

УДК 541.49:537.622:548.736

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСОВ ДИЦИАНАМИДА И РОДАНИДА ЖЕЛЕЗА(II)  
С 2-(2-ТРЕТ-БУТИЛТЕТРАЗОЛ-5-ИЛ)ПИРИДИНОМ****О.Г. Шакирова<sup>1</sup>, Л.Г. Лавренова<sup>2,3</sup>, Н.В. Куратьева<sup>2,3</sup>, А.С. Богомяков<sup>3,4</sup>,  
Л.А. Шелудякова<sup>2,3</sup>, А.П. Мосалкова<sup>5</sup>, Ю.В. Григорьев<sup>5</sup>**<sup>1</sup>Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, Россия<sup>2</sup>Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: ludm@niic.nsc.ru

<sup>3</sup>Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Россия<sup>4</sup>Институт "Международный томографический центр" СО РАН, Новосибирск, Россия<sup>5</sup>НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск

Статья поступила 22 июня 2016 г.

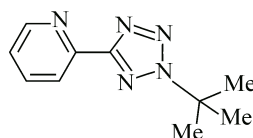
Синтезированы и исследованы соединения дицианамиды и роданида железа(II) с 2-(2-трет-бутилтетразол-5-ил)пиридином (L)  $[\text{FeL}_2(\text{C}_2\text{N}_3)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (I) и  $[\text{FeL}_2(\text{NCS})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$  (II). Соединения изучены с помощью методов РФА, РСА (для I), электронной (спектры диффузного отражения) и ИК спектроскопии, статической магнитной восприимчивости. Изучение зависимости  $\mu_{\text{эф}}(T)$  показало, что между ионами железа(II) при температурах ниже 50 К проявляются обменные взаимодействия антиферромагнитного характера.

DOI: 10.15372/JSC20170509

**Ключевые слова:** синтез, координационные соединения, железо(II), 2-(2-трет-бутилтетразол-5-ил)пиридин, структура, магнитные свойства.

Координационные соединения железа(II) с полиазотсодержащими лигандами вызывают неизменный интерес исследователей благодаря их нетривиальным магнитным свойствам. При определенной силе поля лигандов в данных соединениях проявляется спин-кроссовер — изменение спиновой мультиплетности под воздействием внешних условий: температуры, давления или облучения светом определенной длины волны [1–3]. Кроме того, в комплексах 3d-металлов с данным классом лигандов наблюдаются обменные взаимодействия между парамагнитными центрами антиферро- или ферромагнитного характера. К настоящему времени синтезирован представительный ряд соединений железа(II) с тетразолом и его производными, обладающих спин-кроссовером [2, 4]. Несмотря на присутствие в пятичленном цикле четырех атомов азота, тетразолы, не имеющие в боковой цепи способных к координации заместителей, в реакциях комплексообразования реагируют преимущественно как монодентатные лиганды, присоединяясь к ионам металла одним из атомов азота цикла [5]. Среди моноядерных комплексов, в которых обнаружен спин-кроссовер  ${}^1A_1 \leftrightarrow {}^5T_2$ , преобладают соединения Fe(II) с 1-алкил-1H-тетразолами [6–9]. Получена серия комплексов Fe(II) состава  $[\text{Fe}(\text{RTz})_6]A_2$  (RTz = 1-замещенный тетразол, A =  $\text{BF}_4^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ,  $\text{PF}_6^-$ ,  $\text{CF}_3\text{SO}_3^-$ ), в которых проявляется низкотемпературный спин-кроссовер, в ряде случаев на кривых зависимости  $\mu_{\text{эф}}(T)$  наблюдается гистерезис. Температуры перехода в комплексах с различными 1-замещенными тетразолами расположены в интервале 66–223 К. Наиболее высокие температуры спин-кроссовера найде-

