

УДК 544.142.3:546.723:541.572.54

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АЗОМЕТИНОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЖЕЛЕЗА(III) НА ОСНОВЕ 4,4'-ДОДЕЦИЛОКСИБЕНЗОИЛОКСИБЕНЗОИЛ-4-САЛИЦИЛИДЕН-N'-ЭТИЛ-N-ЭТИЛЕНДИАМИНА**М.С. Груздев, У.В. Червонова, А.М. Колкер, А.С. Голубева***Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, e-mail: gms@isc-ras.ru**Статья поступила 23 июня 2011 г.**С доработки — 7 февраля 2012 г.*

Получены моно- и бисхелатные железо(III)содержащие комплексы с тридентатным азометиновым лигандом на основе производных сложных эфиров *n*-додецилоксибензойной кислоты с оксибензоил-4-салицилиден-N'-этил-N-этилендиамином с противоионами NO₃⁻. Структура соединений установлена ИК спектроскопией, элементным анализом и масс-спектрометрией (MALDI-ToF MS). Найдено, что реакция комплексообразования солей железа с тридентатными лигандами в смеси растворителей (спирт:бензол) приводит к получению бисхелатных соединений состава 1:2 с октаэдрической упаковкой железа в комплексе, тогда как в спиртовых растворах получают монокхелатные комплексы асимметричного строения.

Ключевые слова: азометины, строение, влияние растворителя, комплексы железа(III), масс-спектрометрия, ИК спектроскопия.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большое внимание исследователей привлекают к себе азометиновые металлокомплексы [1, 2]. Такого рода соединения находят широкое применение за счет каталитической активности и окислительно-восстановительных свойств металла комплексообразователя [3, 4]. Эти вещества могут применяться как компоненты в молекулярной электронике и фотохимических молекулярных устройствах для преобразования солнечной энергии и хранения информации [5—7]. Особый интерес представляет ряд сообщений о получении и исследовании комплексов, содержащих ионы железа с азометиновыми лигандами [8—11]. Для них одной из наиболее важных характеристик является то, что даже небольшие модификации структуры могут существенно изменить ключевые свойства комплексов на их основе [12—14]. Поэтому установление пространственного окружения железа и структуры комплекса является актуальной проблемой. При этом влияние растворителя как среды реакции на протекание процессов комплексообразования является одним из ключевых факторов, регламентирующих выход продукта [15, 16], а также и его структуру [17]. Более того, растворитель может также и инициировать определенные свойства целевых продуктов. Например, в работе [18] была показана индукция жидкокристаллического состояния за счет процессов микросегрегации, протекающих между растворителем (деканолом, бензолом, хлороформом) и дендримерами, производными полипропиленмина, с немезоморфным ядром и периферией.

В данной работе приведены результаты исследования структуры двух железо(III)содержащих комплексов, представляющих интерес в качестве модельных систем для изучения магнитных свойств металлоорганических веществ. Цель данной работы — установить структуру

комплексов, полученных в результате реакции основания Шиффа с солью железа при комнатной температуре в зависимости от растворителя.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Все реактивы и растворители имели квалификацию ХЧ и не подвергались дополнительной очистке. Получение 4,4'-додецилоксибензоилоксибензоил-4-окси-2-гидроксибензальдегида проводили в соответствии с методиками, приведенными в [19—21]. Синтез целевых соединений **I** и **II** проводили по схеме непосредственно через образование основания Шиффа, без выделения лиганда из раствора, с последующим комплексообразованием с нанокристаллогидратом нитрата железа(III). С целью проверки чистоты и индивидуальности полученных соединений были выполнены элементный анализ, ИК и ЯМР спектроскопические исследования, их результаты приведены ниже.

