

КООРДИНАЦИОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

УДК 546.271

Публикация посвящена 50-летию чл.-корр. РАН К.Ю. Жижина

СИНТЕЗ И КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ (HL)₂[B₁₀Cl₁₀] · 3CH₃CN (L = Bipy, Phen)

© 2023 г. В. В. Авдеева^a, * (ORCID: 0000-0002-0655-1052),
А. В. Вологжанина^b (ORCID: 0000-0002-6228-303X), С. Е. Никифорова^a,
Г. А. Бузанов^a, Е. А. Малинина^a, Н. Т. Кузнецов^a

^aИнститут общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Ленинский пр-т, 31, Москва, 119991 Россия

^bИнститут элементоорганической химии им. А.Н. Несмеянова РАН, ул. Вавилова, 28, Москва, 119334 Россия

*e-mail: avdeeva.varvara@mail.ru

Поступила в редакцию 13.12.2022 г.

После доработки 27.12.2022 г.

Принята к публикации 28.12.2022 г.

При взаимодействии (Et₃NH)₂[B₁₀Cl₁₀] и органических лигандов 2,2'-бипиридила (Bipy) и 1,10-фенантролина (Phen) в системе ацетонитрил–трифторуксусная кислота получены соединения состава (HL)₂[B₁₀Cl₁₀] · 3CH₃CN (L = Bipy, Phen). Соединения охарактеризованы методами ИК-спектроскопии, элементного и рентгеноструктурного анализа (CCDC 2224377, 2224378). Показано, что в присутствии трифторуксусной кислоты происходит протонирование органических лигандов с образованием солей бипиридия и фенантролина, которые стабилизируются декахлор-клого-декаборатным анионом. Установлено, что катионы участвуют в образовании водородных связей с сольватными молекулами ацетонитрила, тогда как для кластерных анионов бора наблюдаются только слабые взаимодействия C–H...Cl и B–Cl...π.

Ключевые слова: декахлор-клого-декаборатный анион, бипиридил, фенантролин, рентгеноструктурный анализ

DOI: 10.31857/S0044457X22602176, **EDN:** UEPURW

ВВЕДЕНИЕ

Кластерные анионы бора [B_nH_n]^{2–} (n = 10, 12) [1–3] обладают трехмерной ароматичностью и локализованной электронной плотностью [4, 5], что позволяет им участвовать в реакциях комплексообразования [6–9] путем замещения концевых атомов водорода на различные функциональные группы [10–14]. Замещенные производные кластерных анионов бора также способны образовывать комплексы с атомами металлов, действуя как лиганды внутренней сферы (за счет координации B–H-групп атомом металла или за счет координации функциональной группы введенного заместителя) или противоионы [15–17].

Реакции комплексообразования с участием кластерных анионов бора [B_nH_n]^{2–} (n = 10, 12) и их производных [18–22] могут сопровождаться другими конкурирующими процессами, такими как замещение экзополитрических атомов водорода на молекулы растворителей или лигандов [23–26], окислительно-восстановительные реакции с участием кластерных анионов бора и металлов [27–30] и процессы протонирования органических

лигандов в условиях гидролиза катионов металлов [31].

Ранее в работах [31–34] описан синтез и строение солей кластерных анионов бора [B_nH_n]^{2–} (n = 10, 12) с протонированными азатероциклическими лигандами 2,2'-бипиридилом (Bipy), 1,10-фенантролином (Phen), 2,2'-бипиридиламином (BPA) и 7-NH₃-4-CH₃-кумарином и показано, что протонирование органических лигандов происходит с образованием катионов HL⁺ или H₂L²⁺ и может протекать в системе ацетонитрил–уксусная кислота либо в водном растворе металлов, которые подвергаются гидролизу по катиону с образованием слабой кислотной среды, что приводит к частичному протонированию лигандов в реакционном растворе и образованию клуго-боратов с протонированными лигандами в качестве побочных продуктов реакций комплексообразования металлов.

В настоящей работе изучен процесс протонирования органических лигандов Bipy и Phen в присутствии декахлор-клого-декаборатного аниона в системе ацетонитрил–трифторуксусная кислота.