ны для соединений Fe(II) с 1-циклопропил-1H-тетразолом состава  $[\text{Fe}(c\text{-PrTz})_6](\text{BF}_4)_2$  ( $T_{1/2} \cong \cong 180 \text{ K}$ ) [ 8 ] и 1-изобутил-1H-тетразолом состава  $[\text{Fe}(i\text{-BuTz})_6](\text{BF}_4)_2$  ( $T_{1/2} = 223 \text{ K}$ ) [ 9 ]. При изучении комплекса тетрафторбората Fe(II) с 1-пропил-1H-тетразолом  $[\text{Fe}(\text{PrTz})_6](\text{BF}_4)_2$  впервые было обнаружено явление LIESST — фотоиндуцированного спин-кроссовера при низких температурах [ 10 ]. В последнее время значительное внимание уделяется синтезу и исследованию комплексов железа(II) с лигандами, содержащими два азотистых гетероцикла в составе, в частности, бис-тетразолам. Эти лиганды координируются по бидентатно-мостиковому типу, что приводит к образованию полиядерных соединений [ 2 ].



Ранее авторами [ 11 ] исследовано поведение 2-(2-*tert*-бутилтетразол-5-ил)пиридина (L) в процессах окислительного растворения меди в гомометаллической  $\text{Cu}^0\text{—L—NH}_4\text{X—DMSO}$  ( $\text{X} = \text{Cl}, \text{SCN}^-, \text{ClO}_4^-$ ) и гетерометаллической  $\text{Cu}^0\text{—NH}_4\text{OAc—Mn}(\text{OAc})_2\text{—Solv}$  ( $\text{Solv} = \text{DMSO}, \text{DMF}$ ) системах и охарактеризованы комплексы  $[\text{Cu}_2\text{L}_2\text{Cl}_2]$ ,  $[\text{Cu}_2\text{L}_2(\text{SCN})_2]$ ,  $[\text{Cu}_2\text{L}_2(\text{H}_2\text{O})(\text{ClO}_4)_2]$ ,  $[\text{Cu}_2\text{MnL}_2(\text{OAc})_6] \cdot 2\text{DMSO}$  и  $[\text{Cu}_2\text{MnL}_2(\text{OAc})_6]$ . Во всех полученных комплексах, за исключением последнего, L координируется к иону меди(II) по бидентатно-циклическому типу атомом азота пиридинового цикла и атомом N(4) тетразольного цикла. В комплексе  $[\text{Cu}_2\text{MnL}_2(\text{OAc})_6]$  в координацию, наряду с пиридиновым атомом азота, вступает атом N(1) тетразольного цикла. В продолжение этих исследований в рамках настоящей работы изучены процессы комплексообразования L с дицианамидом и роданидом железа(II).

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для синтеза комплексов использовали  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  марки Ч, перекристаллизованный из подкисленного  $\text{H}_2\text{SO}_4$  водного раствора;  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ , квалификации ХЧ, аскорбиновую кислоту квалификации Мед; этанол "ректификат". 2-(2-*tert*-Бутилтетразол-5-ил)пиридин ( $\text{C}_{10}\text{H}_{13}\text{N}_5$ ) получали по модифицированной методике [ 11 ].

**Синтез  $[\text{FeL}_2(\text{C}_2\text{N}_3)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (I) и  $[\text{FeL}_2(\text{NCS})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$  (II).** Навеску  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (0,28 г, 1 ммоль) растворяли в 2 мл дистиллированной воды, подкисленной 0,05 г аскорбиновой кислоты. К полученному раствору медленно прибавляли раствор нитрата бария (0,26 г, 1 ммоль) в 5 мл  $\text{H}_2\text{O}$ . Образовавшийся раствор нитрата железа(II) отделяли от осадка сульфата бария фильтрованием.

К раствору L (0,81 г, 4 ммоль) в 5 мл этанола прибавляли раствор дицианамид натрия (0,36 г, 4 ммоль) или KNCS (0,39 г, 4 ммоль) в 5 мл воды, а затем к полученному раствору прибавляли приготовленный раствор нитрата железа(II).