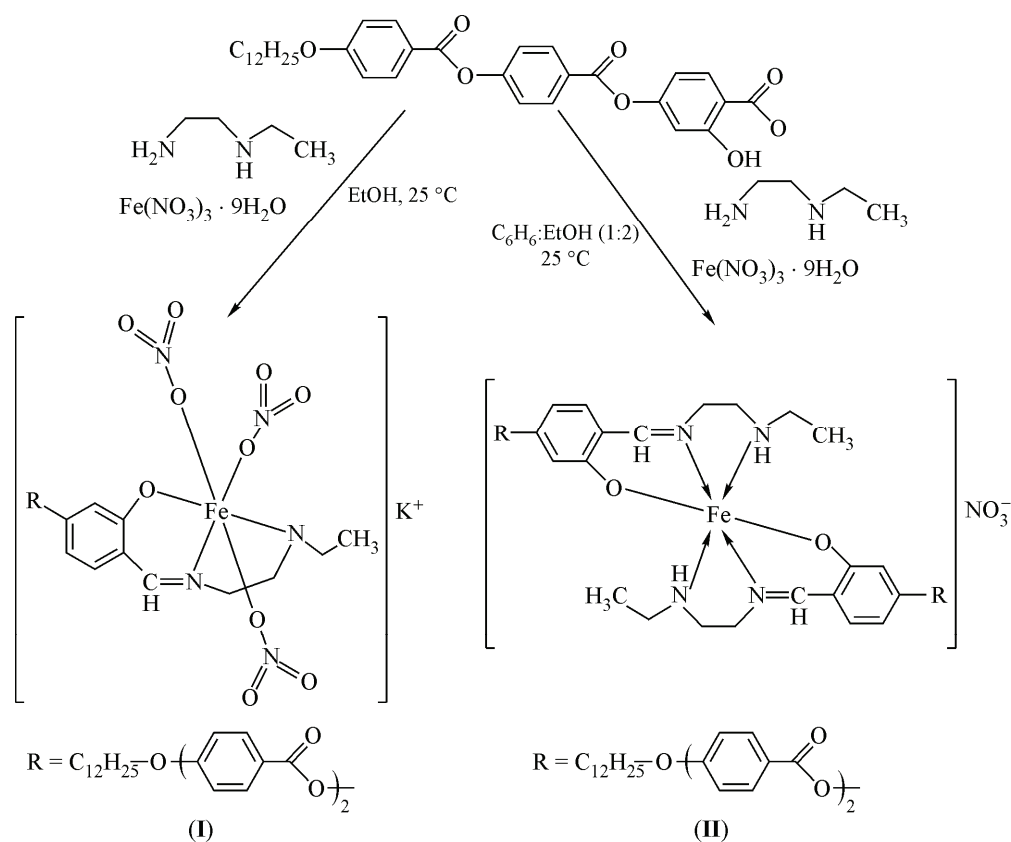


Схема получения целевых продуктов

Монохелатный Fe(III)содержащий комплекс на основе 4,4'-додецилоксибензоилоксибензоил-4-салицилиден-N'-этил-N-этилендиамина с противоионом NO_3^- (I). Навески 4,4'-додецилоксибензоилоксибензоил-4-окси-2-гидроксибензальдегида (1,28 г), N-этилэтилендиамина (0,21 г) и KOH (0,18 г) растворяли в этиловом спирте (40, 10, 10 мл соответственно) и смешивали в течение 30 мин. Затем медленно приливали спиртовой раствор $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (0,47 г). Темно-коричневую реакционную смесь перемешивали в течение 2 ч и отфильтровывали осадок на стеклянном фильтре, промывали диэтиловым эфиром. Перекристаллизовывали из смеси осушенных растворителей: бензол—этанол (1:4). Продукт — твердый мелкодисперсный порошок коричневого цвета [22]. Выход: 0,46 г. Найдено, %: С 46,79, Н 6,12, N 7,24, О 26,91. $\text{C}_{37}\text{H}_{47}\text{N}_5\text{O}_{15}\text{Fe} \cdot \text{NO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Вычислено, %: С 46,84, Н 6,16, N 7,38, О 33,72. Высокое расхождение данных элементного анализа комплексов по атому кислорода, вероятнее всего, вызвано со-

держанием в образцах большого количества гетероатомов (N, P, F). В ходе анализа поглотительная колонка для определения кислорода частично улавливает следы других гетероатомов, что влияет на данные по содержанию анализируемого элемента.

