

УДК 541.49+541.67

СИНТЕЗ И СТРОЕНИЕ ЦИКЛОМЕТАЛЛИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ Ni(II) И Pd(II) АЗОМЕТИНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

© 2019 г. А. С. Бурлов^{1, *}, С. А. Машенко¹, В. Г. Власенко²,
М. А. Кискин³, С. А. Николаевский³, Е. В. Коршунова¹

¹НИИ физической и органической химии Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

²НИИ физики Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Россия

³Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия

*e-mail: anatoly.burlov@yandex.ru

Поступила в редакцию 03.05.2019 г.

После доработки 22.05.2019 г.

Принята к публикации 03.06.2019 г.

Синтезированы новые комплексы Ni(II) и Pd(II) на основе азометинового соединения 2-[(*E*)-[4-метил-2-[(*Z*)-*n*-толилазо]фенил]иминометил]-фенола (**1a**, **1b**). Строение и свойства комплексов охарактеризованы методами ИК-, ЯМР ¹H-спектроскопии, РСА (CIF files CCDC № 1899223 (**1a**) и 1899224 (**1b**)). Установлено, что при комплексообразовании образуются циклометаллированные хелаты. По данным РСА, кристаллы Ni(II) и Pd(II) изоструктурны с квадратной геометрией координационного узла (MCN₂O, M = Ni, Pd) и реализацией двух, пяти и одного шестичленного металлоциклов.

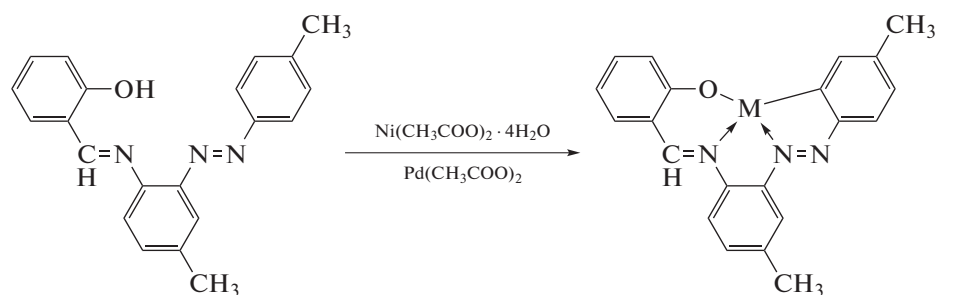
Ключевые слова: азо-азометины, металлокомплексы, циклометаллирование, РСА

DOI: 10.1134/S0132344X1911001X

Азометиновые лиганды – важные объекты современной химии координационных соединений. Данному классу соединений посвящен ряд монографий и обзоров [1–5]. Металлокомплексы азометиновых лигандов обладают рядом полезных свойств, что позволяет создавать на их основе многофункциональные материалы. К последним следует отнести магнитоактивные [6–8], люминесцирующие [9] комплексы, хемосенсоры [10–12]. Комплексные соединения азометиновых лигандов широко представлены среди биокоординационных систем [13, 14]. Также комплексные соединения азометиновых лигандов обладают хорошей каталитической активностью в различных реакциях при высокой (>100°C) температуре и в присутствии влаги [15, 16].

Важное место в исследованиях молекулярных магнитных материалов и систем, проявляющих термо- и фотоиндуцируемый кроссовер-эффект [17, 18], занимает изучение координационных соединений азометинов, содержащих не участвующий в координации азобензольный фрагмент [19, 20]. Его способность к индуцируемой светом *E/Z*-изомеризации имеет большое значение для создания координационных соединений со свойствами молекулярных переключателей [21].

В настоящей работе мы получили новые координационные соединения Ni(II) (**1a**) и Pd(II) (**1b**) с азометиновым соединением – 2-[(*E*)-[4-метил-2-[(*Z*)-*n*-толилазо]фенил]иминометил]фенолом (**HL**).



HL

I M = Ni (**a**), Pd (**b**)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В работе использовали коммерчески доступные (Alfa Aesar) салициловый альдегид и 6-амино-4,4'-диметилазобензол, ацетат палладия, тетрагидрат ацетата никеля (“ч. д. а.”).