После смешивания растворов в случае использования дицианамид натрия образовывался ярко-желтый раствор, из которого при выдерживании в течение трех суток при комнатной температуре кристаллизовались желтые монокристаллы комплекса **Ia** ромбической формы, пригодные для проведения РСА. Упаривание маточного раствора после отделения кристаллов **Ia** приводит к получению комплекса **I** в виде мелкодисперсного желтого порошка. При использовании KNCS сразу образовывался мелкодисперсный светло-желтый осадок комплекса **II**, который выдерживали в растворе при перемешивании в течение 3 ч.

Осадки отфильтровывали, промывали несколько раз водой, этанолом и сушили при комнатной температуре на воздухе. Выход соединений: **I** — 0,56 г (86 %); **II** — 0,40 г (67 %).

Элементный анализ выполнен на приборе EURO EA 3000 фирмы EuroVector (Италия).

Найдено (%) для **I**: С 44,4, Н 5,0, N 35,0. Вычислено (%) для  $\text{C}_{24}\text{H}_{30}\text{N}_{16}\text{O}_2\text{Fe}$  (630,45 г/моль): С 45,7, Н 4,8, N 35,5. Найдено (%) для **Ia**: С 48,1, Н 4,3, N 37,7. Вычислено (%) для  $\text{C}_{24}\text{H}_{26}\text{N}_{16}\text{Fe}$  (594,42 г/моль): С 48,5, Н 4,4, N 37,7. Найдено (%) для **II**: С 43,6, Н 4,3, N 27,5, S 11,1. Вычислено (%) для  $\text{C}_{22}\text{H}_{28}\text{FeN}_{12}\text{OS}_2$  (596,53 г/моль): С 44,3, Н 4,7, N 28,2, S 10,8.

РСА проведен по стандартной методике на автоматическом четырехкружном дифрактометре Bruker—Nonius X8 Apex, оснащенный двухкоординатным CCD детектором при 150(2) К для комплекса **Ia** (MoK $\alpha$ -излучение,  $\lambda = 0,71073 \text{ \AA}$ , графитовый монокроматор). Интенсивности отражений измерены методом  $\phi$ -сканирования узких ( $0,5^\circ$ ) фреймов. Поглощение учтено эмпирически по программе SADABS [12]. Структура **Ia** расшифрована прямым методом и уточнена полноматричным МНК в анизотропном приближении для неводородных атомов (SHELXTL) [13]. Атомы водорода органических лигандов уточнены в приближении жесткого тела. Детали РСА и основные кристаллоструктурные данные: C<sub>24</sub>H<sub>26</sub>FeN<sub>16</sub>,  $M = 594,46$ , сингония моноклинная, пр. гр.  $P2_1/n$ ,  $a = 10,4283(4)$ ,  $b = 9,2355(3)$ ,  $c = 15,2141(5) \text{ \AA}$ ,  $\beta = 105,377(1)^\circ$ ,  $V = 1412,82(8) \text{ \AA}^3$ ,  $Z = 2$ ,  $\rho(\text{выч.}) = 1,397 \text{ г/см}^3$ ,  $\mu = 0,580 \text{ мм}^{-1}$ ,  $S = 1,052$ ,  $R_1 = 0,0283$  для 3891 отражения с  $I > 2\sigma(I)$ ,  $wR_2 = 0,0753$  для всех 4313 независимых отражений. Полные таблицы межатомных расстояний и валентных углов, координаты атомов и параметры атомных смещений депонированы в Кембриджском банке структурных данных CCDC 1493798; deposit@ccdc.cam.ac.uk или [http://www.ccdc.cam.ac.uk/data\\_request/cif](http://www.ccdc.cam.ac.uk/data_request/cif), а также могут быть получены у авторов.