ИК спектр (I), ν , см^{-1} : 3412,82 (с, валентные колебания OH), 3075 (с, ароматические C—H колебания), 2921,97, 2852,52 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания), 1738,71 (с, C=O колебания), 1639,46 (с, C=N), 1602,75, 1514,47, 1507,67 (с, ароматические C—H колебания), 1472,81 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания), 1383,83 (с, колебания NO_3^-), 1312,11 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания); 1250,75, 1203,27, 1162,03 (с, Alk—C—O—C(Ph)), 1058,72 (ср, NH колебания); 845,73, 824,91 (с, симметричные колебания 1,4-дизамещенного ароматического кольца), 721,33, 762,79 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания).

Спектр ЯМР ^1H (CDCl_3 , TMC): δ , м.д. 0,91 м (6H, $-\text{CH}_3$); 1,29 м (16H, $-\text{CH}_2-\text{Alk}$); 1,48 т (2H, $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Alk}$); 1,85 с (2H, $-\text{CH}_2-$); 2,09 д (2H, $-\text{CH}_2-\text{Alk}$); 3,01 т (2H, N— CH_2-); 3,83 т (2H, N— $\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}$); 4,07 с (2H, $-\text{O}-\text{CH}_2-\text{Alk}$); 5,16 с (1H, $-\text{NH}-\text{CH}_2-$); 5,89 кв (1H, $-\text{CH}=\text{N}-$); 7,02 м (4H, H—Ph); 7,48 м (2H, H—Ph); 7,78 д (2H, H—Ph); 8,18 д (1H, H—Ph); 8,26 д (2H, H—Ph).

Бисхелатный Fe(III)содержащий комплекс на основе 4,4'-додецилоксибензоилоксибензоил-4-салицилиден-N'-этил-N-этилендиамина с противоионом NO_3^- (II). 4,4'-Додецилоксибензоилоксибензоил-4-окси-2-гидроксibenзальдегид [19, 20] (0,45 г) растворяли в смеси этилового спирта с бензолом (40 мл:20 мл). Навески N-этилэтилендиамина (0,07 г) и KOH (0,102 г), растворенных в этиловом спирте (10 и 10 мл соответственно), добавляли к раствору альдегида и перемешивали в течение 30 мин. Затем медленно приливали спиртовой раствор $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (0,166 г). Темно-коричневую реакционную смесь перемешивали в течение 3 ч, охлаждали и отфильтровывали осадок на стеклянном фильтре. Перекристаллизовывали из смеси осушенных растворителей: бензол—этанол (1:4). Продукт — твердый мелкодисперсный порошок коричневого цвета. Выход: 0,204 г. Найдено, %: C 64,51, H 6,97, N 5,83, O 17,74, $\text{C}_{74}\text{H}_{94}\text{N}_5\text{O}_{15}\text{Fe} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Вычислено, %: C 64,89, H 7,21, N 5,11, O 18,69.

ИК спектр (II), ν , см^{-1} : 3408, 3226 (ср, валентные колебания OH), 3061 (сл, ароматические C—H колебания), 2971—2870 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания), 1717 (с, C=O колебания), 1583 (с, $-\text{C}=\text{N}-$), 1478 (ср, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания), 1382 (с, колебания NO_3^-), 1306 (с, $-(\text{CH}_2)_n-\text{CH}_3$ колебания); 1258 (с, Alk—C—O—C(Ph)), 1146—1117 (с, симметричные колебания 1,2,4-замещенного ароматического кольца), 1057 (ср, NH колебания); 826 (с, симметричные колебания 1,4-дизамещенного ароматического кольца).

Спектр ЯМР зарегистрировать не удалось, так как вещество не растворяется в дейтерорастворителях.

Попытки получения монокристаллов из концентрированных растворов синтезированных соединений не имели успешного результата.

ИК спектры регистрировали на приборе Bruker Vertex 80V в областях $7500-370 \text{ см}^{-1}$ и $670-190 \text{ см}^{-1}$ в таблетках KBr и CsBr. Элементный анализ (C, H, N, O) выполнен на анализаторе FlashEA 1112. Масс-спектры фиксировались на масс-спектрометре MALDI-ToF "Bruker Daltonics Ultraflex" в режиме положительных ионов, напряжение мишени 20 мВ, матрица — 2,5-дигидроксибензойная кислота, растворитель — хлороформ.

