

С. К. Насриддинов, М. С. Исламова, А. Б. Бадалов

ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОГИДРАТОВ ТЕТРАГИДРАТА ФТОРИДА КОБАЛЬТА(II)

Таджикский технический университет им. акад. М. С. Осими, Республика Таджикистан, 734042, Душанбе, пр. Академиков Раджабовых, 10

В результате взаимодействия свежеприготовленного гидроксикарбоната кобальта(II) $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ с 35%-ным раствором плавиковой кислоты получен тетрагидрат фторида кобальта(II) — $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, состав которого подтверждён химическим анализом. Методом калориметрии растворения определена энтальпия процессов взаимодействия $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ в растворах плавиковой и азотной кислот. Определены величины энтальпии образования $(\Delta H_{298}^0, \text{кДж/моль})$ $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$, равные -1881 ± 20 и -1428 ± 31 соответственно. Методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром установлено, что термическая дегидратация $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ протекает в интервале температур $\Delta T = 295 \div 345 \text{ К}$ с отщеплением трёх молей кристаллизационной воды и образованием $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Процесс дегидратации $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ протекает в интервале температур $\Delta T = 350 \div 380 \text{ К}$. По уравнениям барограмм определены термодинамические характеристики изученных процессов дегидратации. На их основе и с учётом справочных данных для компонентов исследуемых систем рассчитаны термодинамические характеристики для $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\Delta H_{298}^0 = -1865 \pm 18 \text{ кДж/моль}$; $S_{298}^0 = 400 \pm 21 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$ и для $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\Delta H_{298}^0 = -901 \pm 19 \text{ кДж/моль}$; $S_{298}^0 = 229 \pm 21 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}$. Библиогр. 21 назв. Табл. 6.

Ключевые слова: кристаллогидраты, фториды, гидроксикарбонат, кобальт, калориметрия, тензиметрия, дегидратация, термодинамические характеристики.

S. K. Nasriddinov, M. S. Islamova, A. B. Badalov

THERMAL STABILITY AND THERMODYNAMIC CHARACTERISTICS OF CRYSTALLINE HYDRATES OF COBALT(II) FLUORIDE

Tajik Technical University named after Academician M. Osimi

By interaction of freshly-precipitated cobalt(II) hydroxo-carbonate $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ with 35% water solution of hydrofluoric acid the cobalt (II) fluoride tetrahydrate $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ was synthesized; its composition is confirmed by results of chemical analysis. The enthalpies of $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ interactions with hydrofluoric and nitric acids in solutions was determined using the method of dissolution calorimetry. On the basis of these data, as well as on the basis of data for by-side processes observed in the systems considered together with available reference data, previously unknown values of enthalpy of formation (ΔH_{298}^0) of $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ have been determined, namely -1881 ± 20 and $-1428 \pm 31 \text{ kJ/mol}$, correspondingly. It has been revealed using the tensimetry method with membrane null manometer that thermal dehydration of $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ takes place in the interval of temperatures $\Delta T = 295 \div 345 \text{ K}$ and it means the loss of three (from four) moles of crystalline water with the formation of $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. The process of $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dehydration occurs within the temperature interval $\Delta T = 350 \div 380 \text{ K}$. Using the barograph equations the thermodynamic characteristics of dehydration processes have been determined. The thermodynamic characteristics for $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ were calculated based on the aforementioned data and reference information for the components of these systems, namely: $\Delta H_{298}^0 = -1865 \pm 18 \text{ kJ/mol}$; $S_{298}^0 = 400 \pm 21 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ were calculated. The same parameters for $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ are the follows: $\Delta H_{298}^0 = -901 \pm 19 \text{ kJ/mol}$; $S_{298}^0 = 229 \pm 21 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$. Refs 21. Tables 6.

Keywords: crystalline hydrates, cobalt, fluorides, hydroxo-carbonate, calorimetry, tensimetry, dehydration, thermodynamic characteristics.