Магнитные свойства поликристаллических образцов изучали на SQUID-магнетометре MPMS-5S и MPMS-XL фирмы Quantum Design в интервале 2—350 К и в магнитном поле 5 кЭ. При вычислении парамагнитной составляющей молярной магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) вводили диамагнитные поправки согласно аддитивной схеме Паскаля. В парамагнитной области определяли эффективный магнитный момент по уравнению  $\mu_{\text{эфф}} = \left( \frac{3k}{N_A \beta^2} \cdot \chi T \right)^{1/2} \approx (8\chi T)^{1/2}$ ,

где  $k$  — постоянная Больцмана;  $N_A$  — число Авогадро;  $\beta$  — магнетон Бора.

ИК спектры поглощения снимали на спектрометре Scimitar FTS 2000 в области 400—4000 см<sup>-1</sup>. Образцы готовили в виде суспензий в вазелиновом и фторированном маслах и в виде таблеток в KBr. Спектры диффузного полного внутреннего отражения Кубелки—Мунка (СДО) регистрировали на сканирующем спектрофотометре UV-3101 PC фирмы Shimadzu при комнатной температуре.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексы получали из подкисленных водно-спиртовых растворов по схеме:



Для синтеза комплексов использовали молярные соотношения Fe:L:A = 1:4:4. В результате выделены комплексы [FeL<sub>2</sub>(C<sub>2</sub>N<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]·2H<sub>2</sub>O (**I**) и [FeL<sub>2</sub>(NCS)<sub>2</sub>]·H<sub>2</sub>O (**II**). Они нерастворимы в бензоле, четыреххлористом углеороде, циклогексане, пентане и эфире, малорастворимы в воде, холодном этаноле и растворимы в хлороформе, тетрагидрофуране, диметилформамиде, диметилсульфоксиде, ацетонитриле, пиридине, горячих спиртах и ацетоне. При хранении на воздухе при комнатной температуре соединения устойчивы в течение длительного времени.

По данным РСА при 150 К **Ia** имеет моноядерное строение (рис. 1). Две молекулы 2-трет-бутил-5-(пиридил-2)тетразола координируются к катиону Fe<sup>2+</sup> по бидентатно-циклическому типу атомами азота пиридинового и N(12) тетразольного циклов с образованием двух пятичленных металлоциклов FeN<sub>2</sub>C<sub>2</sub>. Координационный полиэдр атома железа дополняется до октаэдрического атомами азота двух дицианамид-анионов, находящихся в *транс*-положениях. Для октаэдра FeN<sub>6</sub> наблюдается значительное искажение геометрических параметров:

$$F = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} |\alpha_i^{\text{tri}} - 60| = 5,49^\circ; \quad \Sigma = \sum_{i=1}^{12} |\alpha_i^{\text{cis}} - 90| = 70,71^\circ. \quad \text{Значения } F > 3^\circ \text{ и } \Sigma > 60^\circ \text{ указывают}$$

на высокоспиновую форму комплекса **Ia** [14, 15]. Длина связей Fe—N(Py) составляет 2,2224(8), Fe—N(Tz) 2,1742(8), Fe—N(A) 2,1092(9) Å, средняя длина связи Fe—N, равная 2,17(5) Å, хорошо согласуется с выводом о высокоспиновой форме комплекса. Упаковка молекулярных комплек-

