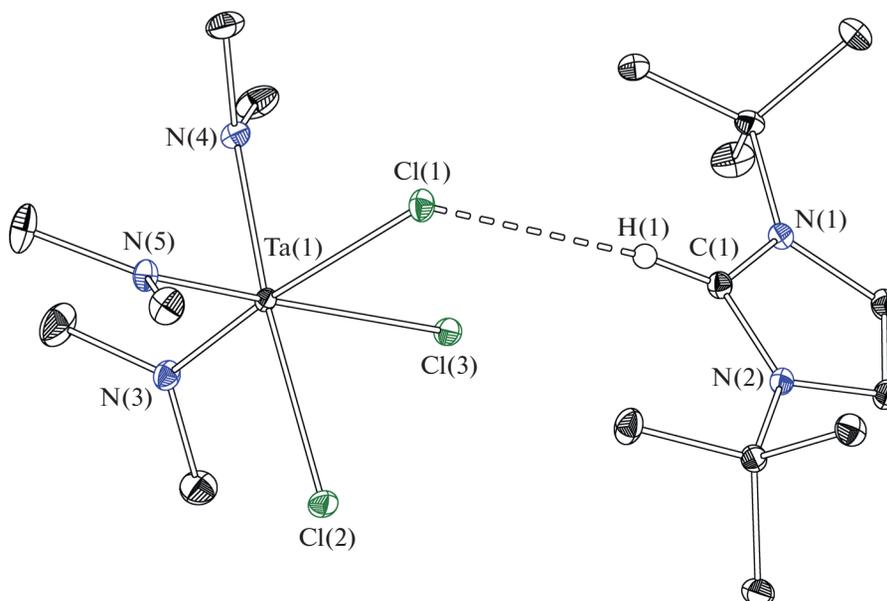


Схема 1.

Строение комплекса I представлено на рис. 1. Анионный комплекс  $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{Cl}_3]^-$  в Ia представляет собой *гран*-изомер. Геометрия координационного узла отклоняется от идеальной октаэдрической, по-видимому, из-за наличия объемных диметиламидных лигандов. Как следствие, *транс*-углы  $\text{ClTaN}$  заметно отличаются от  $180^\circ$  (табл. 2). Угол  $\text{N}(1)\text{C}(1)\text{N}(2)$  ( $108.59(11)^\circ$ ) характерен для катионов имидазолия. Катион  $\text{I'BuH}^+$  связан с комплексным анионом водородной свя-

зью ( $\text{C}(1)\cdots\text{Cl}(1)$ ,  $3.6142(13) \text{ \AA}$ ,  $\angle\text{C}(1)\text{H}(1)\text{Cl}(1)$   $172.0^\circ$ ). Эта связь в совокупности еще с одной водородной связью ( $\text{C}(3)\cdots\text{Cl}(3)$ ,  $3.6334(14) \text{ \AA}$ ,  $\angle\text{C}(3)\text{H}(3)\text{Cl}(3)$   $159.4^\circ$ ) формирует зигзагообразные цепочки из чередующихся катионов и анионов вдоль направления *b*. Помимо РСА, комплекс Ia охарактеризован методом ЯМР на ядрах  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ , а также данными элементного анализа.

В качестве примеси к кристаллам Ia образуются кристаллы Ib того же состава. Кристаллы дан-



**Рис. 1.** Строение комплекса Ia. Изображены тепловые эллипсоиды 30%-ной вероятности. Атомы H (за исключением H(1)) не показаны.

