УДК 54-386: 542.8: 546.562: 547.1.1

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.8

**КОМПЛЕКСООБРАЗОВАНИЕ ХЛОРИДОВ КОБАЛЬТА(II) И НИКЕЛЯ(II)
С 4-(ДИМЕТИЛАМИНО)-1,1-ДИЭТИЛСИЛОЛАН-3-ОЛОМ И
2-(ДИМЕТИЛАМИНО)-5-ТРИМЕТИЛСИЛИЛЦИКЛОГЕСАН-1-ОЛОМ**

© И. Г. Конкина*, Ю. И. Муринов

Уфимский институт химии УФИЦ РАН

Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, д. 71.

Тел.: +7 (347) 235 54 00.

*Email: irkonk@anrb.ru

Синтезированы координационные соединения хлоридов кобальта (II) и никеля (II) (MCl_2) с кремнийорганическими гидроксиаминами (L) – 4-(диметиламино)-1,1-диэтилсилолан-3-олом (K5) и 2-(диметиламино)-5-триметилсилилциклогексан-1-олом (K6) состава $MCl_2 \cdot 2L$. Образование координационных соединений подтверждено методами ИК-Фурье и 1H ЯМР спектроскопии. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что донорно-акцепторное взаимодействие в изучаемых системах осуществляется как через атом азота, так и через атом кислорода, т.е. лиганды проявляют себя в данном случае как N,O-бидентатные. Показано, что синтезированные соединения димеризованы в бензоле и обладают высокой растворимостью в органических растворителях.

Ключевые слова: кремнийорганические гидроксиамины, хлориды кобальта (II) и никеля (II), комплексообразование, ИК-спектроскопия, спектроскопия ЯМР 1H .

Введение

Интерес к исследованию координационных соединений (КС) меди(II) кобальта(II) и никеля(II) обусловлен тем, что эти металлы, хелатированные донорными атомами аминокислот, присутствуют в активных сайтах ферментов, найденных в живых организмах, и играют центральную роль в биологическом катализе [1–3]. В настоящее время КС 3d-металлов являются объектами изучения и фундаментальных, и прикладных наук [4–11].

Используемые в данной работе лиганды относятся к классу гидроксиаминов, координационная химия которых, как представлено в обзоре [12], заслуживает дальнейшего изучения. В молекулах этих соединений присутствуют функциональные группы (гидроксильная и аминогруппа), атомы азота и кислорода которых способны выступать в качестве доноров электронов при образовании координационных связей с ионами металлов, как моно-, так и бидентатным способами [12].

Введение в молекулы органических соединений атома кремния, элемента третьего периода, более объемного, чем атом углерода и имеющего 3d-орбитали, вносит различия в структуру и свойства соответствующих соединений кремния и углерода вследствие возможности $p_\pi-d_\pi$ -связывания. У кремниевых аналогов изменяется распределение электронного облака молекулы, растворимость, повышается термическая устойчивость, что может быть востребовано в производстве новых материалов [13]. В ряде работ отмечается, что присутствие в молекулах атомов кремния усиливает эффективность действия соединений на рост и развитие растений [14–15].

Целью настоящей работы является синтез координационных соединений хлоридов кобальта и

никеля с кремнийсодержащими гидроксиаминами 4-(диметиламино)-1,1-диэтилсилолан-3-олом (K5) и 2-(диметиламино)-5-триметилсилилциклогексан-1-олом (K6), определение состава синтезированных комплексов и донорных центров в молекулах лигандов, участвующих в комплексообразовании.

Экспериментальная часть

В работе использовали хлориды кобальта(II) и никеля(II) квалификации «ч.д.а.», которые подвергались обезвоживанию при 120 °С и остаточном давлении 2 мм рт. ст. до постоянного веса. Лиганды – 4-диметиламино-1,1-диэтилсилолан-3-ол (K5):

и 2-(диметиламино)-5-триметилсилилциклогексан-1-ол (K6):

были синтезированы в УФИХ УФИЦ РАН по известным методикам [15].