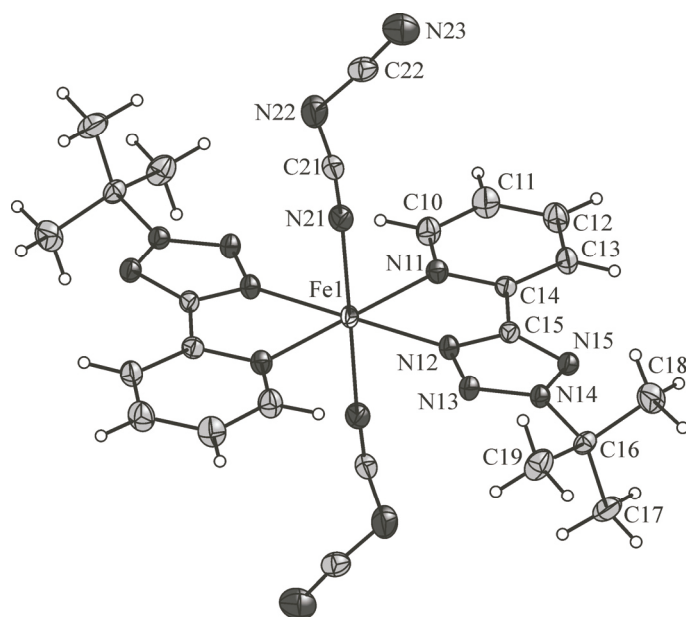


Рис. 1. Строение молекулярного комплекса **I** (эллипсоиды тепловых смещений атомов представлены с 50%-й вероятностью)

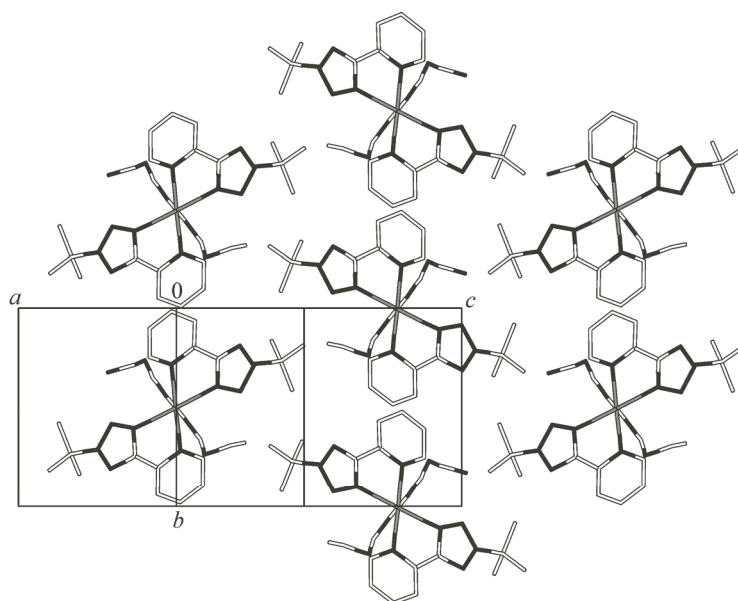


Рис. 2. Устройство слоя ПШУ в структуре **I** (атомы водорода опущены для ясности)

сов представляет собой искаженную, вытянутую вдоль одной из осей  $z$ , кубическую трехслойную ПШУ со слоями, ориентированными в системе плоскостей представленной структуры (101) (рис. 2). Кроме этого, для **Ia** были получены дифракционные данные при 100, 180, 220, 240 и 296 К. Полученные результаты свидетельствуют о том, что структура **Ia** при повышении температуры не изменяется, наблюдается лишь незначительное увеличение длин связей между атомами. Анализ данных РФА свидетельствует об изотипичном строении комплексов **Ia**, **I** и **II**.

В табл. 1 представлены основные колебательные частоты в ИК спектрах L, MA и комплексов. В высокочастотной области спектров **I**, **II** ( $3600\text{—}3400\text{ см}^{-1}$ ) наблюдаются полосы, связанные с колебаниями  $\nu(\text{OH})$ , что указывает на присутствие кристаллизационной воды в составе

Т а б л и ц а 1

Основные колебательные частоты ( $\text{см}^{-1}$ ) в ИК спектрах L, MA  
и комплексов I и II