Таблица 1. Кристаллографические данные, параметры эксперимента и уточнения структур I и II

Параметр	I	II
Химическая формула	(HBipy) ₂ [B ₁₀ Cl ₁₀] · 3CH ₃ CN	(HPhen) ₂ [B ₁₀ Cl ₁₀] · 3CH ₃ CN
<i>FW</i>	900.14	948.18
Сингония, пр. гр., <i>Z</i>	Моноклинная, <i>P</i> 2 ₁ /с, 4	
<i>a</i> , Å	10.3031(2)	10.3566(7)
<i>b</i> , Å	16.7003(3)	16.6602(10)
<i>c</i> , Å	24.0297(5)	24.2387(15)
β, град	100.022(1)	94.533(1)
<i>V</i> , Å ³	4071.58(14)	4169.1(5)
<i>d_x</i> , г/см ³	1.468	1.511
μ, мм ^{−1}	0.717	0.705
<i>F</i> 000	1808	1904
<i>T</i> , К	120.0(2)	
Излучение, λ, Å	MoK _α , 0.71073	
Размер образца, мм	0.48 × 0.22 × 0.19	0.38 × 0.19 × 0.17
θ _{max} , град	45.489	30.698
Область <i>h</i> , <i>k</i> , <i>l</i>	−20 < <i>h</i> < 20 −33 < <i>k</i> < 32 −48 < <i>l</i> < 48	−14 < <i>h</i> < 14 −23 < <i>k</i> < 23 −34 < <i>l</i> < 34
Число отражений: измеренных/независимых (<i>N</i> ₁)	361783/34123,	57142/12867,
<i>R</i> _{int} /с <i>I</i> > 2σ(<i>I</i>) (<i>N</i> ₂)	0.0511/23677	0.0534/9833
Метод уточнения	Полноматричный МНК по <i>F</i> ²	
Число уточняемых параметров	481	517
Весовая схема	$w = 1/[\sigma^2(F_o^2) + (0.025P)^2 + 2.0P]$, где $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$	$w = 1/[\sigma^2(F_o^2) + (0.0320)^2 + 3.0612P]$, где $P = (F_o^2 + 2F_c^2)/3$
Факторы недостоверности:		
<i>wR</i> ₂ по <i>N</i> ₁	0.0936	0.1039
<i>R</i> ₁ по <i>N</i> ₂	0.0397	0.0410
<i>S</i>	1.027	1.012
Остаточная электронная плотность	0.952/−0.797	0.545/−0.277
Δρ _{max} /Δρ _{min} , е/Å ³		

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Ацетонитрил (HPLC grade, 99.9%), ледяную трифторуксусную кислоту CF₃COOH (99%), а также твердые реагенты Bipy (99%), Phen (99%) производства Sigma-Aldrich использовали без дополнительной очистки. Соль (Et₃NH)₂[B₁₀H₁₀] получали в результате многостадийного синтеза при взаимодействии декаборана-14 с триэтиламинобораном через стадию образования 1,6-бис(триэтиламин)декаборана [35], соединение (Et₃NH)₂[B₁₀Cl₁₀] — хлорированием (Et₃NH)₂[B₁₀H₁₀] в водном растворе по методике [36].

Синтез (HL)₂[B₁₀Cl₁₀] · 3CH₃CN (L = Bipy (I), Phen (II)). К раствору (Et₃NH)₂[B₁₀Cl₁₀] (0.5 ммоль) в ацетонитриле (10 мл) добавляли раствор L (1 ммоль) в том же растворителе (10 мл). К полученным реакционным смесям по каплям добавляли ледяную трифторуксусную кислоту CF₃COOH (5 мл). Реакционную смесь оставляли при комнатной тем-

пературе в стакане, накрытом часовым стеклом. Через 48 ч наблюдали образование бесцветных кристаллов I · 3H₂O или II · 3H₂O, которые отфильтровывали, промывали ацетонитрилом (2 × 5 мл) и высушивали на воздухе. Выход составил 78% для I и 81% для II.

	C	H	N	B
Найдено, %:	30.8;	2.2;	7.3;	13.8.
Для C ₂₀ H ₁₈ N ₄ B ₁₀ Cl ₁₀				
(I) вычислено, %:	30.91;	2.33;	7.21;	13.91.

ИК-спектр (NaCl, см^{−1}): ν(NH) 3145 ш; ν(CN) 2295; ν(BCl) 1004, 1154; ν(Bipy) 1600–700; π(CH) 761.

	C	H	N	B
Найдено, %:	34.8;	2.1;	6.6;	12.9.
Для C ₂₄ H ₁₈ N ₄ B ₁₀ Cl ₁₀				
(II) вычислено, %:	34.94;	2.20;	6.79;	13.10.

ИК-спектр (NaCl , см^{-1}): $\nu(\text{NH})$ 3110 ш; $\nu(\text{CN})$ 2305; $\nu(\text{BCl})$ 1004, 1155; $\nu(\text{Bipy})$ 1600–700; $\pi(\text{CH})$ 761.

Элементный анализ на углерод, водород и азот проводили на автоматическом газовом анализаторе CHNS-3 FA 1108 Elemental Analyser (Carlo Erba), содержание бора определяли методом ICP MS на атомно-эмиссионном спектрометре iCAP 6300 Duo с индуктивно связанной плазмой. Перед проведением экспериментов образцы высушивали до постоянной массы.

