

Изучение растворимости комплексных соединений общей формулой $aM^nCl_n \cdot mZnCl_2 \cdot pEt_2O$ в среде диэтилового эфира (где $M = Ce, Eu, Gd, Dy$; $a = 2-5$; $n = 3$; $m = 1.2$; $p = 1-7$; Et_2O – диэтиловый эфир)

© Михайлов Юрий Михайлович,^{1*} Гатина Роза Фатыховна,^{1*}
Омаров Залимхан Курбанович²⁺ и Шакурская Оксана Николаевна¹

Федеральное казенное предприятие "Государственный научно-исследовательский институт химических продуктов". Ул. Светлая, 1. г. Казань, 420033. Россия.

Тел.: (843) 544-07-21. E-mail: gniihp@bancorp.ru; ²⁾ Тел.: (843) 541-76-02. E-mail: omarov@mail.ru

*Ведущий направление; +Поддерживающий переписку

Ключевые слова: комплексные соединения, редкоземельные элементы, диэтиловый эфир, растворимость.

Аннотация

При изотермическом изучении растворимости в системах $M^nCl_n-ZnCl_2-Et_2O$, 298 К установлены области равновесной кристаллизации комплексов состава: $aM^nCl_n \cdot mZnCl_2 \cdot pEt_2O$ (где $M = Ce, Eu, Gd, Dy$; $a = 2-5$; $n = 3$; $m = 1.2$; $p = 1-7$; Et_2O – диэтиловый эфир) и образования хлоридных комплексных соединений: $5CeCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 6Et_2O$; $4EuCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot Et_2O$, $2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$, $2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$, $2DyCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot Et_2O$.

Обнаруженные комплексные соединения были выделены. Методом элементного анализа установлен состав фаз, образующихся в системе $aM^nCl_n \cdot mZnCl_2 \cdot pEt_2O$.

Введение

В последние годы в жизни человечества резко возросла роль различных электронных устройств: от мобильных телефонов и компьютеров, до специализированной медицинской и военной техники. При этом практически каждая микросхема, жидкокристаллический или плазменный монитор, вне зависимости от страны-производителя, собраны с использованием редкоземельных элементов. Поэтому можно без преувеличения сказать, что от производителей редкоземельных элементов зависит будущее развитие человечества.

По данным маркетинговых исследований в 2010 году 96.7% мирового производства редкоземельных элементов приходится на Китай. Монопольное владение таким стратегически важным сырьем дало Китаю возможность использовать его экспорт для своих геополитических манипуляций.

Так временный отказ экспортировать редкоземельные элементы в Японию и США в 2010 году привел в панику производителей электроники этих стран, и заставил их в перспективе рассматривать другие источники данного сырья. Россия обладает 22% мировых ресурсов редкоземельных элементов и выходит на второе место после Китая, обладающего 42%.

И несмотря на то, что СССР в прошлом являлся одним из лидеров производства редкоземельных элементов, производство их в России в настоящее время полностью «вымерло». Резкий рост спроса и цен на редкоземельные элементы по мнению аналитиков в ближайшем времени приведет к возрождению и бурному развитию их производства в России.

Результаты и их обсуждение

При промышленном получении редкоземельных элементов одним из основных этапов является выделение элемента из его смеси с другими металлами. При этом обычно их вместе переводят в раствор, где разделяют различными методами.

Перспективным методом выделения редкоземельных элементов в чистом виде является метод, основанный на различии в растворимости комплексных соединений хлоридов редкоземельных элементов с хлоридами цинка в среде диэтилового эфира.

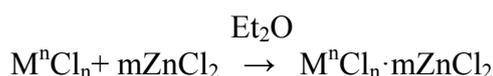
Установление существования комплексных соединений хлоридов редкоземельных элементов с хлоридом цинка в среде диэтилового эфира с общей формулой $mM^nCl_n \cdot mZnCl_2 \cdot pEt_2O$, их растворимость в диэтиловом эфире, а также переменный состав этих соединений в растворе диэтилового эфира послужили побудительной причиной для исследования равновесного взаимодействия в системах $M^nCl_n-ZnCl_2-Et_2O$ методом физико-химического анализа.

С этой целью нами изучена взаимная растворимость хлоридов редкоземельных элементов с галогенидом цинка в среде диэтилового эфира [1-6].

Методика определения растворимости по методу остатков была аналогична принятой для изучения равновесий в водно-солевых системах [7]. Время установления равновесия определялось по постоянству состава жидкой фазы.