L	Соединение				Отнесение
	I	II	NaN(CN) <sub>2</sub>	KNCS	
	3560	3440			$\nu(\text{OH})$
3087	3060	3083			$\nu(\text{CH})_{\text{кольца}}$
3054		3055			
2989	2986	2987			$\nu(\text{CH})_{\text{алкил}}$
2977	2937	2935			
2943	2875	2889			
2876					
1591	1608	1607			$R_{\text{кольца}}$
1572	1571	1572			
1520	1543	1538			
	2273		2287		$\nu(\text{N}(\text{CN})_2^-)$
	2222		2235		
	2168		2181; 2168		
		2080		2060	$\nu(\text{NCS}^-)$

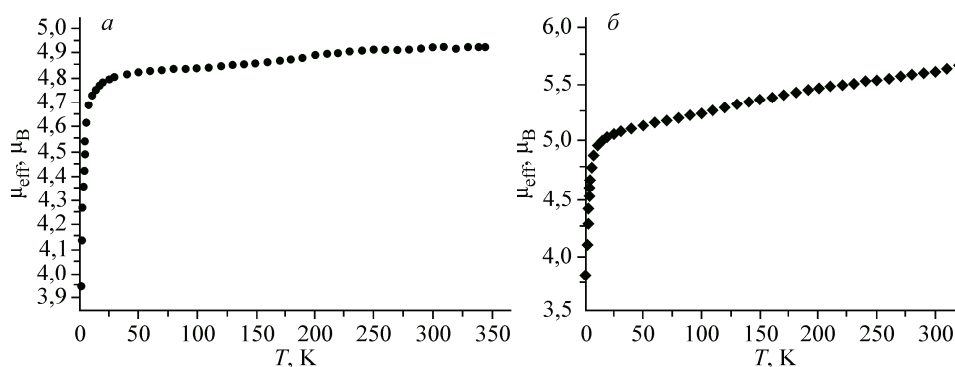
комплексов. В диапазоне 3083—2890  $\text{см}^{-1}$  спектров I и II расположены полосы  $\nu(\text{CH})$  кольца пиридина (3087—3054  $\text{см}^{-1}$ ) и бутильных групп (2989—2875  $\text{см}^{-1}$ ) L, положения которых в спектрах обоих комплексов близки.

В области 1610—1520  $\text{см}^{-1}$  проявляются полосы валентных и деформационных колебаний гетероциклов ( $R_{\text{кольца}}$ ), которые весьма чувствительны к координации. Эти полосы, расположенные в спектре L при 1591, 1572 и 1520  $\text{см}^{-1}$ , в спектрах комплексов смещаются в высокочастотную область и наблюдаются в интервале 1610—1530  $\text{см}^{-1}$ . Это свидетельствует о координации к Fe(II) атомов N циклов тетразола и пиридила, что для I подтверждается данными РСА.

Спектр соли NaN(CN)<sub>2</sub> содержит полосы  $\nu(\text{CN})$  при 2287, 2235 и 2181, 2168  $\text{см}^{-1}$ . В спектре комплекса I эти полосы смещены преимущественно в низкочастотную область без расщепления по сравнению с таковыми в спектре дицианамид натрия (см. табл. 1). Это свидетельствует о монодентатной координации дицианамид-иона к Fe(II) атомом азота [16] и согласуется с данными РСА. В спектре KNCS полоса  $\nu(\text{NCS}^-)$  проявляется при 2060  $\text{см}^{-1}$ , а в спектре комплекса II — при 2080  $\text{см}^{-1}$ . Смещение этой полосы в высокочастотную область указывает на координацию роданид-иона к Fe(II) атомом азота, что характерно для комплексов 3d-металлов с данным анионом [17].

Следует отметить, что спектры комплексов I и II очень похожи не только в области  $\nu(\text{CH})$ , но и в области скелетных колебаний в интервале 1400—700  $\text{см}^{-1}$ . Это подтверждает вывод о изотипичности исследуемых соединений, сделанный на основании данных РФА.