ИК-спектры синтезированных комплексов записывали на ИК-Фурье-спектрометре ИНФРАЛЮМ ФТ-02 (НПФ АП “Люмэкс”) в области 4000–600 см^{-1} с разрешением 1 см^{-1} . Образцы готовили в виде суспензии исследуемого вещества в вазелиновом масле (Aldrich).

Рентгенодифракционные эксперименты выполнены на автоматическом дифрактометре с двумерным детектором Bruker Smart 1000 при 120.0(2) К. Параметры элементарной ячейки уточнены по всему массиву данных [37]. В экспериментально определенные значения интенсивности рефлексов внесены поправки на поглощение с использованием программы SADABS [38]. Структуры расшифрованы методом сопряженного пространства, реализованным в программе SHELXT [39], и уточнены полноматричным методом наименьших квадратов SHELXL-2014 [40] по F^2 по всем данным в анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Атомы H(N) определены на картах разностной электронной плотности, а ато-

мы водорода H(C) помещены в геометрически рассчитанные позиции и уточнены в модели “наездника” с изотропными тепловыми параметрами, равными $U_{\text{изо}} = 1.5U_{\text{экв}}(\text{C})$ для метильных групп и $1.2U_{\text{экв}}(\text{X})$ для остальных атомов, где $U_{\text{экв}}(\text{X})$ – эквивалентные изотропные тепловые параметры атомов, связанных с атомом водорода.

Параметры рентгеноструктурного эксперимента и окончательные значения факторов недовосточности для кристаллов I и II приведены в табл. 1. Координаты атомов и значения температурных параметров депонированы в Кембриджском банке кристаллографических данных под номерами CCDC 2224377 и 2224378 для I и II соответственно.

Рентгенофазовый анализ проводили на рентгеновском дифрактометре Bruker D8 Advance в ЦКП ИОНХ РАН ($\text{CuK}\alpha$ -излучение) в низкофоновых кюветах с подложкой из ориентированного монокристалла кремния в интервале углов 2θ 5°–80° с шагом 0.01125°. Для получения дифрактограмм образцы I и II тщательно растирали в агатовой ступке непосредственно перед съемкой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Синтез целевых соединений проводили в системе ацетонитрил–трифторуксусная кислота с использованием соли $(\text{Et}_3\text{NH})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}]$ и лигандов Bipy и Phen в качестве исходных соединений. Реакции протекали по схеме 1.

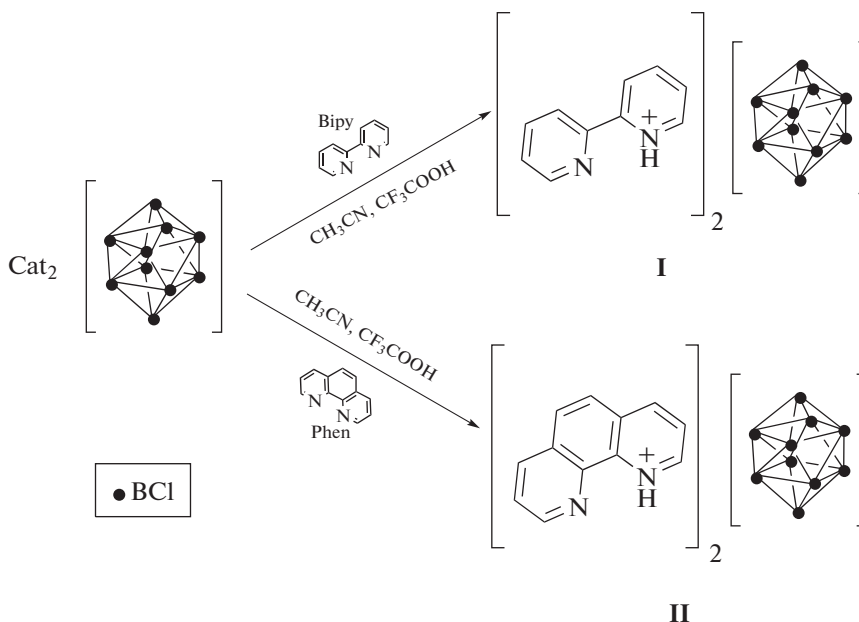


Схема 1. Синтез соединений $(\text{HL})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}]$ (L = Bipy (I); Phen (II)).