Синтез координационных соединений проводили в среде сухого ацетона или абсолютного этанола, смешивая растворы лиганда и соли металла в

определенных мольных соотношениях при комнатной температуре и перемешивании в течение 5–6 ч. После вакуумной отгонки растворителя продукт промывали гексаном для удаления непрореагировавшего лиганда и перекристаллизовывали из сухого бензола. Осушка осуществлялась азеотропной перегонкой смеси сухого толуола и абсолютированного этанола в токе сухого азота. Полученные соединения представляют собой кристаллические продукты, растворимые в бензоле, хлороформе, ацетоне и спиртах. Ниже приведен их состав согласно данным элементного анализа.

Найдено, %: C – 44.3; H – 7.50; N – 4.42; Cl – 10.9; Co – 12.53; выход 78.5%.

Для $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K5}$ (CoK5) вычислено, %: C – 45.23; H – 8.31; N – 5.20; Cl – 11.11; Co – 13.26.

Найдено, %: C – 46.6; H – 8.54; N – 4.10; Cl – 9.84; Co – 12.7; выход 83.9%.

Для $\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K6}$ (CoK6) вычислено, %: C – 47.13; H – 8.99; N – 4.99; Cl – 10.51; Co – 12.64.

Найдено, %: C – 45.0; H – 8.80; N – 4.98; Cl – 10.1; Ni – 12.4; выход 82.4%.

Для $\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K5}$ (NiK5) вычислено, %: C – 45.29; H – 8.36; N – 5.28; Cl – 11.07; Ni – 13.37.

Найдено, %: C – 46.24; H – 8.68; N – 4.32; Cl – 10.2; Ni – 11.8; выход 89.0%.

Для $\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K6}$ (NiK6) вычислено, %: C – 47.14; H – 8.93; N – 4.33; Cl – 10.47; Ni – 12.65.

ИК спектры соединений регистрировались на Фурье-спектрометре IR Prestige-21 Shimadzu (пленка на стеклах KRS-5), отнесение полос поглощения проводилось по литературным данным [16]; спектры ^1H ЯМР – на спектрометре Bruker AM-300 в CDCl_3 , внутренний стандарт – ТМС. Пробы готовились из расчета 10–15 мг на 0.5 мл растворителя. Молекулярные массы определялись методом измерения теплового эффекта конденсации [17].

Результаты и их обсуждение

Синтезированные соединения представляют собой кристаллические продукты фиолетового (CoK5), коричневого (CoK6), зелено-голубого (NiK5) и желто-зеленого (NiK6) цвета, состав которых приведен выше. В молекуле лигандов K5 и K6 присутствуют две функциональные группы (диметиламино- и гидроксильная), атомы азота и кислорода которых способны выступать в качестве доноров электронов при образовании координационных связей. Для рассмотрения вопроса определения донорных центров были привлечены методы ИК спектроскопии и ЯМР ^1H .

В ИК спектрах синтезированных соединений по сравнению со спектрами исходных лигандов (табл. 1) наблюдается существенные изменения в положении таких интенсивных полос поглощения, как $\nu(\text{O-H})$, $\nu(\text{C-H})$ алкильных групп, связанных с атомом кремния, и скелетных колебаний, представленных в данном случае гибридными колебаниями $\nu(\text{C-C})$, $\nu(\text{C-Si})$, $\nu(\text{C-O})$, а также полос поглощения валентных колебаний связей C–N и деформационных $\delta(\text{C-O-H})$. Наблюдаемое смещение полос валентных колебаний связей C–O, C–N и O–H в сторону низких частот может свидетельствовать об увеличении межатомных расстояний при образовании координационных связей ионов металлов как через атом азота, так и через атом кислорода молекул лигандов. На этом основании можно сделать предположение об участии в образовании координационных связей обоих донорных атомов, т.е. о бидентатности лигандов K5 и K6 в данном случае.

Этот вывод согласуется со строением молекул лигандов K5 и K6, в которых расположение двух потенциальных донорных центров – атомов азота и кислорода – позволяет предположить возможность образования пятичленных хелатных циклов при взаимодействии с ионами переходных металлов. Известно, что такие циклы термодинамически являются наиболее устойчивыми [18].