В СДО комплексов в области 800—700 нм наблюдается по одной широкой полосе поглощения. Полосы с максимумами при 778 нм (I) и 714 нм (II) можно отнести к  $d-d$ -переходу  ${}^5T_2 \rightarrow {}^5E$  в слабом искаженно-октаэдрическом поле лигандов. Положение этих полос характерно для спектров высокоспиновых октаэдрических комплексов железа(II) с азотсодержащими лигандами [18]. Из этих данных легко рассчитать значения параметра расщепления в кристаллическом поле высокоспиновых комплексов Fe(II)  $\Delta_{BC} = \nu({}^5T_2 \rightarrow {}^5E)$  для I и II (табл. 2).

Рис. 3. Зависимость  $\mu_{\text{эфф}}(T)$  комплекса **I** (а) и **II** (б)

Т а б л и ц а 2

Параметры СДО и рассчитанные значения  $\Delta_{BC}$ ,  $B$ ,  $C$  и  $P_{BC}$  ( $\text{см}^{-1}$ )

Комплекс	$\nu_1(e_g \rightarrow \pi_L^*)$	$\nu_2(t_{2g} \rightarrow \pi_L^*)$	$\nu(^5T_{2g} \rightarrow ^5E_g) = \Delta_{BC}$	$B$	$C$	$P_{BC}$
<b>I</b>	28410	24390	12850	676	2983	16870
<b>II</b>	27620	23470	14010	737	3252	18160

В СДО комплексов **I** и **II** в области 450–300 нм наблюдаются интенсивные полосы переноса заряда металл—лиганд  $\nu_1(e_g \rightarrow \pi_L^*)$  ( $\lambda_{\text{макс}} = 352$  нм (**I**); 362 нм (**II**)) и  $\nu_2(t_{2g} \rightarrow \pi_L^*)$  ( $\lambda_{\text{макс}} = 410$  нм (**I**); 426 нм (**II**)). Средняя энергия спаривания электронов для ионов высокоспинового железа(II) приближенно вычислена на основании спектральных данных по формуле:  $P_{BC} = \nu_1 + \Delta_{BC} - \nu_2$  [18] (см. табл. 2). Полученные значения сопоставимы с  $P = 17600 \text{ см}^{-1}$  для  $[\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$  [19].

Значения параметров расщепления указывают на то, что проявление спин-кроссовера в комплексах **I** и **II** маловероятно.

На рис. 3 приведены кривые зависимости эффективного магнитного момента от температуры для комплексов **I**, **II**. Значение  $\mu_{\text{эфф}}$  **I** при 300 К составляет 4,92  $\mu_B$ , что хорошо согласуется с теоретическим чисто спиновым значением 4,90  $\mu_B$  для иона Fe(II) [20]. Если рассматривать небольшой перегиб при 200 К как спиновый переход, то доля комплекса, в котором он наблюдается, не превышает 3,5 %. Значение  $\mu_{\text{эфф}}$  **II** при 300 К составляет 5,66  $\mu_B$ , что выше теоретического чисто спинового значения 4,90  $\mu_B$  для иона Fe(II). При понижении температуры до 50 К  $\mu_{\text{эфф}}$  обоих комплексов изменяется слабо, а ниже 50 К резко уменьшается до 3,95 и 3,60  $\mu_B$  для **I** и **II** соответственно при 2 К. Уменьшение  $\mu_{\text{эфф}}$  ниже 50 К обусловлено, по-видимому, антиферромагнитными обменными взаимодействиями между парамагнитными ионами железа(II).

Таким образом, синтезированы комплексы дицианамида и роданида железа(II) с 2-(2-*трет*-бутилтетразол-5-ил)пиридином, изучено их строение и магнитные свойства.

Авторы выражают благодарность Н.П. Короткевич (ИНХ СО РАН) за получение данных РФА, И.В. Юшиной (ИНХ СО РАН) за регистрацию спектров диффузного отражения и А.С. Ляхову (Институт физико-химических проблем БГУ, Минск) за получение температурной зависимости дифракционных данных.