В ИК-спектрах соединений I, II присутствует уширенная полоса $\nu(\text{NH})$ в области 3100 см^{-1} , ко-

торая соответствует наличию NH-групп в катионной части соединений, и полосы $\nu(\text{BCl})$ с мак-

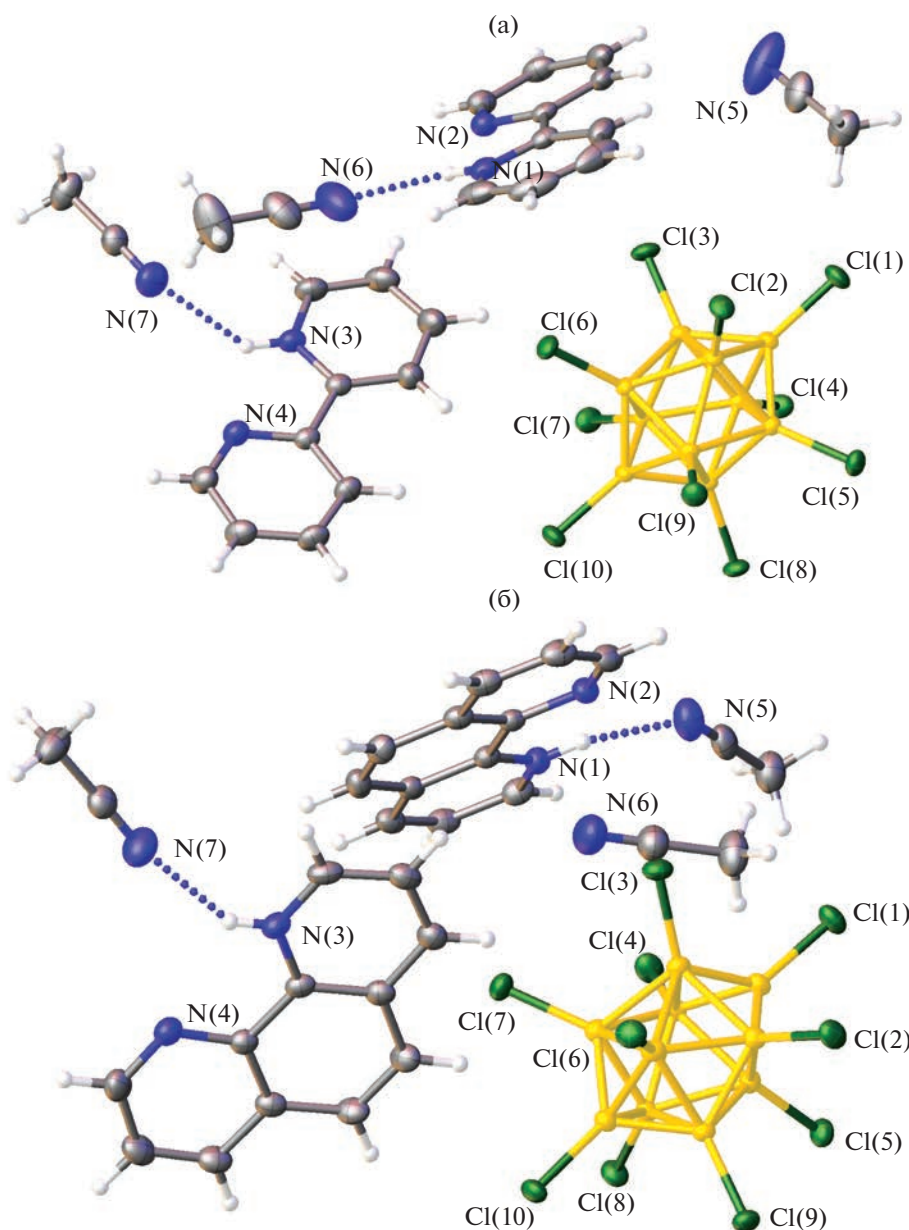


Рис. 1. Молекулярное строение $(\text{Hbipy})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}] \cdot 3\text{CH}_3\text{CN}$ (I) (a) и $(\text{Hphen})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}] \cdot 3\text{CH}_3\text{CN}$ (II) (б) в представлении атомов эллипсоидами температурных смещений ($p = 50\%$). Водородные связи изображены пунктиром.

симумами при 1155 и 1005 см^{-1} , связанные с наличием перхлорированного кластера в составе соединений. Кроме того, в спектрах кристаллов $(\text{HL})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}] \cdot 3\text{CH}_3\text{CN}$ (I, II) присутствуют полосы колебаний $\nu(\text{CN})$ молекул ацетонитрила при 2300 см^{-1} .

Согласно результатам рентгеноструктурного анализа, соединения I и II изоструктурны (табл. 1). Независимая часть ячейки содержит один дека-хлор-κлозо-декаборатный анион, два катиона HL^+ ($\text{L} = \text{Bipy}, \text{Phen}$) и три молекулы ацетонитрила

(рис. 1). Положение всех атомов водорода, включая $\text{H}(\text{N})$, может быть локализовано на картах электронной плотности, это однозначно позволит установить, какие атомы участвуют в образовании водородных связей (табл. 2). В отличие от анионов $[\text{B}_{10}\text{H}_{12}]^{2-}$ и $[\text{B}_{12}\text{H}_{12}]^{2-}$, склонных к образованию диводородных связей с участием протонированных гетероциклических органических катионов [31], в структурах I и II катионы участвуют в образовании водородных связей с сольватными молекулами ацетонитрила, тогда как для анионов наблюдаются только слабые взаимодействия $\text{C} \cdots \text{H} \cdots \text{Cl}$.