Термогравиметрический анализ проводили на анализаторе NETZCH TG 209 F1 в токе аргона 20 мл/мин со скоростью подъема температуры $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$. Дифференциальную сканирующую калориметрию выполняли на приборе NETZCH DSC 204 F1, материал капсулы алюминий, масса образца $\approx 10 \text{ мг}$ со скоростью нагрева $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$ в атмосфере N_2 .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Синтез целевых соединений был проведен без выделения лиганда из раствора, поэтому целесообразно установить наличие основания Шиффа в структуре комплексов.

Анализ спектров комплексных соединений в ближней инфракрасной области показывает наличие основания Шиффа, образованного N-этилэтилендиамином. Полосы в области $5850-$

Значения m/z комплексов **I** и **II**

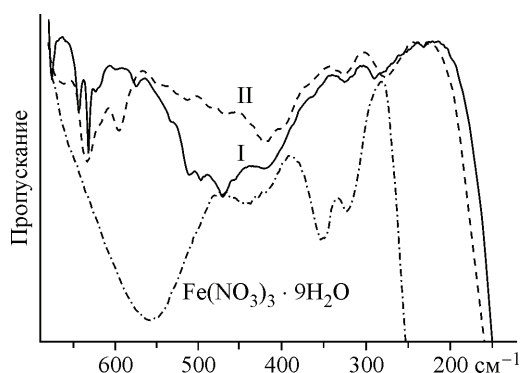
Ион	$I_{\text{отн}}, \%$	m/z		Ион	$I_{\text{отн}}, \%$	m/z	
		эксп.**	теор.*			эксп.**	теор.*
$C_{37}H_{47}N_5O_{15}Fe \cdot 5H_2O$				$C_{74}H_{94}N_5O_{15}Fe \cdot H_2O$			
$[L^+]$	7,67	618,73	616,78	$[L^+]$	7,55	617,42	616,78
$[L \cdot Fe \cdot NH_4]^+$	6,51	688,79	690,63	$[2L-C_2H_5]^+$	5,71	1201,6	1204,5
$[L \cdot Fe \cdot K]^+$	2,55	707,42	711,71	$[2L-C_2H_5 \cdot Na]^+$	6,62	1224,9	1227,5
$[L \cdot Fe \cdot NO_3]^+$	1,85	738,34	734,62	$[2L \cdot Na]^+$	4,58	1257,5	1256,5
$[L \cdot Fe \cdot NO_3 \cdot K]^+$	1,88	777,65	773,62	$[2L \cdot Ca]^+$	2,18	1272,8	1273,5
$[L \cdot Fe \cdot 2NO_3 \cdot Na]^+$	1,70	825,10	819,63	$[2L \cdot Fe]^+$	1,87	1285,5	1289,4
$[L \cdot Fe \cdot 3NO_3 \cdot 3H_2O]^+$	3,75	912,46	912,62	$[2L \cdot NO_3]^+$	2,56	1293,1	1295,5
$[L \cdot Fe \cdot 3NO_3 \cdot K \cdot 5H_2O]^+$	1,70	984,14	988,62	$[2L \cdot Fe \cdot H_2O]^+$	1,52	1307,3	1308,4
				$[2L \cdot Fe \cdot NO_3 \cdot H_2O]^+$	1,51	1370,4	1370,4
				$[2L \cdot Fe \cdot NO_3 \cdot H_2O \cdot Na]^+$	1,53	1395,3	1393,4

* Значение гипотетического состава молекулярного иона лиганда $[L^+]$ с включением ионов металла.

** Состав экспериментального молекулярного иона.

5839 и 5709—5703 cm^{-1} соответствуют двум аминам — третичному и вторичному [23]. В области 3800—2600 cm^{-1} преобладают полосы 2921—2851 cm^{-1} валентных колебаний — CH_2 —алкильных фрагментов. Им существенно уступают в интенсивности полосы колебаний протонов ароматических колец $\nu_{\text{H-ph}}$ 3071 cm^{-1} . Сильные полосы поглощения при 1639 (**I**) и 1583 (**II**) cm^{-1} в инфракрасных спектрах соединений характерны для связи азометина $\text{HC}=\text{N}$ и расположены вблизи полосы колебаний карбоксильной группы $\text{C}=\text{O}$ (1733 (**I**) и 1719 (**II**) cm^{-1}). Две новые полосы при 1600 (**I**) и 1540 (**II**) cm^{-1} демонстрируют симметричную координацию иона железа с двумя молекулами лиганда, указывая на то, что металл координирует с лигандами через атом азота азометиновой группы [24, 25]. Широкая полоса поглощения с максимумом при 3423 (**I**) и 3411 (**II**) cm^{-1} показывает наличие гидроксильных групп молекулы воды, входящей в структуру комплекса, что подтверждает элементный анализ MALDI-ToF (табл. 1) и термogravиметрический эксперимент. Также в ИК спектрах проявляются полосы поглощения нитратного противоиона: сильная узкая полоса колебаний NO_3^- на 1383 cm^{-1} [26—28] и средняя по интенсивности полоса 849 (**I**) и 823 (**II**) cm^{-1} .