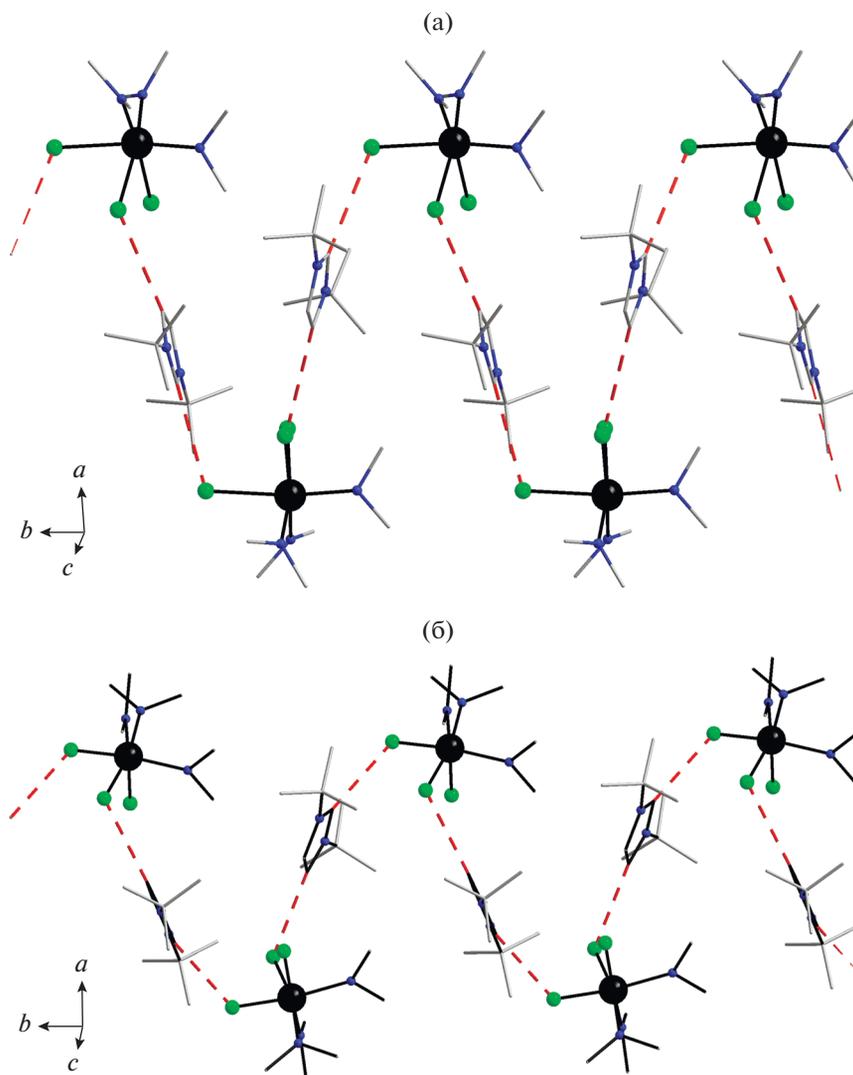


Рис. 2. Строение цепочки катионов и анионов в соединении Ia (а) и II (б), связанных водородными связями, которые изображены пунктиром.

ной модификации содержат по четыре кристаллографически независимых аниона и катиона, длины связей и углы которых близки к таковым в Ia (табл. 2). Различие между кристаллической упаковкой Ia и Ib состоит в том, что в последнем каждый катион участвует в образовании только одной водородной связи с хлоридным лигандом, т.е. в случае Ib можно выделить лишь отдельные пары катионов и анионов.

Реакция  $\text{Ta}(\text{NMe}_2)_5$  с  $(i\text{BuH})\text{BF}_4$  в ТГФ приводит к образованию ионного комплекса *гран*- $[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{F}_3]^-$  в составе  $(i\text{BuH})[\text{Ta}(\text{NMe}_2)_3\text{F}_3]$  (II). Меньший ионный радиус фторид-иона по сравнению с хлорид-ионом служит причиной более коротких расстояний тантал–галоген, что, в свою очередь, ведет к большему искажению координационного полиэдра (табл. 2). Данный ком-

плекс не изоструктурен хлоридному аналогу Ia, но имеет подобную ему кристаллическую упаковку. В структуре II вдоль направления *b* также имеются цепочки из чередующихся катионов и анионов, связанных водородными связями ( $\text{C}(1)\cdots\text{F}(1)$ , 3.048(3) Å,  $\angle\text{C}(1)\text{H}(1)\text{F}(1)$  158.7°,  $\text{C}(3)\cdots\text{F}(3)'$ , 3.082(3) Å,  $\angle\text{C}(3)\text{H}(3)\text{F}(3)'$  172.6°). Наблюдаются отличия в строении цепочек Ia и II: например, в Ia эквивалентные атомы C(3) находятся на большем расстоянии от оси  $2_1$  (0.82 Å), чем в II (0.09 Å, рис. 2, 3). Расположение одного из лигандов NMe<sub>2</sub> (включающего атом N(5)) также отличается: в Ia угол между нормалью к плоскости, проходящей через три атома лиганда, и осью *b* составляет 42.1°, а в II он увеличен до 87.5°. В структуре Ia кратчайшие расстояния Ta $\cdots$ Ta между цепочкой катионов и анионов и шестью соседними цепочками примерно одинаковые и находятся в диапа-