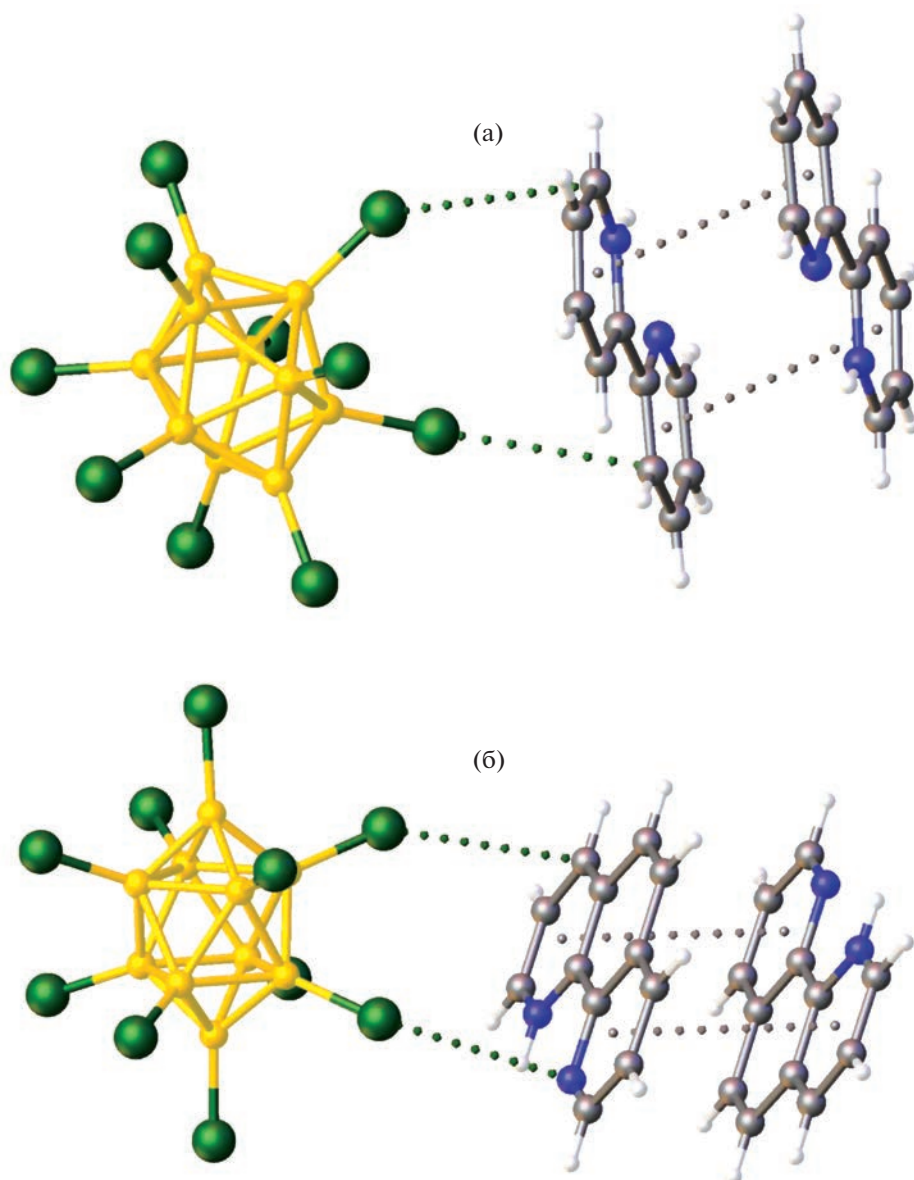


Рис. 2. Фрагменты кристаллической структуры I (а) и II (б), связанные между собой B—Cl...π- и π...π-взаимодействиями (изображены пунктиром).

Несмотря на отсутствие прочных межмолекулярных взаимодействий, анионы в структурах I и II полностью упорядочены. Длины связей C—Cl с апикальными атомами бора (1.782(1)–1.784(1) Å в

структуре I и 1.777(2)–1.781(2) Å в структуре II) укорочены по сравнению с экваториальными атомами (в среднем 1.800 и 1.796 Å). Разница в длинах связей борсодержащего кластера еще бо-

Таблица 2. Основные геометрические параметры водородных связей в структурах I и II