Дальневолновые ИК спектры соединений **I** и **II** (см. рисунок) сопоставлены со спектрами, полученными для наонакристаллогидрата нитрата железа(III). Было определено положение характеристических полос связей $\text{M}-\text{NO}_3^-$ для **I** (291 и 323 cm^{-1}), валентные колебания связи $\text{Fe}-\text{O}$ 471 cm^{-1} (**I**) и 422 cm^{-1} (**II**), валентные колебания связи $\text{Fe}-\text{N}$ (513 cm^{-1} и 512 cm^{-1}) [28].



Структура и чистота комплексов установлены с использованием масс-спектрометрии (MALDI-ToF MS). В табл. 1 приведены вычисленные и зарегистрированные величины масс молекулярных и фрагментарных ионов, свидетельствующих о существовании ряда устойчивых частиц, характеризующих ионы трехвалентного железа в его ближайшем окружении.

Сопоставление дальневолновых ИК спектров комплексов **I** и **II** с исходной солью железа $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, (таблетки CsBr)

Т а б л и ц а 2

Температуры фазовых переходов по данным дифференциальной сканирующей калориметрии в цикле нагрева

Соединение	$T_{\phi 1}$, °C	ΔH_1 , Дж/г	$T_{\phi 2}$, °C	ΔH_2 , Дж/г	$T_{пл}$, °C	$\Delta H_{пл}$, Дж/г
$C_{37}H_{47}N_5O_{15}Fe \cdot 5H_2O$	98,11	3,29	114,11	3,92	141,75	19,04
$C_{74}H_{94}N_5O_{15}Fe \cdot H_2O$	84,46	73,12	—	—	137,55	15,39

Расхождение между теоретически рассчитанной молекулярной массой и экспериментально найденной составляет от 2 до 6 а.е. Вероятно, это связано с погрешностью эксперимента и той матрицей, которая использовалась для МАЛДИ эксперимента. Выступающий в качестве лиганда азометин с молекулярной массой ~618 присутствует в масс-спектрах всех комплексных соединений (см. табл. 1). Ввиду того, что присутствие иона железа в координационной сфере комплекса было установлено, проводили расчет увеличения молекулярной массы за счет присоединения железа и противоионов, руководствуясь вышеизложенными результатами ИК и ЭА измерений.

В масс-спектрах регистрируется наличие трех нитрат-ионов в соединении **I** и их взаимодействие с ионом железа. Причем интенсивность молекулярного иона состава $[L \cdot Fe \cdot 3xNO_3 \cdot 3H_2O]^+$ высока и вполне сопоставима с интенсивностью молекулярного иона самого азометина $[L^+]$. В масс-спектре соединения **I** не наблюдается молекулярных ионов состава — органическое окружение к иону Fe^{3+} как 2:1, являясь тем самым монокхелатным координационным соединением [29]. Отсюда можно сделать вывод, что комплекс имеет октаэдрическую структуру. Причем, вероятнее всего, один нитрат-ион находится в той же плоскости, что и органическая молекула, а второй и третий — над и под ионом железа. Из результатов эксперимента видно, что для комплекса **II** на один ион железа приходится две молекулы лиганда, образуя симметричный бисхелатный комплекс с октаэдрическим окружением иона железа, одним противоионом NO_3^- и молекулой воды во внешней сфере комплекса.