Введение. Фторсодержащие соединения широко применяются в современных областях техники и технологии. Проводятся фундаментальные исследования строения, свойств и реакционной способности атомарного и ионизированного фтора, гидрофторид-анионов, колебательно-возбуждённых эксимерных фторидов, соединений фтора с бромом и высокотемпературных фторорганических соединений. Полученные сведения являются научной основой для разработки и подбора оптимальных условий передовых технологий по извлечению редких и тугоплавких металлов с применением комплексных анионов на основе фторсодержащих соединений [1–6].

Исследованием диаграммы состояний двойных ($Mn^{+}-HF$) и тройных ($Mn^{+}-HF-H_2O$) систем установлено, что в зависимости от химической активности иона металла (Mn^{+}) и концентрации плавиковой кислоты в этих системах могут протекать следующие процессы: сольватация, гидролиз и комплексообразование между компонентами системы. В результате могут образоваться безводные и гидратированные фториды, гидрофториды, оксофториды и фторкислотные соединения [1–4].

В работах [7–10] показано, что в тройной системе $HF-Co^{2+}-H_2O$ при низких концентрациях раствора плавиковой кислоты образуется кристаллогидрат фторида кобальта состава $CoF_2 \cdot 4H_2O$, а в концентрированных растворах — смешанные соединения разных составов. В работе [7] указывается, что при нагревании на воздухе $CoF_2 \cdot 4H_2O$ подвергается гидролизу с образованием гидроксофторида.

Авторы работы [8] сообщают, что при нагревании кристаллогидрата до температуры 400 К в инертной атмосфере происходит его дегидратация с незначительным гидролизом. При более высоких температурах образуется оксофторид кобальта [9]. Сведения о характере процесса дегидратации гидратофторидов кобальта(II) и термодинамических характеристиках отсутствуют. Лишь в работе [11] приведено оценочное значение величины энтальпии образования этого соединения.

Представляемое исследование является продолжением серии наших работ [12–16] и посвящена получению термической устойчивости $CoF_2 \cdot 4H_2O$, определению термодинамических характеристик процесса дегидратации кристаллогидратов $CoF_2 \cdot 4H_2O$, $CoF_2 \cdot H_2O$ и индивидуальных соединений $CoF_2 \cdot 4H_2O$, $CoF_2 \cdot H_2O$, а также гидроксокарбоната кобальта(II) $(CoOH)_2CO_3$.

Экспериментальная часть. В качестве основных экспериментальных методов были применены тензиметрия с мембранным нуль-манометром [17] и калориметрия с герметичным калориметром и изотермической оболочкой.

Термическая дегидратация тетрагидрата фторида кобальта(II) изучена тензиметрическими методами с мембранным нуль-манометром. Мембрана была изготовлена из химического стекла «пирекс», которое позволяет проводить измерения до температуры 450 К с агрессивными объектами наших исследований. Метод обеспечивает исследования в двух условиях — неравновесных и равновесных. Предварительные опыты при неравновесных условиях проведены для подбора оптимальных условий эксперимента — температурного интервала и характера протекания процесса. Для достижения равновесия система выдерживалась при определённой температуре в изотермических условиях до постоянного значения давления паров. Температура в мембранной камере измерялась с точностью $\pm 0,1^\circ C$, а давление в системе — $\pm 0,2$ мм. рт. ст. Равновесие в системе проверялось при прямом (нагреве) и при обратном ходе (охлаждении) кривой зависимости давления пара от температуры (барограмма). В силу агрессивности объектов исследования после каждого второго измерения использовалась новая мембрана.

Калориметрическая установка модифицирована по рекомендации [18] для работы с агрессивными объектами. Перед каждым опытом проводилась градуировка калориметра электрическим током или репером — хлоридом калия.

Методом калориметрии растворения определена энтальпия процесса взаимодействия определённой массы свежеприготовленного гидрокарбоната кобальта(II) $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ с растворами плавиковой кислоты различной концентрации. Условия проведения процесса и экспериментальные значения энтальпии (ΔH_{298}^0 проц.) приведены в табл. 1 (C — концентрация раствора плавиковой кислоты; ΔR — изменение сопротивления стандартной катушки; Q — выделенное тепло при эксперименте). Из данных таблицы видно, что значения ΔH_{298}^0 заметно различаются в зависимости от концентрации раствора плавиковой кислоты. В разбавленных растворах плавиковой кислоты ($C < 35$ мас. %) образуется осадок слегка розового цвета. Состав осадка соответствует формуле $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Найдено, %: Co 34,86; F 23,06; H_2O 42,62. Вычислено, %: Co 34,91; F 23,07; H_2O 42,60.