Синтез HL. К раствору 3.05 г (2.5 ммоль) салицилового альдегида в 10 мл изопропилового спирта прибавляли 5.63 г (2.5 ммоль) 6-амино-4,4'-диметилазобензола в 40 мл изопропилового спирта и кипятили с обратным холодильником в течение 2 ч. Выпавший по охлаждению осадок от фильтровывали и перекристаллизовывали из смеси хлороформ–метанол (1 : 2) и сушили в вакуум-сушильном шкафу. Выход красных кристаллов 7.68 г (96%). $T_{пл} = 88–89^{\circ}\text{C}$.

Найдено, %: C 76.49; H 5.75; N 12.68.

Для $\text{C}_{21}\text{H}_{19}\text{N}_3\text{O}$

вычислено, %: C 76.57; H 5.81; N 12.76.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1616 (CH=N), 1284 (Ph–O).

Спектр ЯМР ^1H (DMSO- d_6 ; δ , м.д.): 2.40 (с., 6H, CH_3), 6.98–7.83 (м., 11H, C_{Ar} –H), 9.05 (с., 1H, CH=N), 13.92 (с., 1H, OH).

Синтез металлокомплексов Ia, Ib. К суспензии 0.33 г (1 ммоль) HL в 30 мл метанола приливали раствор 0.054 г (1 ммоль) метилата натрия в 5 мл метанола. Смесь кипятили до полного растворения азометина. К полученному раствору прибавляли 0.25 г (1 ммоль) тетрагидрата ацетата никеля в 10 мл метанола или 0.23 г (1 ммоль) ацетата палладия в 10 мл ацетона. Смесь кипятили в течение 2 ч. Выпавшие осадки комплексов отфильтровывали, промывали 2 раза по 5 мл кипящим метанолом, перекристаллизовывали из смеси хлористый метилен–метанол (2 : 1) и сушили в вакуум-сушильном шкафу.

(2-[(E)-[4-метил-2-[(Z)-*n*-толилазо]фенил]иминометил]фенолато)никель(II) (Ia): зеленые кристаллы. Выход 0.38 г (99%). $T_{пл} > 250^{\circ}\text{C}$.

Найдено, %: C 65.28; H 4.39; N 10.91; Ni 15.87.

Для $\text{C}_{21}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{ONi}$

вычислено, %: C 65.34; H 4.44; N 10.88; Ni 15.20.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1611 (CH=N), 1322 (Ph–O).

Комплекс диамагнитен, практически нерасстворим в органических растворителях, вследствие чего не удалось снять спектр ЯМР ^1H .

(2-[(E)-[4-метил-2-[(Z)-*n*-толилазо]фенил]иминометил]фенолато)палладий(II) (Ib): коричневые кристаллы. Выход 0.38 г (87%). $T_{пл} > 250^{\circ}\text{C}$.

Найдено %: C 58.21; H 4.02; N 9.72; Pd 24.53.

Для $\text{C}_{21}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{PdO}$

вычислено, %: C 58.14; H 3.95; N 9.69; Pd 24.53.

ИК-спектр (ν , cm^{-1}): 1609 (CH=N), 1319 (Ph–O).

Спектр ЯМР ^1H (DMSO- d_6 ; δ , м.д.): 2.36 (с., 6H, CH_3), 6.55–7.93 (м., 10H, C_{Ar} –H), 9.01 (с., 1H, CH=N).

C, H, N элементный анализ выполняли на приборе Carlo Erba Instruments TCM 480. Анализ на металл проводили весовым методом.

ИК-спектры снимали на приборе Varian Excalibur-3100 FT–IR в порошках методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Спектры ЯМР ^1H измеряли на приборе Varian Unity-300 (300 МГц) в режиме внутренней стабилизации полярно-резонансной линии ^2H в CDCl_3 .

РСА монокристаллов комплексов NiL и PdL выполнен на дифрактометре Bruker Apex II (CCD-детектор, $\text{MoK}\alpha$, $\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$, графитовый монохроматор) [22]. Введена полуэмпирическая поправка на поглощение [23]. Структуры расшифрованы прямыми методами и уточнены в полноматричном анизотропном приближении для всех неводородных атомов. Атомы водорода при атомах углерода органических лигандов генерированы геометрически и уточнены в модели “наездника”. Расчеты проведены по комплексу программ SHELX-2014/7 [24]. Кристаллографические параметры NiL и PdL приведены в табл. 1.