Фазовое поведение синтезированных комплексов изучали дифференциальной сканирующей калориметрией. Значения температуры и энтальпий фазовых переходов приведены в табл. 2. Учитывая то, что органическая часть молекулы комплекса остается во всех случаях неизменной так же, как и анион, а меняется только ее соотношение к металлу-комплексобразователю, можно предположить, что преимущественный вклад в фазовое поведение соединений вносит структура координационного соединения и различия в лигандном окружении иона железа(III). Для нитратного комплекса **I** найдено, что $T_{пл}$ 141 °C с экзотермическим разрушением около 180 °C. Комплекс **II** в цикле нагрева плавится при T 137 °C, переходя в аморфный расплав с последующей кристаллизацией около 115 °C при охлаждении. Термическая деструкция комплекса происходит при 304—306 °C в одну ступень.

В ходе работы были получены два комплекса на основе оснований Шиффа с разным соотношением лиганда к иону металла: монокхелатное и бисхелатное координационное соединение. Найдено, что оба образца имеют октаэдрическую структуру. В ходе образования основания Шиффа при получении 1 моля лиганда образуется 1 моль воды. В последующем комплексообразовании с солями железа(III), без выделения лиганда из раствора, молекулы воды могут находиться как на внутренней, так и во внешней координационной сфере соединения [30, 31]. На характер же получения моно- или бисхелатного координационного соединения существенное влияние оказывает среда проведения реакции комплексообразования. Так, в случае использования спиртовой среды преобладает образование линейного монокатионного монолигандного соединения $K[Fe(L)(NO_3)_3] \cdot (H_2O)_5$, в котором ион $Fe(III)$ имеет октаэдрическое окружение, сформированное тремя (ONN) атомами тридентатного лиганда, тремя нитратными анионами, а также ионом калия и пятью молекулами воды на внешней координационной сфере.

При использовании бинарного растворителя (бензол/этанол) образуется бисхелатный бикаатионный комплекс $[\text{Fe}(\text{L})_2]^+ \cdot \text{X}^- \cdot \text{H}_2\text{O}$, ($\text{X} = \text{NO}_3^-$), имеющий отличную от первого растворимость в органических растворителях и другие физико-химические характеристики. По-видимому, молекулы воды и этанола частично встраиваются во внутреннюю сферу комплекса **I** при его получении за счет возникновения водородных связей, блокируя образование бисхелатного соединения, тем самым уменьшая его растворимость, вызывая быстрый седиментативный процесс. А в случае смешанного растворителя подобного не происходит, так как бензол препятствует взаимодействию молекул воды с молекулами лиганда, образуя трехкомпонентный азеотроп (бензол—этанол—вода) и сдвигая равновесие вправо. Образование осадка соединения **II** занимает больше времени, что косвенно подтверждает наше предположение.

В ходе работы также было установлено фазовое поведение комплексов **I** и **II**. Использование длинного линейного алкила (додецила) в периферийной части лиганда способствовало упорядочению структуры комплекса, на что указывают обратимые фазовые переходы в циклах нагрева и охлаждения по типу "кристалл—кристалл", а также высокая температура термической деструкции.