D—H...A	Расстояние, Å			Угол DHA, град
	D—H	H...A	D...A	
(HBipy) ₂ [B ₁₀ Cl ₁₀] · 3CH ₃ CN (I)				
N(1)—H(1)...N(6)	0.88	2.173	2.934(2)	145
N(3)—H(3a)...N(7)	0.88	2.179	2.876(2)	136
(HPhen) ₂ [B ₁₀ Cl ₁₀] · 3CH ₃ CN (II)				
N(1)—H(1)...N(5)	0.88	2.152	2.878(3)	142
N(3)—H(3a)...N(7)	0.88	2.033	2.800(3)	145

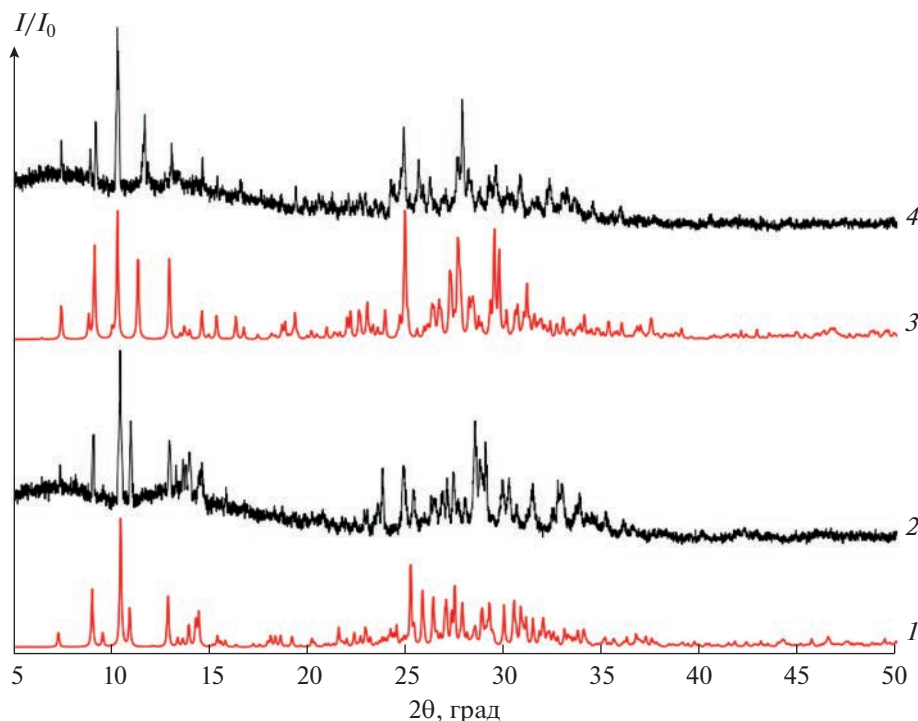


Рис. 3. Экспериментальные (2, 4) и рассчитанные (1, 3) дифрактограммы соединений I (3, 4) и II (1, 2).

лее выражена: длины связей В—В с участием апикальных атомов бора составляют в среднем 1.688 и 1.683 Å, тогда как длины связей между экваториальными атомами изменяются от 1.827 до 1.847 Å и от 1.816 до 1.845 Å.

Присутствие в солях I и II в качестве катионов гетероциклических органических катионов позволяет реализовать стеклинг-взаимодействие между ними. Действительно, в структурах этих соединений можно обнаружить антипараллельно расположенные катионы (рис. 2). В структуре I ближайшие атомы азота и углерода находятся на расстояниях 3.342(1) и 3.716 Å, а межплоскостное расстояние составляет 3.341(1)—3.541(4) Å. В структуре II аналогичные величины составляют 3.496—3.590(1) Å и 3.294(1)—3.432(1) Å. Можно предположить, что помимо слабых водородных связей $\text{C}—\text{H} \cdots \text{Cl}$ анионы участвуют в образовании контактов $\text{B}—\text{Cl} \cdots \pi$, в которых σ -дырки экваториальных атомов галогена, расположенные на продолжении связей $\text{B}—\text{Cl}$, находятся над плоскостью гетероциклических фрагментов катиона.

На основании данных РФА можно предположить однородность полученных образцов (рис. 3).

В работах [31–33] получены соли *клозо*-декаборатного и *клозо*-додекаборатного анионов, которые содержат моно- и дипротонированные молекулы *Виру* (соединения $(\text{ВируH})_2[\text{B}_{10}\text{H}_{10}]$, $(\text{ВируH}_2)[\text{B}_{10}\text{H}_{10}]$) и *ВРА* (соединение $(\text{НВРА})_2(\text{H}_2\text{ВРА})[\text{B}_{10}\text{H}_{10}]_2$), тогда как для *Phen*