Полный набор рентгеноструктурных данных депонирован в Кембриджском банке структурных данных (№ 1899223 (Ia) и 1899224 (Ib)); deposit@ccdc.cam.ac.uk или http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Строение азо-азометина HL установлено методами элементного анализа, ИК- и ЯМР ^1H -спектроскопии. В ИК-спектре HL наблюдаются полосы поглощения при 1616 cm^{-1} $\nu(\text{CH}=\text{N})$ и 1284 cm^{-1} $\nu(\text{Ph}-\text{O})$. В спектре ЯМР ^1H соединения найдены сигналы всех протонов в соответствии с брутто-формулой. Сигналы протонов CH=N регистрируются при 9.05 м.д. и сигналы протонов OH-групп – при 13.92 м.д.

Ранее мы получили комплексы металлов азометиновых соединений, производных 2-гидрокси- и 2-тозиламинобензальдегидов, 1-фенил-3-метил-4-формил-5-пиразолона (тиона), содержащих азогруппу в *орто*-положении аминного фрагмента

Таблица 1. Кристаллографические параметры и детали уточнения структур Ia и Ib

Параметр	Значение	
	Ia	Ib
<i>M</i>	386.09	433.78
<i>T</i> , К	173(2)	120(2)
Сингония	Моноклинная	
Пр. гр.	<i>P2₁/n</i>	
<i>a</i> , Å	11.9303(14)	11.6714(11)
<i>b</i> , Å	7.3913(9)	7.5075(7)
<i>c</i> , Å	18.661(2)	19.288(2)
β, град	90.388(2)	90.347(1)
<i>V</i> , Å ³	1645.5(3)	1690.1(3)
<i>Z</i>	4	
ρ(выч.), г см ³	1.558	1.705
μ, мм ⁻¹	1.19	1.11
θ _{max} , град	26.96	29.18
<i>T</i> _{min} / <i>T</i> _{max}	0.465/0.746	0.632/0.746
Число измеренных рефлексов	7736	11122
Число независимых рефлексов	3484	4510
Число рефлексов с <i>I</i> > 2σ(<i>I</i>)	2491	3614
<i>R</i> _{int}	0.055	0.036
Число уточняемых параметров	235	235
GOOF	0.96	0.98
<i>R</i> ₁ (<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>))	0.050	0.033
<i>wR</i> ₂ (<i>I</i> > 2σ(<i>I</i>))	0.116	0.081

состава ML₂, в которых азогруппа аминного фрагмента в зависимости от природы лиганда и металла участвует или не участвует в координации к иону металла [25–32].

Полученные на основе HL комплексы металлов Ia, Ib, согласно данным элементного анализа, в отличие от описанных ранее, имеют состав ML. В ИК-спектрах комплексов Ia, Ib полосы поглощения валентных колебаний 1619 см⁻¹ ν(CN=N) лиганда при комплексообразовании смещаются на 8–10 см⁻¹ в длинноволновую область, а полосы валентных колебаний ν(Ph–O) лигандов при 1284 см⁻¹ смещаются на 35–38 см⁻¹ в коротковолновую область. Такие ИК-спектральные изменения характерны при комплексообразовании хелатных структур [33]. Комплексы Ia, Ib диамагнитны.

В литературе описаны комплексы металлов азометиновых лигандов, в которых реализуются циклометаллированные структуры состава ML [34–40]. Выполненный PCA полученных комплексов Ia, Ib также свидетельствует об образовании циклометаллированных комплексов никеля и палладия.

Кристаллы комплексов Ia и Ib изоструктурны. В обоих соединениях дианион L²⁻ координирован к атомам металлов и их окружение (MCN₂O, M = Ni, Pd) соответствует искаженной квадратной геометрии (рис. 1). Молекулы Ia и Ib плоские, отклонение атомов от среднеквадратичной плоскости составляет 0.067 и 0.085 Å соответственно.