Таблица 1

Основные полосы поглощения в ИК спектрах K5, K6 и их комплексов с хлоридами кобальта(II) и никеля(II)

Отнесение	Волновые числа полос поглощения, cm^{-1} (Δ , cm^{-1})					
	K5	K6	$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K6}$	$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K6}$
$\nu(\text{O-H})$	3390с	3460с	3350с (40)	3320с (70)	3385с (75)	3390с (70)
$\nu(\text{C-H})$	2840ср	2844ср	2855сл (15)	2858сл (18)	2852сл (12)	2855сл (11)
$\nu(\text{C-H}) [\text{N}(\text{CH}_3)_2]$	2795с	2785с		2810сл (15)	2797сл (15)	2792сл (7)
$\delta(\text{C-O-H})_{\text{пл}}$	1340ср	1370ср	1332сл (8)	1334сл (6)	1332сл (8)	1356сл (14)
$\delta(\text{C-H}) \text{Si}(\text{CH}_3)_3$	–	1256с	–	–	1278с (22)	1274с (18)
$\delta(\text{C-H}) [\text{Si}(\text{RCH}_3)_2]$	1249с	–	1268ср (19)	1240с (9)	–	–
$\nu(\text{C-N})$	1180ср	1162ср	1172ср (8)	1167ср (13)	1145ср (15)	1147сл (13)
Гибридные колебания	1052 с	1048с	1040с (12)	1036с (16)	1040ср (12)	1040ср (12)
$\nu(\text{C-C})$, $\nu(\text{C-Si})$, $\nu(\text{C-O})$	1024с	1025с	1013с (9)	1013с (9)	1013с (9)	1032ср (7)
$\delta(\text{C-O-H})_{\text{внеш}}$	990ср	900ср	985ср (5)	985ср (5)	913ср (13)	915 ср (15)

Таблица 2

Химические сдвиги протонов фрагментов лигандов K5 и K6 (δ м.д.)
и их изменение при разных соотношениях $\text{CoCl}_2 : \text{L}$ ($\Delta\delta$ м.д.)

Состав раствора, (мольное отношение $\text{CoCl}_2 : \text{L}$)	Фрагменты лиганда K5				Фрагменты лиганда K6			
	-OH		-N(CH ₃) ₂		-OH		-N(CH ₃) ₂	
	δ	$\Delta\delta$	δ	$\Delta\delta$	δ	$\Delta\delta$	δ	$\Delta\delta$
Исходный лиганд	3.58	—	1.94	—	3.11	—	2.06	—
1:600	3.52	0.06	2.13	-0.19	3.08	-0.03	2.18	0.12
1:300	3.51	0.07	2.23	-0.29	3.03	-0.08	2.31	0.35
1:150	3.43	0.15	2.33	-0.39	2.94	-0.17	2.45	0.39
1:75	3.31	0.27	2.53	-0.59	2.81	-0.30	2.68	0.62
1:37	Ушир.	—	3.03	-1.06	Ушир.	—	2.93	0.87

Участие в образовании координационных связей тех или иных донорных атомов может быть подтверждено также изменением химических сдвигов сигналов протонов в функциональной группе с данным донорным атомом при взаимодействии лиганда с ионом металла. Однако сигналы спектров ЯМР в присутствии таких парамагнитных ионов, как ионы кобальта(II) и никеля(II) сильно уширены, и, чтобы провести такое исследование, используется методика регистрации спектров ЯМР не непосредственно координационного соединения, а изучаемого лиганда при последовательном увеличении концентрации иона металла, используемого в качестве зонда [19].

В связи с этим была проведена регистрация изменений в спектрах ЯМР ^1H лигандов K5 и K6 при дробном добавлении в их растворы хлорида кобальта(II) (табл. 2). Полученные результаты (табл. 2) показали существенное смещение резонанса сигналов протонов фрагментов молекул лигандов, связанных с обоими донорными атомами, – как гидроксильной группы, так и аминогруппы (на 0.3–0.6 м.д.), в то время как химические сдвиги протонов метиленовых групп в составе колец изменялись незначительно (на 0.05–0.10 м.д.). Это подтверждает взаимодействие лигандов K5 и K6 с хлоридом металла по бидентатному типу.

Таким образом, предполагаемые структурные формулы координационных соединений бис-хелатного строения могут выглядеть следующим образом:

Определение молекулярной массы синтезированных комплексов в бензоле показало удвоенные по сравнению с теоретически вычисленными значениями величины (табл. 3). Ассоциация таких координационных соединений в неполярных растворителях может быть обусловлена образованием хлоридных мостиков, как это было показано для комплексов хлоридов 3d-металлов с бидентатными производными гетероциклических аминов [19–20].