Таблица 1

Условия и энтальпия процесса взаимодействия $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ с плавиковой кислотой

C , мас. %	Масса навески, г	ΔR , Ом	Q , Дж	Число опытов	ΔH_{298}^0 процесса, кДж/моль	
					по опытам	по этапам
10	0,25–0,31	21,98–29,01	171,46–226,46	9	149 ± 6	148 ± 4
20	0,24–0,34	22,89–31,71	166,64–230,87	8	$143,9 \pm 0,5$	
35	0,11–0,13	11,98–14,40	82,09–96,98	6	$149,7 \pm 0,5$	
40	0,14–0,75	15,82–19,58	120,58–145,37	4	$178,7 \pm 0,9$	182 ± 4
45	0,12–0,21	14,08–17,98	105,27–179,91	4	$186 \pm 0,9$	

На основании полученных нами и литературных данных [1, 8, 19, 20] можно утверждать, что взаимодействие $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ с растворами плавиковой кислоты протекает по схеме



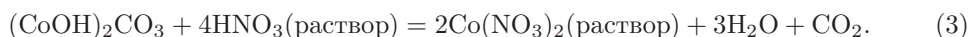
Для термохимических расчётов величины энтальпии образования $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ необходимо было определить тепловые эффекты следующего побочного процесса:

— взаимодействие $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ с растворами плавиковой кислоты 10, 20 и 35% (мас. конц.), которое выражается уравнением



Процесс сводится к эндотермическому растворению фторида кобальта(II) (табл. 2) и экзотермическому взаимодействию кристаллизационной воды с плавиковой кислотой [4, 7], частично взаимно компенсируемым.

Для определения величины энтальпии образования $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ проведено калориметрическое измерение энтальпий процессов взаимодействия 0,1н раствора азотной кислоты с $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$. Процесс выражается уравнением:



Условия и результаты эксперимента приведены в табл. 3. Там же приведены значения энтальпии процесса растворения $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в 0,1н растворе азотной кислоты.

Таблица 2

Взаимодействие $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ с 35%-ным раствором плавиковой кислоты

Масса навески, г	ΔR , Ом	Q_1 , Дж	$M_{\text{H}_2\text{O}}$, г	Q_2 , Дж	$Q_1 - Q_2$, Дж	ΔH_{298}^0 реакции, кДж/моль	
						Опыт	Среднее
0,7949	17,729	119,36	0,3386	26,44	145,81	31,0	31,1 ± 0,6
0,6260	13,810	93,01	0,2667	20,83	113,84	30,8	
0,7298	16,520	111,25	0,3109	24,62	135,51	31,4	
0,7451	15,735	105,93	0,3174	24,81	130,75	32,1	
0,8054	16,922	113,93	0,8431	26,81	140,74	30,5	

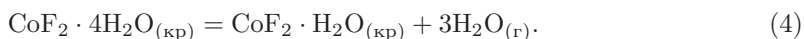
Таблица 3

Условия и энтальпия реакции взаимодействия $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$ и $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ с 0,1н раствором азотной кислоты

Масса вещества, г	ΔR , Ом	Q , Дж	ΔH_{298}^0 реакции, кДж/моль	
			Опыт	Среднее
$(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$				
0,0930	8,490	61,92	142,9	143,5 ± 0,35
0,1262	11,534	85,14	142,9	
0,1289	12,00	88,57	145,7	
0,1022	9,303	68,61	142,4	
$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$				
0,9102	9,737	71,88	30,5	31,2 ± 0,2
0,9588	10,449	77,11	31,1	
0,5858	6,284	46,40	30,6	
0,5688	6,506	49,53	32,7	

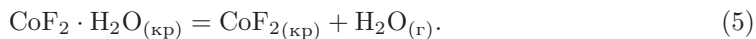
Результаты calorиметрических измерений теплоты процессов (1)–(3) являются экспериментальной основой для определения энтальпии образования искоемых соединений.