Исследования выполнялись в рамках грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 16-53-00020 Бел\_а и Министерства образования и науки РФ, Госзадание "КнАГТУ" 2014/68 № 3770. Авторы признательны за оказанную финансовую поддержку.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Gütlich P., Goodwin H.* Spin Crossover in Transition Metal Compounds I—III. // *Top. Curr. Chem.* – Springer Verlag, Germany. – 2004. – **233-235**.
2. *Halcrow M.A.* Spin-Crossover Materials Properties and Applications. – UK: J. Wiley & Sons Ltd, 2013.
3. *Lavrenova L.G., Shakirova O.G.* // *Eur. J. Inorg. Chem.* – 2013. – P. 670 – 682.
4. *Kusz J., Gütlich P., Spiering H.* // *Top. Curr. Chem.* – 2004. – **234**. – P. 129 – 153.
5. *Гапоник П.Н., Войтехович С.В., Ивашкевич О.А.* // *Успехи химии.* – 2006. – **75**, № 6. – С. 569 – 603.
6. *Гапоник П.Н., Войтехович С.В., Ивашкевич О.А.* // *Russ. Chem. Rev.* – 2006. – **75**, N 6. – P. 507 – 539.
7. *Koningsbruggen P.J.* // *Top. Curr. Chem.* – 2004. – **233**. – P. 123 – 149.
8. *Лавренова Л.Г., Ларионов С.В.* // *Коорд. химия.* – 1998. – **24**, № 6. – С. 379 – 395.
9. *Lavrenova L.G., Larionov S.V.* // *Russ J. Coord. Chem.* – 1998. – **24**, N 6. – P. 379 – 395.
10. *Soliman A.A., Khattab M.M., Reissner M. et al.* // *Inorg. Chim. Acta.* – 2007. – **360**. – P. 3987 – 3996.
11. *Hassan N., Stelzl J., Weinberger P. et al.* // *Inorg. Chim. Acta.* – 2013. – **396**. – P. 92 – 100.
12. *Decurting S., Gütlich P., Kohler C.P. et al.* // *Chem. Phys. Lett.* – 1984. – **105**. – P. 1 – 4.
13. *Mosalkova A.P., Voitekhovich S.V., Lyakhov A.S. et al.* // *Dalton. Trans.* – 2013. – **42**. – P. 2985 – 2997.
14. Bruker AXS Inc. (2000—2012). APEX2 (Version 2012.2-0), SAINT (Version 8.18c), and SADABS (Version 2008/1). Bruker Advanced X-ray Solutions, Madison, Wisconsin, USA.
15. *Sheldrick G.M.* // *Acta Crystallogr.* – 2008. – **A64**. – P. 112 – 122.
16. *Moubaraki B., Leita B.A., Halder G.J. et al.* // *Dalton Trans.* – 2007. – P. 4413 – 4426.
17. *Guionneau P., Marchivie M., Bravic G., Létard J.-F., Chasseau D.* // *Top. Curr. Chem.* – 2004. – **234**. – P. 97 – 128.
18. *Герасимчук Н.Н.* Координационные соединения железа (II) с ацидолигандами метанидного и амидного типов. Дис. ... канд. хим. наук. – Киев, 1985, РГБ ОД 61:85-2/676.
19. *Nakamoto K.* ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. – М.: Мир, 1991.
20. *Nakamoto K.* Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds. – J. Wiley and Sons Inc., 1986.
21. *Ливер Э.* Электронная спектроскопия неорганических соединений. – М.: Мир, 1987.
22. *Lever A.B.P.* Inorganic electronic spectroscopy. – Elsevier, 1984.
23. *Коттон Ф., Уилкинсон Дж.* Основы неорганической химии. – М.: Мир, 1979.
24. *Cotton F.A., Wilkinson G.* Advanced Inorganic Chemistry. – New York: J. Wiley and Sons, (1st ed. 1962, 6th ed. 1999). ISBN 978-0-471-19957-1.
25. *Carlin R.L.* Magnetochemistry. – Springer-Verlag, 1986.