В табл. 4 представлены результаты определения растворимости синтезированных комплексов, из которых видно, что эти соединения, особенно комплексы с лигандом K6, обладают высокой растворимостью в растворителях различной природы, что является весьма востребованным свойством при использовании комплексов 3d-металлов.

Таблица 3

Молекулярные массы координационных соединений хлоридов кобальта(II) и никеля(II) с лигандами K5 и K6

Соединение	Молекулярная масса	
	теор.	эксп.
$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	533	1090
$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K6}$	561	1110
$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	533	1059
$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K6}$	561	1120

Таблица 4

Растворимость координационных соединений хлоридов кобальта(II) и никеля(II) лигандами K5 и K6, г/л

Растворитель	Соединение			
	$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K5}$	$\text{CoCl}_2 \cdot 2\text{K6}$	$\text{NiCl}_2 \cdot 2\text{K6}$
Ацетон	7.6	4.6	48	28
Бензол	51	8.7	96	92
Хлороформ	10^3	290	240	135
Этанол	4.4	4.6	156	55

Выводы

Синтезированы координационные соединения хлоридов кобальта (II) и никеля (II) с кремнийорганическими гидроксиаминами – (диметиламино)-1,1-диэтилсилолан-3-олом (K5) и 2(диметиламино)-5-триметилсилилциклогексан-1-олом (K6) состава $MSI_2 \cdot 2L$. Образование координационных соединений подтверждено методами ИК и ЯМР 1H спектроскопии, и сделан вывод о том, что лиганды в данном случае проявляют себя как N,O-бидентатные. Комплексы димеризованы в бензоле и обладают высокой растворимостью в органических растворителях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эйхгорн Г. Неорганическая биохимия. М., Мир. 1978.
2. Скальная М. Г., Скальный А. В. Переходные элементы: биологическая роль и значение для медицинской практики // *Вопр. биол., мед. и фармацевт. химии*. 2015. №1. С. 15–31.
3. Gray H. B. Biological inorganic chemistry at the beginning of the 21st century. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2003. V. 100. Pp. 3563–3568.
4. Li C., Yu H., Lin Z., Wang F., Zhang N., Wang J. Synthesis and application of bidentate nickel complexes bearing hyperbranched salicylaldimine ligands in ethylene oligomerization // *Journal of Coordination Chemistry*. 2017. V. 70. No. 8. Pp. 1303–1315. DOI:10.1080/00958972.2017.1293822
5. Chen Y., Chen S., Li J., Wu Z., Lee G., Liu G., Peng C. Cobalt(II) phenoxyamine complexes in radical polymerization of vinyl acetate: The interplay of catalytic chain transfer and controlled/living radical polymerization // *J. Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 2019. DOI: 10.1002/pola.29460.
6. Uoyama H., Goushi K., Shizu K., Nomura H., Adachi C. Highly efficient organic light-emitting diodes from delayed fluorescence // *Nature*. 2012. V. 492. No. 7428. Pp. 234–238.
7. Savithri K., Vasantha Kumar B. C., Vivek H. K., Revanasiddappa H. D. Synthesis and Characterization of Cobalt(III) and Copper(II) Complexes of 2-((E)-(6-Fluorobenzo[d]thiazol-2-ylimino) methyl)-4-chlorophenol: DNA Binding and Nuclease Studies–SOD and Antimicrobial Activities // *International Journal of Spectroscopy*. 2018. Article ID 8759372. 15 p. DOI: 10.1155/2018/8759372.
8. Alzahrani A. A., Sami A. Zabin S. A., Jammali M. The Bivalent Cu, Ni and Zn Complexes of Unsymmetrical ONO Tridentate Schiff Base Ligands Derived from 2-Aminobenzoic Acid: Antimicrobial and Molluscicidal Activity // *Journal of Organic & Inorganic Chemistry*. 2018. V. 4. No. 1:6. Pp. 1–16.
9. Donde K. J., Patil V. R. Antimicrobial Activity of Transition Metal Complexes of Ligands Containing Oxime and Dioxime Group // *Journal of Pharmacy Research*. 2011. V. 4. No. 1. Pp. 206–209. (Available online through <http://jprsolution.info>).
10. Aakeröy C. B., Chopade P. D., Ganser C., Rajbanshi A., Desper J. Exploring the structural landscape of 2-aminopyrazines via co-crystallizations // *Cryst. Eng. Comm.* 2012. V. 14. No. 18. Pp. 5845–5853.
11. Arif N., Yadav V., Singh S., Singh S., Ahmad P., Mishra R. K., Chauhan D. K. Influence of High and Low Levels of Plant-Beneficial Heavy Metal Ions on Plant Growth and Development // *Frontiers in Environmental Science*, 2016. V. 4. Article 69. DOI:10.3389/fenvs.2016.00069.
12. Majid K., Mushtaq R., Ahmad S. Synthesis, Characterization and Coordinating Behaviour of Aminoalcohol Complexes with Transition Metals // *E-Journal of Chemistry*. 2008. V. 5. No. S1. Pp. 969–979.
13. Patent No: US 9,988, 472 B2. Jun. 5, 2018. Composition, Electronic Device and Thin Film Transistor.
14. Даин И. А., Логинов С. В., Рыбаков В. Г., Чернышев В. В., Лебедев А. В., Офицеров Е. Н., Стороженко П. А. Синтез и структура силантриилметиловых эфиров дикарбоновых кислот // *Бутлеровские сообщения*. 2019. Т. 53. №1. С. 107–120. DOI:10.18-53-1-107.
15. Цырлина Е. М. Эпоксидирование кремнийсодержащих олефинов в присутствии соединений переходных металлов: дис. ... канд. хим. наук. Уфа. 1985. 187 с.
16. Svehla G., Wilson C. L. *Analytical Infrared Spectroscopy (Comprehensive Analytical Chemistry. 6)*. Ed. Svehla G., Elsevier Science, 1976.
17. Колосницын В. С. Исследование комплексообразования хлоридов и нитратов 3d-элементов с сульфоксидами: дис. ... канд. хим. наук. Уфа. 1979. 149 с.
18. Чугаев Л. А. Химия комплексных соединений. Статьи. Л.: Наука. Ленинградское отделение. 1979. 486 с.
19. Конкина И. Г., Еличев А. А., Муринов Ю. И. Комплексообразование хлоридов кобальта (II), никеля (II) и цинка (II) с 2-[2-(N,N-диметиламино)этил]пиридином // *Башк. хим. ж-л*. 2009. Т. 16. №4. С. 163–166.
20. Конкина И. Г., Муринов Ю. И. Полиэдрическое строение комплекса хлорида никеля(II) с 2-(тиагентил-3)пиридином в растворителях различной природы // *Башк. хим. ж-л*. 2010. Т. 17. №5. С. 149–152.