Для определения термической устойчивости, характера и термодинамических свойств процесс термической дегидратации кристаллогидратов фторида кобальта(II) исследован методом тензиметрии с мембранным нуль-манометром. По характеру барограмм количественных тензиметрических опытов установлено, что в исследованном температурном интервале $\Delta T = 295 \div 400$ К процесс дегидратации исходного образца — $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ — протекает в двух стадиях. Количественные тензиметрические эксперименты показали, что первая стадия процесса проходит в интервале температур $\Delta T = 295 \div 345$ К с отщеплением 3 моль воды из исходного кристаллогидрата по схеме



и с образованием $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в конденсированной фазе.

Вторая стадия соответствует дегидратации $\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, которая протекает в интервале температур $\Delta T = 350 \div 400$ К и выражается схемой



Экспериментальные данные барограммы процессов (4) и (5) были рассмотрены в координатах $\lg P_{\text{H}_2\text{O}}$ и обратной температуры $((1/T) \cdot 10^3)$ и обработаны методом наименьших квадратов. Значения коэффициентов уравнений прямых линий в зависимости $\lg K_p = f(1/T)$, приведены в табл. 4. Ошибки экспериментов определены с использованием t -значений коэффициента Стьюдента при доверительном уровне свыше 95% [21]. Для расчёта термодинамических характеристик процессов термической дегидратации (4) и (5) использованы зависимости: $K_p = P_{\text{H}_2\text{O}}$ и $\lg K_p = 3 \lg P_{\text{H}_2\text{O}}$ для процесса (4); $K_p = P_{\text{H}_2\text{O}}$ и $\lg K_p = \lg P_{\text{H}_2\text{O}}$ для процесса (5).

Таблица 4

Уравнения и термодинамические характеристики процесса дегидратации тетрагидрата фторида кобальта

Соединения	$\lg K_p = B - A/T$		Интервал температур ΔT , К	Термодинамические характеристики		
	A	B		ΔH_T^0 , кДж/моль	ΔS_T^0 , Дж/моль·К	ΔG_T^0 , кДж/моль
$\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1001 ± 103	$20,65 \pm 1,8$	295–345	$193,3 \pm 6$	$395,3 \pm 7$	$75,6 \pm 6,9$
$\text{CoF}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	400 ± 35	$6,01 \pm 0,37$	350–380	$76,6 \pm 5$	$114,9 \pm 5$	$42,3 \pm 2,5$

Результаты и обсуждение. Полученные, таким образом, значения энтальпии реакций (1)–(3), приведённые в табл. 1–3, а также справочные значения термодинамических характеристик компонентов исследуемых систем [14, 15] позволили определить экспериментальное значение энтальпии образования $\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, равное $1881,3 \pm \pm 20$ кДж/моль. В табл. 5 приведено также определённое нами значение энтальпии образования $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$.

Таблица 5

Значения энтальпии образования компонентов исследованных систем ($\Delta f H_{298}^0$, кДж/моль) при $C \leq 35$, %

Литература [14, 15]				Наши данные ($\Delta H_{\text{реакц.}}^0 = 47,6 \pm 0,5$)		
HF	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	HNO_3	H_2O	CoF_2 (p-p)	$(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$	$\text{CoF}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
$314,3 \pm 0,7$	2209 ± 83	$207,6 \pm 3$	$285,8 \pm 3$	876 ± 5	1428 ± 31	1881 ± 20

С использованием экспериментально определённых методом тензиметрии значений энтальпии и энтропии процесса дегидратации тетрагидрата фторида кобальта (табл. 4) и значений термодинамических характеристик других компонентов системы [11] нами рассчитаны значения энтальпии, энтропии и энергии Гиббса тетрагидрата фторида кобальта, которые приведены в табл. 6. Здесь же приведены также значения энтальпии образования $(\text{CoOH})_2\text{CO}_3$, рассчитанные по данным калориметрии растворения.