выделены соли $(\text{PhenH})_2[\text{B}_{10}\text{H}_{10}]$ и $(\text{PhenH})_2[\text{B}_{12}\text{H}_{12}]$ в системе ацетонитрил—трифторуксусная кислота и $(\text{PhenH})_2(\text{Phen})_{2.5}[\text{B}_{10}\text{H}_{10}]$, полученное в ходе реакции комплексообразования кобальта в воде в качестве второго продукта после образования *трис*-хелатного комплекса $[\text{Co}(\text{Виру})_3][\text{B}_{10}\text{H}_{10}]$. Полученные данные указывают на меньшую склонность молекулы фенантролина к протонированию и выведению полученного катиона из реакционного раствора при стабилизации кластерным анионом бора по сравнению с *Виру* и *ВРА*. В настоящей работе соединения, содержащие дипротонированные лиганды, не получены. Вероятно, они образуются в реакционном растворе, однако наименее растворимыми соединениями оказываются монопротонированные соли *Виру* и *Phen* с декахлор-*клозо*-декаборатным анионом.

Отметим, что протонирование лигандов *Виру* и *Phen* наблюдалось в ходе реакций комплексообразования меди(II), кобальта(II) и редкоземельных металлов в присутствии других анионов [41–46].

Таким образом, в настоящей работе изучен процесс протонирования органических лигандов *Виру* и *Phen* в системе ацетонитрил—трифторуксусная кислота в присутствии декахлор-*клозо*-декаборатного аниона. Выделены и исследованы, в том числе методом РСА, соли $(\text{HL})_2[\text{B}_{10}\text{Cl}_{10}]$ ($\text{L} = \text{Виру}$ (I), *Phen* (II)). В структурах соединений имеются водородные связи между катионами и сольватными молекулами ацетонитрила, а также слабые взаи-

модействия С–Н...Cl и В–Cl...π между кластерными анионами бора и органическими катионами.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы статьи выражают благодарность А.Ф. Смольякову (ИНЭОС РАН) за проведение рентгеноструктурных исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

РСА соединений проведен в рамках государственного задания № 075-00697-22-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Синтез соединений и исследования методом РФА выполнены в рамках госзадания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Muetterties E.L., Knoth W.H.* Polyhedral Boranes. N.Y.: Dekker, 1968.
2. Boron Science: New Technologies and Applications / Ed. Hosmane N.S. CRC Press, 2012.
3. *Greenwood N.N., Earnshaw A.* Chemistry of the Elements. Butterworth-Heinemann, 1997.
4. *King B.R.* // Chem. Rev. 2001. V. 101. P. 1119. <https://doi.org/10.1021/cr000442t>
5. *Chen Z., King R.B.* // Chem. Rev. 2005. V. 105. P. 3613. <https://doi.org/10.1021/cr0300892>
6. *Avdeeva V.V., Malinina E.A., Kuznetsov N.T.* // Coord. Chem. Rev. 2022. V. 469. P. 214636. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2022.214636>
7. *Авдеева В.В., Короленко С.Е., Малинина Е.А., Кузнецов Н.Т.* // Журн. общей химии. 2022. Т. 92. № 3. С. 443.
8. *Alexandrova A.N., Boldyrev A.I., Zhai H.J., Wang L.S.* // Coord. Chem. Rev. 2006. V. 250. P. 2811. <https://doi.org/10.1039/D2QI00890D>
9. *Zhao X., Yang Z., Chen H. et al.* // Coord. Chem. Rev. 2021. V. 444. P. 214042. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214042>
10. *Суваев И.Б.* // Журн. неорганической химии. 2021. Т. 66. № 9. С. 1192. [*Sivaev I.B.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. P. 1289.] <https://doi.org/10.1134/S0036023621090151>
11. *Nelyubin A.V., Klyukin I.N., Zhdanov A.P. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. P. 139. <https://doi.org/10.1134/S0036023621020133>
12. *Shmal'ko A.V., Sivaev I.B.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2019. V. 64. P. 1726. <https://doi.org/10.1134/S0036023619140067>
13. *Zhizhin K.Yu., Zhdanov A.P., Kuznetsov N.T.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2010. V. 55. P. 2089. <https://doi.org/10.1134/S0036023610140019>
14. *Sivaev I.B., Prikaznov A.V., Naoufal D.* // Collect. Czech. Chem. Commun. 2010. V. 75. P. 1149. <https://doi.org/10.1135/cccc2010054>
15. *Avdeeva V.V., Buzanov G.A., Malinina E.A. et al.* // Crystals. 2020. V. 10. P. 389. <https://doi.org/10.3390/cryst10050389>
16. *Avdeeva V.V., Vologzhanina A.V., Ugolkova E.A. et al.* // J. Solid State Chem. 2021. V. 296. P. 121989. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2021.121989>
17. *Matveev E.Yu., Novikov I.V., Kubasov A.S. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2021. V. 66. P. 187. <https://doi.org/10.1134/S0036023621020121>
18. *Matveev E.Y., Avdeeva V.V., Zhizhin K.Y. et al.* // Inorganics. 2022. V. 10. P. 238. <https://doi.org/10.3390/inorganics10120238>
19. *Авдеева В.В., Малинина Е.А., Жижикин К.Ю., Кузнецов Н.Т.* // Коорд. химия. 2021. Т. 47. № 8. С. 457.
20. *Malinina E.A., Korolenko S.E., Zhdanov A.P. et al.* // J. Clust. Chem. 2021. V. 32. P. 755. <https://doi.org/10.1007/s10876-020-01840-5>
21. *Суваев И.Б.* // Журн. неорганической химии. 2019. Т. 64. № 8. С. 789.
22. *Axtell J.C., Saleh L.M.A., Qian E.A. et al.* // Inorg. Chem. 2018. V. 57. № 5. P. 2333. <https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.7b02912>
23. *Avdeeva V.V., Malinina E.A., Kuznetsov N.T.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2017. V. 62. P. 1673. <https://doi.org/10.1134/S0036023617130022>
24. *Dziova A.E., Avdeeva V.V., Polyakova I.N. et al.* // Dokl. Chem. 2011. V. 440. P. 253. <https://doi.org/10.1134/S0012500811090035>
25. *Elrington M., Greenwood N.N., Kennedy J.D., Thornton-Pett M.* // J. Chem. Soc., Dalton Trans. 1987. V. 2. P. 451. <https://doi.org/10.1039/DT9870000451>
26. *Avdeeva V.V., Polyakova I.N., Churakov A.V. et al.* // Polyhedron. 2019. V. 162. P. 65. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2019.01.051>
27. *Avdeeva V.V., Vologzhanina A.V., Goeva L.V. et al.* // Z. Anorg. Allg. Chem. 2014. V. 640. P. 2149. <https://doi.org/10.1002/zaac.201400137>
28. *Avdeeva V.V., Vologzhanina A.V., Goeva L.V. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2015. V. 428. P. 154. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2014.12.029>
29. *Avdeeva V.V., Dziova A.E., Polyakova I.N. et al.* // Polyhedron. 2015. V. 430. P. 74. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2015.02.029>
30. *Malinina E.A., Kochneva I.K., Polyakova I.N. et al.* // Inorg. Chim. Acta. 2018. V. 477. P. 284. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2018.03.024>
31. *Avdeeva V.V., Vologzhanina A.V., Malinina E.A., Kuznetsov N.T.* // Crystals. 2019. V. 9. P. 330. <https://doi.org/10.3390/cryst9070330>
32. *Chantler C.T., Maslen E.N.* // Acta Crystallogr., Sect. B. 1989. V. 45. P. 290.
33. *Fuller D.J., Kepert D.L., Skelton B.W., White A.H.* // Aust. J. Chem. 1987. V. 40. P. 2097.
34. *Goeva L.V., Zhuchkova A.F., Malinina E.A. et al.* // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. P. 1144. <https://doi.org/10.1134/S0036023622080149>