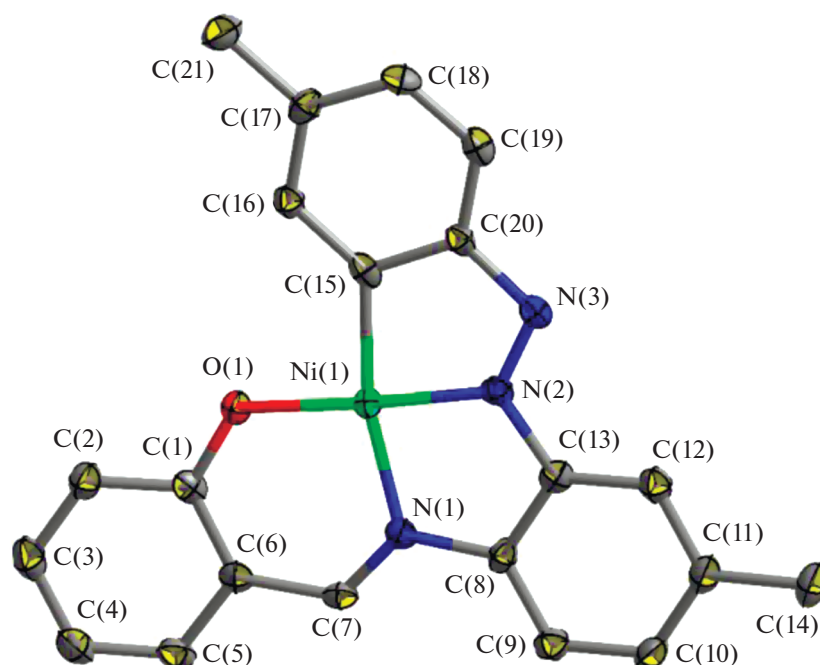


Рис. 1. Строение комплекса Ia (атомы водорода не показаны, эллипсоиды с вероятностью 50%).

Основные длины связей и углы в молекулах Ia и Ib приведены в табл. 2 (нумерация атомов N, C и O в обеих структурах совпадает).

В комплексе Ia длины связей Ni–N(азо) 1.806 Å и Ni–N(имин) 1.899 Å различаются в результате более сильного *транс*-влияния арильного углерода, чем фенольного кислорода [34]. Длина связи Ni–C (1.877 Å) сравнима с аналогичной для *орто*-металлированных комплексов Ni(II) с азобензолом [35]. Длина связи Ni–O (1.820 Å) близка к длинам связей Ni–O в квадратных комплексах никеля(II) с N,N'-бис(салицилиден)этилендиамином [36, 37].

Анализ упаковки молекул комплекса в кристалле выявил образование димеров {Ni₂} из соседних молекул, в которых расстояние Ni...Ni составляет 3.182 Å. Димеры {Ni₂} также взаимодействуют с соседними димерами за счет π–π-стекинг-взаимодействий между фенильными фрагментами C(1)–C(6) и C(8)–C(13), расстояние между центроидами ароматических колец составляет 3.632 Å (рис. 2). В результате таких межмолекулярных взаимодействий формируется супрамолекулярная цепочка (рис. 2), в которой межатомное расстояние Ni...Ni между двумя димерами {Ni₂} составляет 4.876 Å.

В комплексе Ib длины связей Pd–N(азо) 2.030 Å и Pd–N(имин) 1.920 Å, как и в Ia, различаются в результате более сильного *транс*-влияния арильного углерода, чем фенольного кислорода [38]. Длины связей Pd–C 1.983 Å и Pd–O 1.993 Å срав-

нимы со значениями аналогичных длин связей для известных комплексов Pd(II) [38–40]. Анализ упаковки молекул комплекса в кристалле выявил образование димеров {Pd₂} из соседних молекул, в которых расстояние Pd...Pd составляет 3.274 Å. Димеры {Pd₂} взаимодействуют с соседними димерами за счет π–π-стекинг-взаимодействий между фенильными фрагментами C(1)–C(6) и C(8)–C(13), расстояние между центроидами ароматических колец составляет 3.646 Å. В сформированной супрамолекулярной цепочке межатомное расстояние Pd...Pd между двумя димерами {Pd₂} составляет 5.057 Å.