Как видно из данных табл. 6, полученные значения энтальпии образования тетрагидрата фторида кобальта(II) методами тензиметрии и калориметрии хорошо согласуются между собой, что свидетельствует о достоверности полученных результатов. При этом наблюдается незначительное расхождение экспериментальных величин

Термодинамические характеристики тетрагидрата фторида кобальта

Соединение	$\Delta_f H_{298}^0$, кДж/моль			ΔG_{298}^0 кДж/моль	ΔS_{298}^0 Дж/моль·К
	Экспериментальные данные		Лит. [11]		
	Тензиметрия	Калориметрия			
CoF ₂ ·4H ₂ O	1865 ± 18	1881 ± 20	1903,7	1845 ± 18	400 ± 21
CoF ₂ ·H ₂ O	901 ± 19	–	–	847 ± 19	229 ± 21
(CoOH) ₂ CO ₃	–	1428 ± 31	–	–	–

и литературных данных (в пределах менее 2%). При расчётах не учтено влияние изменения теплоёмкости компонентов системы в пределах исследованного температурного интервала.

Литература

1. Рысс И. Г. Химия фтора и его неорганических соединений. М.: Госхимиздат, 1956. 718 с.
2. Раков Э. Г. Химия и технология неорганических фторидов. М.: МХИТ, 1990. 162 с.
3. Исикава Н. Новое в технологии соединений фтора. М.: Мир, 1984. 591 с.
4. Опаловский А. А., Федотова Т. Д. Гидрофториды. Новосибирск: Наука, 1973. 148 с.
5. Медведев В. В., Черкасова Т. Т., Татаринова Э. С. Гексфторосиликаты комплексов кобальта(II) с диметилформамидом и диметилсульфоксидом: синтез, анализ ИК-спектры // Химич. технология. 2015. С. 101–104.
6. Гузеева Т. И., Левшинов А. С., Макаров Ф. В., Красильников В. А., Сосновский С. А. Термодинамика фторирования твёрдых сплавов на основе карбида вольфрама фтором // Изв. Томского политехн. ун-та. 2005. Т. 308, № 5. С. 90–92.
7. Austin A. E. The phase transition in the transition metals(II) fluorides at high pressure // J. Phys. Chem. Solids. 1969. Vol. 30, N 5. P. 1282–1285.
8. Икрами Д. Д., Охунов Р., Каримов В. Взаимодействие и растворимость дифторида кобальта с растворами фтористоводородной кислоты // Докл. АН Тадж. ССР. 1975. Т. 18, № 1. С. 34–36.
9. Schmid V. H. Feststellung de Freieenergie Bildung manchen Fluoriden 3d-Übergangs elementen // Z. anorg. Chem. 1965. Bd. 334, N 56. S. 297–303.
10. Ипполитов Е. Г., Трипольская Т. А., Жигарновский Б. М. Исследование фторидов 3d-переходных элементов // Журн. неорган. химии. 1979. Т. 24. С. 539–541.
11. Карапетьянц М. Х., Карапетьянц М. Л. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ. М.: Химия, 1968. 470 с.
12. Хакимова Д. К., Шарипов Д. Ш., Бадалов А. Б. Термическая стабильность и термодинамические функции гидрофторидов бария // Вестн. С.-Петербур. ун-та. Сер. 4. Физика. Химия. 2010. Вып. 4. С. 75–82.
13. Рузматова Г. К., Шарипов Д. Ш., Насриддинов С. К., Бадалов А. Б. Получение, термодинамические характеристики и термодинамическая стабильность гидрофторида лития // Вестн. С.-Петербур. ун-та. Сер. 4. Физика. Химия. 2012. Вып. 4. С. 89–94.
14. Насриддинов С. К., Шарипов Д. Ш., Исломова М. С., Бадалов А. Б. Получение и термодинамические характеристики тетрагидрата фторида и гидроксикарбоната кобальта(II) // Изв. АН РТ. Сер. физ., матем., хим., геол. и тех. наук. 2013. № 4 (153). С. 86–93.
15. Рузматова Г. К., Шарипов Д. Ш., Насриддинов С. К., Бадалов А. Б. Получение, термическая устойчивость и термодинамические характеристики гидрофторидов стронция // Вестн. С.-Петербур. ун-та. Сер. 4. Физика. Химия. 2013. Вып. 2. С. 84–90.
16. Насриддинов С. К., Шарипов Д. Ш., Зоиров Х. А., Бадалов А. Б. Получение, дегидратация и термодинамические характеристики тетрагидрата фторида и гидроксикарбоната никеля(II) // Докл. АН Республики Таджикистан. 2013. Т. 56, № 9. С. 702–707.
17. Жарский И. М., Новиков Г. И. Физические методы исследования в неорганической химии. М.: Высшая школа, 1988. 271 с.
18. Леонидов В. Я., Медведев В. А. Фторная калориметрия. М.: Наука, 1978. 296 с.
19. Охунов Р., Икрами Д. Д., Левина Н. Н., Икрами М. Б., Хасанова А. А. Химия фторидов кобальта // Рукопись деп. в ВИНТИ 1985, № 3382-В85.