Авторы благодарны д.х.н, в.н.с. ИОНХ РАН Ю.Г. Горбуновой за проведение MALDI-ToF-MS эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МК-893.2011.3, а также программы Президиума РАН № 24.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Smith D.K., Diederich F.* // Top. Curr. Chem. – 2000. – **210**. – P. 184 – 227.
2. *Wie-Shi Li, Takuzo Aida* // Chem. Rev. – 2009. – **109**. – P. 6047.
3. *Valerio C., Fillaut J., Ruiz J., Guittard J., Blais J.C., Astruc D.* // J. Amer. Chem. Soc. – 1997. – **119**. – P. 2588.
4. *Cuadrado I., Casado C.M., Alonso B., Moran M., Losada J., Belsky V.* // J. Amer. Chem. Soc. – 1997. – **119**. – P. 7613.
5. *Balzani V., Campagna S., Denti G., Juris A., Venturi M.* // Acc. Chem. Res. – 1998. – **31**. – P. 26.
6. *Woo-Dong Jang, Nobuhiro Nishiyama, Kazunori Kataoka* // Supramol. Chem. – 2007. – **19**, № 4-5. – P. 309.
7. *Létard J.-F., Guionneau P., Goux-Capes L.* // Top. Curr. Chem. – 2004. – **235**. – P. 221 – 249.
8. *Leovac V.M., Jevtović V.S., Jovanović L.S., Bogdanović G.A.* // J. Serb. Chem. Soc. – 2005. – **70**, N 3. – P. 393.
9. *Dandliker P.J., Diederich F., Gisselbrecht J.-P., Louati A., Gross M.* // Angew. Chem. Int. Ed. – 1995. – **34**, N 23-24. – P. 2725.
10. *Weyermann P., Gisselbrecht J.-P., Boudon C., Diederich F., Gross M.* // Angew. Chem. Int. Ed. – 1999. – **38**, N 21. – P. 3215.
11. *Sonar P., Grunert C.M., Wei Y.-L., Kusz J., Gütlich P., Schlüter A.D.* // Eur. J. Inorg. Chem. – 2008. – P. 1613.
12. *Kannappan R., Tanasae S., Mutikainen I., Turpeinen U., Reedik J.* // Polyhedron. – 2006. – **25**. – P. 1646.
13. *Salmon L., Bousseksou A., Donnadieu B., Tuchagues J.P.* // Inorg. Chem. – 2005. – **44**, N 6. – P. 1763.
14. *van Koningsbruggen P.J., Maeda Y., Oshio H.* // Top. Curr. Chem. – 2004. – **233**. – P. 259 – 324.
15. *Пырзу Д.Ф., Козловский Е.В., Груздев М.С.* // Координац. химия. – 2010. – **36**, № 4. – С. 293.
16. *Domracheva N.E., Morozov V.I., Gruzdev M.S., Manarov R.A., Pyataev A.V., Lattermann G.* // Macromol. Chem. Phys. – 2010. – **211**. – P. 791.
17. *Бургер К.* Сольватация, ионные реакции и комплексообразование в неводных средах. – М.: Мир, 1984.
18. *Usol'tseva N., Lattermann G., Facher A., Bykova V., Smirnova A., Grusdev M.* // Mol. Cryst. Liq. Cryst. – 2004. – **409**. – P. 29.
19. *Червонова У.В., Груздев М.С., Колкер А.М., Манин Н.Г., Домрачева Н.Е.* // Журн. общ. химии. – 2010. – **80**, № 10. – С. 1643.
20. *Червонова У.В., Груздев М.С., Колкер А.М.* // Журн. общ. химии. – 2011. – **81**, № 9. – С. 1515 – 1520.
21. *Груздев М.С., Червонова У.В., Колкер А.М., Домрачева Н.Е.* // Журн. структур. химии. – 2011. – **52**, № 1. – С. 88 – 96.

22. *Domracheva N.E., Pyataev A.V., Manapov R.A., Gruzdev M.S., Chervonova U.V., Kolker A.M.* // *Europ. J. Inorgan. Chem.* – 2011. – **2011**, Iss. 8. – P. 1219 – 1229.
23. *Вечкасов И.А., Кручинин Н.А., Поляков А.И., Резинкин В.Ф.* Приборы и методы анализа в ближней инфракрасной области. – М.: Химия, 1977.
24. *Daneshvar N., Entezami A.A., Khandar A.A., Saghatforoush L.A.* // *Polyhedron.* – 2003. – **22**. – P. 1437.
25. *Saghatforoush L.A., Aminkhani A., Chalabian F.* // *Transit. Met. Chem.* – 2009. – **34**. – P. 899.
26. *Претч Э.* Определение строения органических соединений. – М.: Мир, 2006.
27. *Казицына Л.А., Куплетская Н.Б.* Применение УФ, ИК и ЯМР спектроскопии в органической химии. – М.: Высшая школа, 1971.
28. *Наканиси К.* Инфракрасные спектры и строение органических соединений. – М.: Мир, 1965.
29. *MALDI MS. A Practical Guide to Instrumentation, Methods and Applications.* / Ed. F. Hillenkamp, J. Peter-Katalinic – Weinhei: WILEY—VCH Verlag, 2007.
30. *Masoud M.S., Soayed A.A., Ali A.E., Sharsherh O.K.* // *J. Coord. Chem.* – 2003. – **56**, N 8. – P. 725 – 742.
31. *Raman N., Ravichandran S., Thangaraja C.* // *J. Chem. Sci.* – 2004. – **116**. – P. 215 – 219.