Таким образом, на основе азометинового соединения 2-[(*E*)-[4-метил-2-[(*Z*)-*n*-толилазо]фенил]иминометил]фенола получены новые комплексы Ni(II) и Pd(II). Показано, что при комплексообразовании образуются изоструктурные циклометаллированные хелаты с квадратной геометрией координационного узла и участием в координации к металлу атомов азота азометиновой и азо-группы с реализацией двух пятичленных и шестичленного металлоциклов.

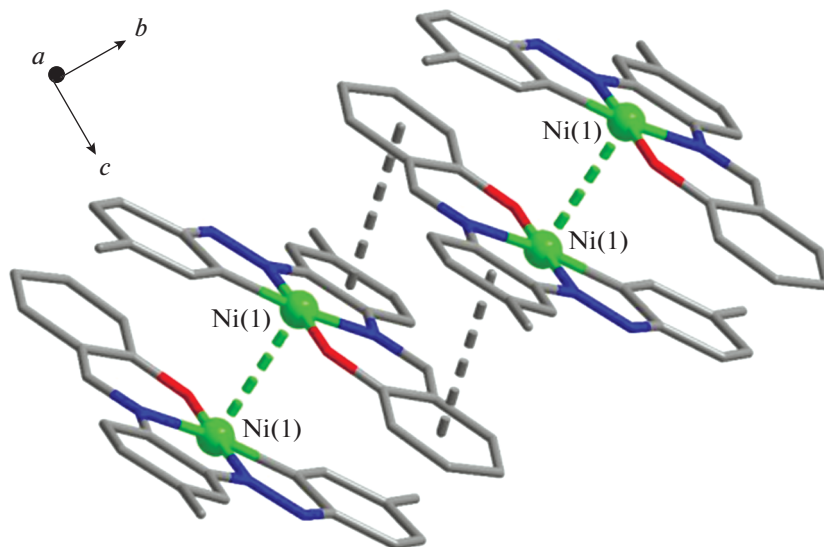
Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

БЛАГОДАРНОСТИ

В работе использовано оборудование Центра коллективного пользования “Молекулярная спектроскопия”. Рентгеноструктурные исследования комплексов NiL и PdL выполнены на оборудовании ЦКП ФМИ

Таблица 2. Основные значения длин связей и валентных углов в комплексах Ia и Ib

Длина связи, Å	Ia	Ib	Угол, град	Ia	Ib
M–N(1)	1.899(3)	2.030(2)	O(1)M(1)N(1)	97.59(11)	95.59(9)
M–N(2)	1.806(3)	1.920(2)	O(1)M(1)N(2)	176.65(12)	179.28(9)
M–O(1)	1.820(2)	1.993(2)	O(1)M(1)C(15)	94.75(12)	100.72(10)
M–C(15)	1.877(3)	1.983(3)	N(1)M(1)N(2)	85.76(12)	83.93(10)
O(1)–C(1)	1.314(4)	1.308(3)	C(15)M(1)N(1)	167.39(12)	163.65(10)
N(2)–N(3)	1.278(4)	1.273(3)	C(15)M(1)N(2)	81.90(13)	79.76(10)
N(1)–C(7)	1.294(4)	1.295(4)	M(1)(C15)C(16)	132.4(2)	133.2(2)
N(1)–C(8)	1.422(4)	1.425(3)	M(1)(C15)C(20)	110.4(3)	109.4(2)
N(2)–C(13)	1.413(4)	1.418(4)	M(1)O(1)C(1)	124.6(2)	122.0(2)
N(3)–C(20)	1.399(4)	1.407(3)	M(1)N(1)C(7)	125.0(2)	123.9(2)
C(1)–C(6)	1.422(5)	1.440(4)	M(1)N(1)C(8)	111.6(2)	110.3(2)
C(8)–C(13)	1.397(5)	1.417(4)	M(1)N(2)C(13)	115.9(2)	114.7(2)
C(15)–C(20)	1.415(4)	1.425(4)	M(1)N(2)N(3)	123.7(2)	123.2(2)
			N(3)N(2)C(13)	120.5(3)	122.1(2)
			N(2)N(3)C(20)	108.0(3)	109.2(2)

**Рис. 2.** Фрагмент упаковки молекул комплекса Ia в кристалле вдоль оси *b*. Атомы водорода не показаны, пунктирами показаны контакты между атомами Ni и между центроидами ароматических фрагментов C₆ соседних молекул.