20. Островская Т. В., Амирова С. А. Химические превращения кристаллогидратов фторидов железа, кобальта и никеля при нагревании // Журн. неорганической химии. 1969. Т. 14, № 6. С. 1443–1446.
21. Гордон А., Форд Р. Спутник химика. М.: Мир, 1976. 541 с.

References

1. Ryss I. G. *Khimiia ftora i ego neorganicheskikh soedinenii* [Chemistry of Fluorine and inorganic compounds]. Moscow, Goskhimizdat, 1956. 718 p. (In Russian)
2. Rakov E. G. *Khimiia i tekhnologiiia neorganicheskikh ftoridov* [Chemistry and technology of inorganic fluorides]. Moscow, MKhIT Publ., 1990. 162 p. (In Russian)
3. Isikava N. *Novoe v tekhnologii soedinenii ftora* [News in technology of Fluorine compounds]. Moscow, Mir Publ., 1984. 591 p. (In Russian)
4. Opalovskii A. A., Fedotova T. D. *Gidroftoridy* [Hydrofluorides]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973. 148 p. (In Russian)
5. Medvedev V. V., Cherkasova T. T., Tatarinova E. S. Geksftorosilikaty kompleksov kobal'ta(II) s dimetilformamidom i dimetilsul'foksidom: sintez, analiz IK-spektry [Hexafluorosilicate Co(II)-complexes with dimethylformamide and dimethylsulfoxide: Synthesis, analysis, IR spectra]. *Khimiich. tekhnologiiia* [Chemical Technology], 2015, pp. 101–104. (In Russian)
6. Guzeeva T. I., Levshanov A. S., Makarov F. V., Krasil'nikov V. A., Sosnovskii S. A. Termodinamika ftorirovaniia tverdykh splavov na osnove karbida vol'frama ftorom [Thermodynamics of fluorination by Fluorine of solid alloys from Wolfram carbide]. *Izv. Tomskogo politekhn. un-ta* [Proc. Tomsk Polytechnical Institute], 2005, vol. 308, no. 5, pp. 90–92. (In Russian)
7. Austin A. E. The phase transition in the transition metals(II) fluorides at high pressure. *J. Phys. Chem. Solids.*, 1969, vol. 30, no. 5. pp. 1282–1285.
8. Ikrami D. D., Okhunov R., Karimov V. Vzaimodeistvie i rastvorimost' diftorida kobal'ta s rastvorami ftoristovodorodnoi kisloty [Interaction and solubility of Cobalt difluoride with solutions of hydrofluoric acid]. *Dokl. AN Tadzh. SSR* [Bull. AN Tajic. SSR], 1975, vol. 18, no. 1, pp. 34–36. (In Russian)
9. Schmid V. H. Feststellung de Freienergie Bildung manchen Fluoriden 3d-Übergangs elementen. *Z. anorg. Chem.*, 1965, vol. 334, no. 56. pp. 297–303.
10. Ippolitov E. G., Tripol'skaia T. A., Zhigarnovskii B. M. Issledovanie ftoridov 3d-perekhodnykh elementov [Investigation of fluorides 3d-transitional elements]. *Zhurn. neorgan. khimii*. [Rus. J. Inorgan. Chem.], 1979, vol. 24, pp. 539–541. (In Russian)
11. Karapet'iants M. Kh., Karapet'iants M. L. *Osnovnye termodinamicheskie konstanty neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv* [Basic thermodynamic constants of inorganic and organic substances]. Moscow, Khimiia Publ., 1968. 470 p. (In Russian)
12. Khakimova D. K., Sharipov D. Sh., Badalov A. B. Termicheskaia stabil'nost' i termodinamicheskie funktsii gidroftoridov barii [Thermal stability and thermodynamic functions of barium hydrofluorides]. *Vestnik St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 2010, iss. 4, pp. 75–82. (In Russian)
13. Ruzmatova G. K., Sharipov D. Sh., Nasriddinov S. K., Badalov A. B. Poluchenie, termodinamicheskie kharakteristiki i termodinamicheskaia stabil'nost' gidroftorida litiia [Synthesis, thermodynamic characteristic and thermal stability of Lithium hydrofluoride]. *Vestnik St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 2012, iss. 4, pp. 89–94. (In Russian)
14. Nasriddinov S. K., Sharipov D. Sh., Isloмова M. S., Badalov A. B. Poluchenie i termodinamicheskie kharakteristiki tetragidrata ftorida i gidroksokarbonata kobal'ta(II) [Synthesis, thermodynamic characteristic of Fluoride tetrahydrate and hydroxycarbonate of Cobalt(II)]. *Izv. AN RT, ser. fiz., matem., khim., geol. i tekhn. nauk.*, 2013, no. 4 (153), pp. 86–93. (In Russian)
15. Ruzmatova G. K., Sharipov D. Sh., Nasriddinov S. K., Badalov A. B. Poluchenie, termicheskaia ustoychivost' i termodinamicheskie kharakteristiki gidroftoridov strontsiia [Synthesis, thermal stability and thermodynamic characteristic of Strontium hydrofluorides]. *Vestnik St. Petersburg University. Series 4. Physics. Chemistry*, 2013, iss. 2, pp. 84–90. (In Russian)
16. Nasriddinov S. K., Sharipov D. Sh., Zoirov Kh. A., Badalov A. B. Poluchenie, degidratatsiia i termodinamicheskie kharakteristiki tetragidrata ftorida i gidroksokarbonata nikelia(II) [Synthesis, dehydration and thermodynamic characteristic of Fluoride tetrahydrate and hydroxycarbonate of Nickel(II)]. *Dokl. AN Respubliki Tadzhikistan* [Bull. AN Resp. Tajicistan], 2013, vol. 56, no. 9, pp. 702–707. (In Russian)
17. Zharskii I. M., Novikov G. I. *Fizicheskie metody issledovaniia v neorganicheskoi khimii* [Physical methods of investigation in inorganic chemistry]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1988. 271 p. (In Russian)
18. Leonidov V. Ia., Medvedev V. A. *Ftornaia kalorimetriia* [Fluorine calorimetry]. Moscow, Nauka Publ., 1978. 296 p. (In Russian)