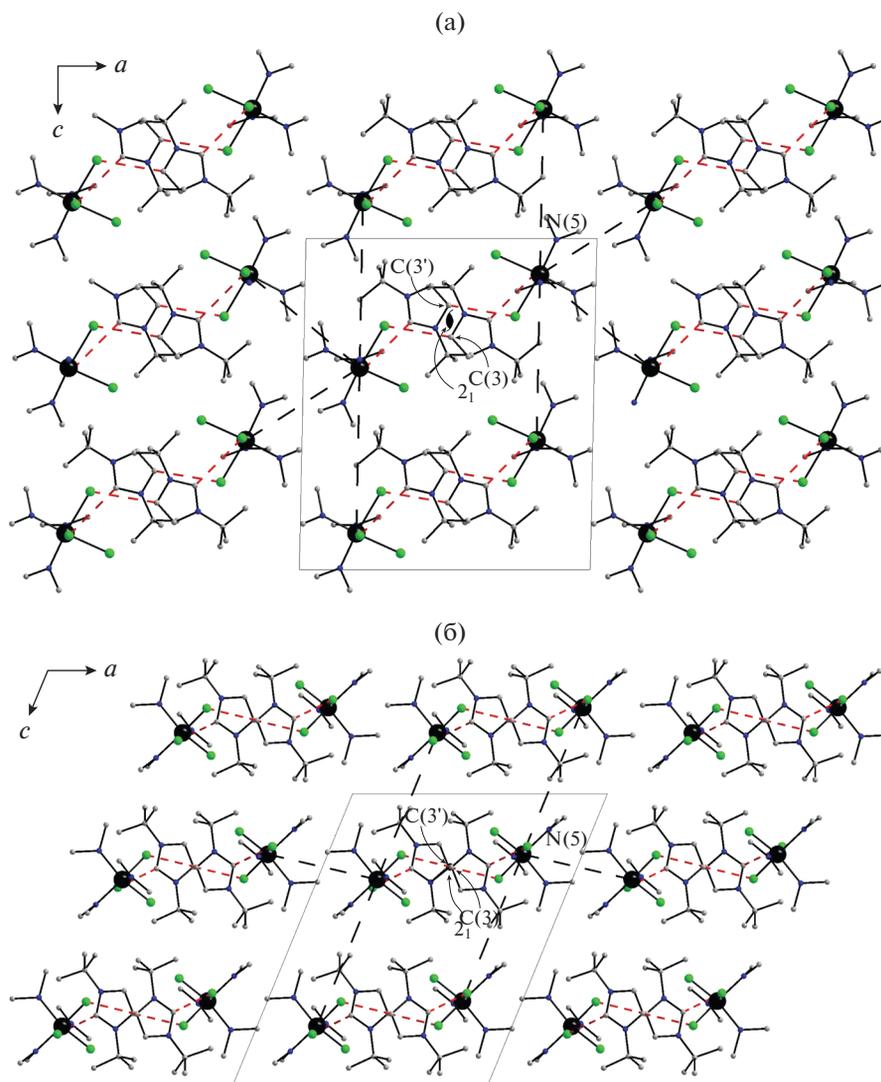


Рис. 3. Упаковка цепочек катионов и анионов в соединении Ia (а) и II (б). Водородные связи и кратчайшие расстояния Ta...Ta изображены пунктиром.

зоне 8.26–8.76 Å; подобные расстояния в структуре II (8.08–8.76 Å) наблюдаются только для четырех соседних цепочек.