ИОНХ РАН в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект 4.5388.2017/8.9). Рентгеноструктурные исследования комплексов NiL и PdL выполнены в рамках государственного задания ИОНХ РАН в области фундаментальных научных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nejati K., Rezvani Z., Massoumi B.* // *Dyes Pigments.* 2007. V. 75. № 3. P. 653.
2. *Vigato P.A., Tamburini S., Bertelo L.* // *Coord. Chem. Rev.* 2007. V. 251. № 11–12. P. 1311.
3. *Vigato P.A., Tamburini S.* // *Coord. Chem. Rev.* 2004. V. 248. № 17–20. P. 1717.
4. *Коган В.А., Щербачев И.Н.* // *Рос. хим. журн.* 2004. Т. 48. № 1. С. 69.
5. *Гарновский А.Д., Васильченко И.С.* // *Успехи химии.* 2005. Т. 74. № 3. С. 211 (*Garnovskii A.D., Vasil'chenko I.S.* //

- Russ. Chem. Rev. 2005. V. 74. № 3. P. 193.).
<https://doi.org/10.1070/RC2005v074n03ABEH001164>
6. *Garnovskii A.D., Vasilchenko I.S., Garnovskii D.A., Kharisov I.S.* // J. Coord. Chem. 2009. V. 62. № 2. P. 151.
 7. *Gatteschi D., Sessoli R., Cornia A.* // Comprehensive Coordination Chemistry II / Ed. Lever A.B.P. Amsterdam—Oxford—New York: Elsevier-Pergamon Press, 2003. V. 2. P. 393.
 8. *Tompson K.L.* // Coord. Chem. Rev. 2005. V. 249. № 23. P. 2549.
 9. Organic Light-Emitting Devices / Eds. Mueller K., Schert U. Weinheim—New York: Wiley-VCH., 2006. P. 94.
 10. *Burdette S.C., Lippard S.J.* // Coord. Chem. Rev. 2001. V. 216—217. P. 333.
 11. *Брень В.А.* // Успехи химии. 2001. Т. 70. № 12. С. 1152 (*Bren V.A.* // Russ. Chem. Rev. 2001. V. 70. P. 1017.).
<https://doi.org/10.1070/RC2001v070n12ABEH000667>
 12. *Ушаков Е.Н., Алфимов М.В., Громов С.П.* // Успехи химии. 2008. Т. 77. № 1. С. 39 (*Ushakov E.N., Alfimov M.V., Gromov S.P.* // Russ. Chem. Rev. 2008. V. 77. P. 39.).
<https://doi.org/10.1070/RC2008v077n01ABEH003757>
 13. *Halcrow M.A.* // Comprehensive Coordination Chemistry II / Eds. Que L., Tolman W.B., New York: Elsevier-Pergamon Press, 2003. V. 8. P. 395.
 14. Бионеорганическая химия // Рос. хим. журн. 2004. Т. 48. № 4. 176 с.
 15. *Garnovskii A.D., Vasilchenko I.S., Garnovskii D.A., Kharisov I.S.* // J. Coord. Chem. 2009. V. 62. № 2. P. 151.
 16. *Naeimi H., Safari J., Heidarneshad A.* // Dyes Pigments. 2007. V. 73. № 2. P. 251.
 17. Spin Crossover in Transition Metal Compounds / Eds. Gütllich P., Goodwin H.A. Topics in Current Chemistry. Berlin: Springer-Verlag, 2004. V. 233—235.
 18. *Sato O., Tao J., Zhang Y.-Z.* // Angew. Chem. Int. Ed. 2007. V. 46. P. 2152.
 19. *Nihei M., Shiga T., Maeda Y., Oshio H.* // Chem. Rev. 2007. V. 251. P. 2606.
 20. *Weber B.* // Coord. Chem. Rev. 2009. V. 253. P. 2432.
 21. *Gütllich P., Garcia Y., Woike T.* // Coord. Chem. Rev. 2001. V. 219—221. P. 839.
 22. SMART (control) and SAINT (integration) Software. Version 5.0. Madison (WI, USA): Bruker AXS Inc., 1997.
 23. *Sheldrick G.M.* SADABS. Program for Scanning and Correction of Area Detector Data. Göttingen (Germany): Univ. of Göttingen, 2004.