19. Okhunov R., Ikrami D. D., Levina N. N., Ikrami M. B., Khasanova A. A. Khimiia ftoridov kopal'ta [Chemistry of Cobalt fluorides]. *Rukopis' dep. v VINITI* [VINITI Preprint], 1985, no. 3382-B85. (In Russian)
20. Ostrovskaia T. V., Amirova S. A. Khimicheskie prevrashcheniia kristallogidratov ftoridov zheleza, kopal'ta i nikelia pri nagrevanii [Chemical transformations at the heating of crystalhydrate's of Ferrum, Cobalt and Nickel fluorides]. *Zhurn. neorgan. khimii*. [Rus. J. Inorgan. Chem.], 1969, vol. 14, no. 6, pp. 1443–1446. (In Russian)
21. Gordon A., Ford R. *Sputnik khimika* [Chemist's sputnik]. Moscow, Mir Publ., 1976. 541 p. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 17 июня 2016 г.

Контактная информация

Бадалов Абдулхайр Бадалович — профессор.

Насриддинов Субхиддин Камарович — старший преподаватель; e-mail: subhiddin@mail.ru

Исламова Мукаддама Садуллаевна — доцент.

Badalov Abdulhayr Badalovich — Professor.

Nasriddinov Subhiddin Kamarovich — Senior lecturer; e-mail: subhiddin@mail.ru

Islamova Muqaddama Sadullaевна — Associate Professor.