Таким образом, получены смешанные амидо-галогенидные комплексы тантала, содержащие анионы *гран*-[Ta(NMe<sub>2</sub>)<sub>3</sub>X<sub>3</sub>]<sup>-</sup> (X = F, Cl). Комплексы охарактеризованы методами РСА, ИК- и ЯМР-спектроскопии. Для хлоридного комплекса (tBuH)[Ta(NMe<sub>2</sub>)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>] выделены две кристаллические модификации, отличающиеся упаковкой катионов и анионов. Следует отметить, что образование граневых изомеров согласуется с ситуацией, типичной для присутствия в координационной сфере ионов переходных металлов с электронной конфигурацией *d<sup>0</sup>* трех сильных π-донорных лигандов, в роли которых в данном случае выступают диметиламидные лиганды [25, 26].

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-33-20056).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lappert M.F., Protchenko A.V., Power P.P., Seeber A.L. Metal Amide Chemistry. John Wiley & Sons, 2008.
2. Winter C.H. // Aldrichimica Acta. 2000. V. 33. P. 3.
3. McElwee-White L. // Dalton Trans. 2006. P. 5327.
4. Fix R., Gordon R.G., Hoffman D.M. // Chem. Mater. 1993. V. 5. P. 614.

5. *Fix R., Gordon R.G., Hoffman D.M.* // Chem. Mater. 1991. V. 3. P. 1138.
6. *Bradley D.C., Thomas I.M.* // Can. J. Chem. 1962. V. 40. P. 1355.
7. *Davies H.O., Jones A.C., McKinnell E.A. et al.* // J. Mater. Chem. 2006. V. 16. P. 2226.
8. *Chisholm M.H., Tan L.-S., Huffman J.C.* // J. Am. Chem. Soc. 1982. V. 104. P. 4879.
9. *Chen S.-J., Cai H., Xue Z.-L.* // Organometallics. 2009. V. 28. P. 167.
10. *Chisholm M.H., Huffman J.C., Tan L.-S.* // Inorg. Chem. 1981. V. 20. P. 1859.
11. *Chao Y.-W., Wexler P.A., Wigley D.E.* // Inorg. Chem. 1989. V. 28. P. 3860.
12. *Bradley D.C., Hursthouse M.B., Malik K.M.A., Vuru G.B.C.* // Inorg. Chim. Acta. 1980. V. 44. P. L5.
13. *Bradley D.C., Thomas I.M.* // Can. J. Chem. 1962. V. 40. P. 449.
14. *Hoffman D.M., Rangarajan S.P.* // Polyhedron. 1993. V. 12. P. 2899.
15. *Schweiger S.W., Tillison D.L., Thorn M.G. et al.* // Dalton Trans. 2001. P. 2401.
16. *Petrov P.A., Sukhikh T.S., Sokolov M.N.* // Dalton Trans. 2017. V. 46. P. 4902.
17. *Петров П.А., Голубицкая Е.А., Компаньков Н.Б. и др.* // Журн. структур. химии. 2019. Т. 60. № 12. С. 2075 (*Petrov P.A., Golubitskaya E.A., Kompankov N.B. et al.* // J. Struct. Chem. 2019. V. 60. P. 1989). <https://doi.org/10.1134/S0022476619120151>
18. *Гордон А., Форд Р.* Спутник химика. М.: Мир, 1976. 544 с.
19. *Herrmann W.A., Böhm V.P.W., Gstöttmayr C.W.K. et al.* // J. Organomet. Chem. 2001. V. 617. P. 616.
20. *Arduengo A.J., Bock H., Chen H. et al.* // J. Am. Chem. Soc. 1994. V. 116. P. 6641.
21. APEX2 (version 1.08), SAINT (version 7.03), SADABS (version 2.11), SHELXTL (version 6.12). Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 2004.
22. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr A. 2015. V. 71. P. 3.
23. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. C. 2015. V. 71. P. 3.
24. *Dolomanov O.V., Bourhis L.J., Gildea R.J. et al.* // J. Appl. Cryst. 2009. V. 42. P. 339.
25. *Буслаев Ю.А., Ильин Е.Г.* Итоги науки и техники. Неорганическая химия. Т. 16. М.: ВИНТИ, 1987.
26. *Порай-Кошиц М.А., Атовмян Л.О.* Кристаллохимия и стереохимия координационных соединений молибдена. М.: Наука, 1974.