Поступила в редакцию 19.11.2020 г.

После доработки – 19.12.2020 г.

DOI: 10.33184/bulletin-bsu-2021.1.8

**COMPLEXATION OF COBALT(II) AND NICKEL(II) CHLORIDES
WITH 4-(DIMETHYLAMINO)-1,1-DIETHYLSILOLAN-3-OL
AND 2-(DIMETHYLAMINO)-5-TRIMETHYLSILYL CYCLOHEXAN-1-OL**

© I. G. Konkina*, Yu. I. Murinov

*Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS
71 Oktyabrya Avenue, Ufa 450054, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 235 54 00.

**Email: irkonk@anrb.ru*

Coordination compounds of cobalt(II) and nickel(II) chlorides (MCl_2) and organosilicon hydroxyamines (L) – [(dimethylamino)-1,1-diethylsilolan-3-ol and [2-(dimethylamino)-5-trimethylsilylcyclohexane-1-ol] with general formula $MCl_2 \cdot 2L$ were synthesized in anhydrous solvents. Donor-acceptor interactions in the systems through both nitrogen and oxygen atoms were found by FT-IR and 1H NMR spectroscopy. This conclusion is grounded by the shift of the absorption bands L of the $\nu(O-H)$ and $\nu(C-H)$ bonds, as well as the $\nu(C-N)$ bond towards low frequencies, which indicates an increase in these interatomic distances. The bidentateness of the ligands was confirmed by 1H NMR spectroscopy by recording changes in the chemical shifts of proton signals in functional groups with a given donor atom upon the interaction of the ligand with a metal ion. The technique of recording changes in the 1H NMR spectra of the studied ligand with a sequential increase in the concentration of the metal ion was applied because the signals of the NMR spectra in the presence of such paramagnetic ions as cobalt(II) and nickel(II) ions are strongly broadened.