35. Miller H.C., Miller N.E., Muetterties E.L. // J. Am. Chem. Soc. 1963. V. 85. P. 3885.
36. Kravchenko E.A., Gippius A.A., Korlyukov A.A. et al. // Inorg. Chim. Acta. 2016. V. 447. P. 22.
<https://doi.org/10.1016/j.ica.2016.03.025>
37. SAINT-Plus (Version 7.68) // Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA. 2007.
38. SADABS. Bruker AXS Inc., Madison, Wisconsin, USA.
39. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. 2015. V. 71A. № 1. P. 3.
40. Sheldrick G.M. // Acta Crystallogr. 2015. V. 71C. № 1. P. 3.
41. Martsinko E.E., Seifullina I.I., Chebanenko E.A. et al. // Russ. J. Coord. Chem. 2018. V. 44. P. 393.
<https://doi.org/10.1134/S1070328418060039>
42. Seifullina I.I., Martsinko E.E., Chebanenko E.A. et al. // J. Struct. Chem. 2017. V. 58. P. 532.
<https://doi.org/10.1134/S0022476617030143>
43. Petrosyants S.P., Ilyukhin A.B. // Russ. J. Coord. Chem. 2014. V. 40. P. 825.
<https://doi.org/10.1134/S107032841410008X>
44. Yin P., Xue C., Yan Y. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2022. V. 67. P. 456.
<https://doi.org/10.1134/S0036023622040222>
45. Chebanenko E.A., Seifullina I.I., Martsinko E.E. et al. // Russ. J. Inorg. Chem. 2019. V. 64. P. 1132.
<https://doi.org/10.1134/S0036023619090043>
46. Petrosyants S.P., Dobrokhotova Z.V., Ilyukhin A.B. et al. // Eur. J. Inorg. Chem. 2017. V. 2017. № 29. P. 3561.
<https://doi.org/10.1002/ejic.201700537>