Для установления равновесия требовалось 12-14 часов. Области кристаллизации твердых фаз определяли по методу Скрейнемакера. Разделение твердой и жидкой фазы после установления равновесия проводилось центрифугированием при 25 °С. Жидкую и твердую фазу анализировали на содержание редкоземельного элемента, цинка и хлора. Количество растворителя рассчитывали по разности. Для твердых образцов растворитель (диэтиловый эфир) определяли сжиганием на водород и углерод [8].

Синтез реагентов проводили при комнатной температуре и обычном перемешивании, в соответствии с уравнением:



В ходе опыта к взвеси M^nCl_n в диэтиловом эфире добавляли эфират хлорида цинка $ZnCl_2 \cdot Et_2O$ при перемешивании. Признаком взаимодействия служило небольшое разогревание реакционной массы.

В табл. 1 приведены результаты опытов взаимодействия хлоридов редкоземельных элементов с хлоридом цинка в среде диэтилового эфира.

Табл. 1. Получение полихлорцинкатов редкоземельных элементов (V = 50 мл, τ = 2 часа, M = Ln)

M, элемент	Условия проведения синтеза		Состав раствора, г/л/моль			Состав твердого вещества, г/%				Брутто-формула соединения
	взято, г/моль		M	Zn	Cl	M	Zn	Cl	Et ₂ O	
	M ⁿ Cl _n	ZnCl ₂								
Ce	1.5	1.5	0.55	5.21	5.62	36.5	6.87	35.69	20.94	5CeCl ₃ ·2ZnCl ₂ ·6Et ₂ O
	0.006	0.01	0.004	0.08	0.16	0.26	0.11		0.28	
Eu	9.5	9.5	1.73	2.55	3.98	42.5	5.005	34.6	17.89	EuCl ₃ ·ZnCl ₂ ·3Et ₂ O
	0.036	0.069	0.011	0.038	0.112	0.279	0.007	0.974	0.241	
Gd	1	5	0.77	13.74	15.26	28.02	14.91	35.17	21.90	GdCl ₃ ·ZnCl ₂ ·2Et ₂ O
	0.003	0.036	0.004	0.21	0.43	0.18	0.23	0.99	0.3	
Dy	2	2	1.96	1.19	1.89	35.07	9.02	32.99	22.92	DyCl ₃ ·ZnCl ₂ ·7.5 Et ₂ O
	0.007	0.014	0.012	0.018	0.018	0.053	0.215	0.137	0.31	

1. Изотерма растворимости системы $CeCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °С

Экспериментальные данные по растворимости в тройной системе $CeCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °С представлены в табл. 2 и на рис. 1.

Установлено заметное увеличение растворимости $CeCl_3$ от 0 мол.% до 0.09 мол.% при падении растворимости $ZnCl_2$ от 20.5 мол.% до 0.17 мол.%.

При кристаллизации в области концентрации $ZnCl_2$ от 0.41 мол.% до 0.17 мол.% и от 0.05 мол.% до 0.09 мол.% $CeCl_3$ имеет место образование твердой фазы состава $5CeCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 6Et_2O$.

Табл. 2. Анализ растворимости в системе $\text{CeCl}_3\text{-ZnCl}_2\text{-Et}_2\text{O}$, 25 °С

Жидкая фаза				Твердая фаза				Состав твердой фазы
CeCl_3		ZnCl_2		CeCl_3		ZnCl_2		
% масс.	мол.%	% масс.	мол.%	% масс.	мол.%	% масс.	мол.%	
-	-	32.3	20.56	-	-	64.0	49.1	$\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
1.23	0.004	15.6	0.09	15.2	0.24	26.1	0.25	$\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O} + 5\text{CeCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$
1.51	0.004	14.0	0.08	63.2	0.39	14.9	0.17	$5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$
2.03	0.007	10.5	0.06	55.3	0.31	14.5	0.14	$5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$
2.56	0.008	9.7	0.06	53.0	0.28	13.8	0.13	$5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$
3.01	0.009	7.2	0.04	57.2	0.32	13.1	0.13	$5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$
2.23	0.007	3.0	0.02	62.0	0.3422	4.8	0.05	$5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O} + \text{CeCl}_3$
-	-	-	-	100	100	-	-	CeCl_3