The conclusion about the bidentateness of the ligands is consistent with the structure of their molecules, which suggests a possibility of formation of the most thermodynamically stable five-membered chelate rings during the formation of coordination compounds. The complexes form dimers in benzene, presumably due to the formation of chloride bridges. The synthesized compounds are highly soluble in organic solvents.

Keywords: organosilicon hydroxyamines, cobalt(II) chloride, nickel(II) chloride, complexation, IR, 1H NMR spectroscopy.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Eichhorn H. Neorganicheskaya biokhimiya [Inorganic biochemistry]. M., Mir. 1978.
2. Skalnaya M. G., Skalniy A. V. Vopr. biol., med. i farmatsevtich. khimii. 2015. No. 1. Pp. 15–31.
3. Gray H. B. Biological inorganic chemistry at the beginning of the 21st century. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2003. Vol. 100. Pp. 3563–3568.
4. Li C., Yu H., Lin Z., Wang F., Zhang N., Wang J. Journal of Coordination Chemistry. 2017. Vol. 70. No. 8. Pp. 1303–1315.
5. Chen Y., Chen S., Li J., Wu Z., Lee G., Liu G., Peng C. J. Polymer Science Part A: Polymer Chemistry. 2019. DOI: 10.1002/pola.29460.
6. Uoyama H., Goushi K., Shizu K., Nomura H., Adachi C. Nature. 2012. Vol. 492. No. 7428. Pp. 234–238.
7. Savithri K. International Journal of Spectroscopy. 2018. Article ID 8759372. 15 p. DOI: 10.1155/2018/8759372.
8. Alzahrani A. A., Sami A., Zabin S. A., Jammali M. Journal of Organic & Inorganic Chemistry. 2018. Vol. 4. No. 1:6. Pp. 1–16.
9. Donde K. J., Patil V. R. Journal of Pharmacy Research. 2011. Vol. 4. No. 1. Pp. 206–209.
10. Aakeröy C. B., Chopade P. D., Ganser C., Rajbanshi A., Desper J. Cryst. Eng. Comm. 2012. Vol. 14. No. 18. Pp. 5845–5853.
11. Arif N., Yadav V., Singh S., Singh S., Ahmad P., Mishra R. K., Chauhan D. K. Frontiers in Environmental Science, 2016. Vol. 4. Article 69. DOI:10.3389/fenvs.2016.00069.
12. Majid K., Mushtaq R., Ahmad S. E-Journal of Chemistry. 2008. Vol. 5. No. S1. Pp. 969–979.
13. Patent No: US 9,988, 472 B2. Jun. 5, 2018. Composition, Electronic Device and Thin Film Transistor.
14. Dain I. A., Loginov S. V., Rybakov V. G., Chernyshev V. V., Lebedev A. V., Ofitserov E. N., Storozhenko P. A. Butlerovskie soobshcheniya. 2019. Vol. 53. No. 1. Pp. 107–120. DOI:10.1155/18-53-1-107.
15. Tsyrlina E. M. Epoksidirovanie kremniisoderzhashchikh olefinov v prisutstvii soedinenii perekhodnykh metallov: dis. ... kand. khim. nauk. Ufa. 1985.
16. Svehla G., Wilson C. L. Analytical Infrared Spectroscopy (Comprehensive Analytical Chemistry. 6). Ed. Svehla G., Elsevier Science, 1976.
17. Kolosnitsyn V. S. Issledovanie kompleksobrazovaniya khloridov i nitratov 3d-elementov s sul'foksidami: dis. ... kand. khim. nauk. Ufa. 1979.
18. Chugaev L. A. Khimiya kompleksnykh soedinenii. Stat'i [Coordination chemistry. Articles]. Leningrad: Nauka. Leningradskoe otdelenie. 1979.
19. Konkina I. G., Elichev A. A., Murinov Yu. I. Bashk. khim. zh-l. 2009. Vol. 16. No. 4. Pp. 163–166.
20. Konkina I. G., Murinov Yu. I. Bashk. khim. zh-l. 2010. Vol. 17. No. 5. Pp. 149–152.

Received 19.11.2020.

Revised 19.12.2020.