 24. *Sheldrick G.M.* // Acta Crystallogr. A. 2008. V. 64. P. 112.
 25. *Бурлов А.С., Николаевский С.А., Богомяков А.С. и др.* // Коорд. химия. 2009. Т. 35. № 7. С. 495 (*Burlov A.S., Nikolaevskii S.A., Vasil'chenko I.S. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2009. V. 35. № 7. P. 486).
<https://doi.org/10.1134/S1070328409070045>
 26. *Гарновский А.Д., Бурлов А.С., Стариков А.Г. и др.* // Коорд. химия. 2010. Т. 36. № 7. С. 483 (*Garnovskii A.D., Burlov A.S., Metelitsa A.V. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2010. V. 36. № 7. P. 479.).
<https://doi.org/10.1134/S1070328410070018>
 27. *Бурлов А.С., Мащенко С.А., Анцышкіна А.С. и др.* // Коорд. химия. 2013. Т. 39. № 12. С. 707 (*Burlov A.S., Mashchenko S.A., Nikolaevskii S.A. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2013. V. 39. № 12. P. 813.).
<https://doi.org/10.7868/S0132344X13120013>
 28. *Burlov A.S., Mashchenko S.A., Vlasenko V.G. et al.* // J. Mol. Struct. 2014. V. 1061. P. 47.
 29. *Бурлов А.С., Мащенко С.А., Власенко В.Г. и др.* // Журн. общ. химии. 2015. Т. 85. № 10. С. 1708 (*Burlov A.S., Mashchenko S.A., Vlasenko V.G. et al.* // Russ. J. Gen. Chem. 2015. V. 85. № 10. P. 2338.).
<https://doi.org/10.1134/S1070363215100199>
 30. *Бурлов А.С., Мащенко С.А., Власенко В.Г. и др.* // Коорд. химия. 2015. Т. 41. № 6. С. 346 (*Burlov A.S., Mashchenko S.A., Vlasenko V.G. et al.* // Russ. J. Coord. Chem. 2015. V. 41. № 6. P. 376.).
<https://doi.org/10.1134/S1070328415060019>
 31. *Бурлов А.С., Власенко В.Г., Левченко С.И. и др.* // Коорд. химия. 2017. Т. 43. № 11. С. 684 (*Burlov A.S., Vlasenko V.G., Levchenkov S.I.* // Russ. J. Coord. Chem. 2017. V. 43. № 11. P. 753.).
<https://doi.org/10.1134/S1070328417110021>
 32. *Бурлов А.С., Мащенко С.А., Власенко В.Г. и др.* // Журн. общ. химии. 2018. Т. 88. № 2. С. 285 (*Burlov A.S., Mashchenko S.A., Vlasenko V.G. et al.* // Russ. J. Gen. Chem. 2018. V. 88. № 2. P. 262.).
<https://doi.org/10.1134/S1070363218020123>
 33. *Александрян Д.В., Козлов В.А., Одиноц И.Л. и др.* // Изв. АН. Сер. хим. 2007. № 9. С. 1827 (*Aleksanyan D.V., Kozlov V.A., Odinetz I.L. et al.* // Russ. Chem. Bull. 2007. V. 56. № 9. P. 1891.).
<https://doi.org/10.1007/s11172-007-0291-x>
 34. *Pattanayak P., Pratihar J.L., Patra D. et al.* // Eur. J. Inorg. Chem. 2007. P. 4263.
 35. *Chien T.C., Dias L.G., Arantes G.M. et al.* // J. Photochem. Photobiol. A. 2008. V. 194. P. 37.
 36. *Kawamoto T., Kushi Bull Y.* // Chem. Soc. Jpn. 2004. V. 77. P. 289.
 37. *Giäser T., Heidemeier M., Lügger T.* // Dalton Trans. 2003. P. 2381.
 38. *Pattanayak P., Pratihar J.L., Patra D. et al.* // Polyhedron. 2008. V. 27. P. 2209.
 39. *Neogi D.N., Biswas A.N., Das P.* // Inorg. Chim. Acta. 2007. V. 360. P. 2181.
 40. *Chattopadhyay S., Sinha C., Basu P.* // Organometallics. 1991. V. 10. P. 1135.