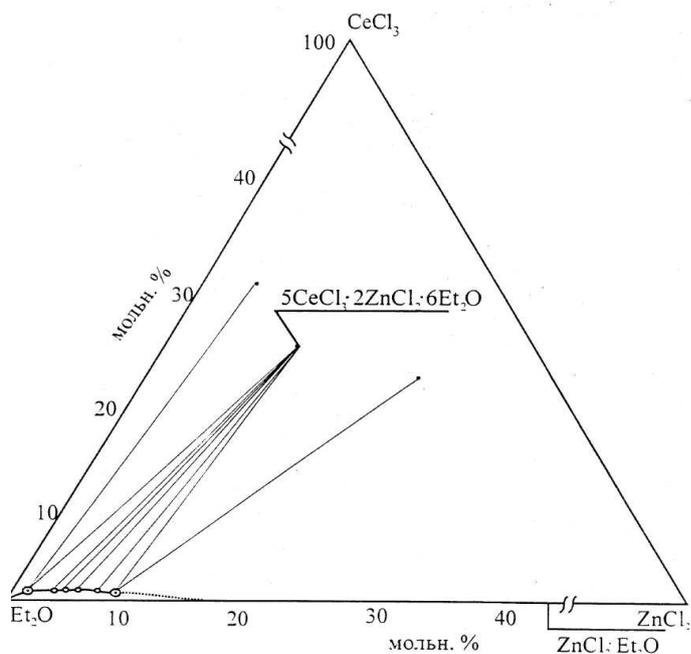


Рис. 1. Изотерма растворимости в системе $\text{CeCl}_3\text{-ZnCl}_2\text{-Et}_2\text{O}$ при 25 °С

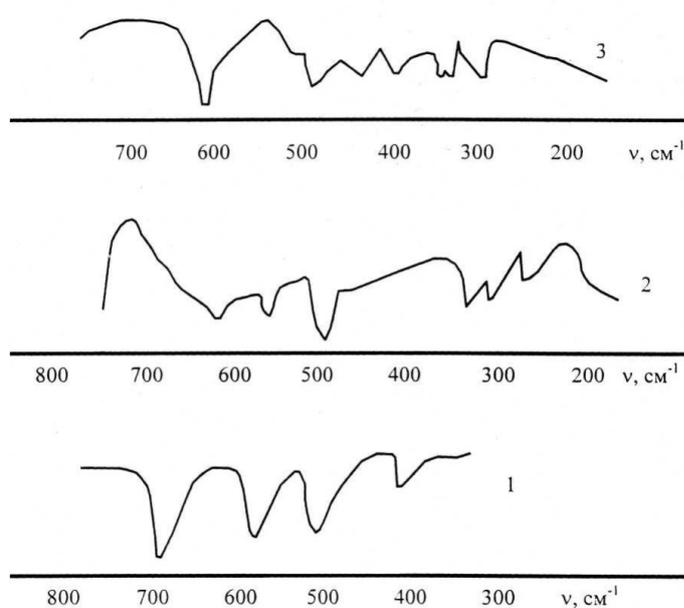


Рис. 2. ИК спектры комплексов $5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$ и их составляющих:
1 – $\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$; 2 – $2\text{CeCl}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$; 3 – $5\text{CeCl}_3 \cdot 2\text{ZnCl}_2 \cdot 6\text{Et}_2\text{O}$

2. Изотерма растворимости в системе $\text{EuCl}_3\text{-ZnCl}_2\text{-Et}_2\text{O}$ при 25 °С

В табл. 3 приведена изотерма растворимости EuCl_3 и ZnCl_2 . Характерной особенностью изотермы растворимости является вогнутость кривой ликвидуса, что обусловлено изменением растворимости EuCl_3 при изменении концентрации ZnCl_2 . В интервале концентрации ZnCl_2 от 0.31 мол.% до 0.54 мол.% происходит довольно значительное увеличение растворимости EuCl_3 от 0 до 0.28 мол.%, при этом согласно ходу лучей Скрейнемаркера из раствора равновесно кристаллизуется комплекс, близкий составу $4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ (рис. 3).

Табл. 3. Анализ растворимости в системе $\text{EuCl}_3\text{-ZnCl}_2\text{-Et}_2\text{O}$, 25 °С

Жидкая фаза				Твердая фаза				Состав твердой фазы
EuCl_3		ZnCl_2		EuCl_3		ZnCl_2		
% масс.	% мол.							
-	-	32.3	20.6	-	-	64.5	49.5	$\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
0.50	0.001	9.51	0.05	22.5	0.09	37.3	0.31	$\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O} + 4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot 3\text{Et}_2\text{O}$
0.60	0.001	8.93	0.05	73.1	0.48	8.61	0.11	$4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
1.60	0.0004	6.24	0.04	71.0	0.43	5.23	0.06	$4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
2.55	0.001	7.15	0.04	68.0	0.41	7.11	0.08	$4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
5.92	0.01	5.32	0.03	80.4	0.59	7.43	0.11	$4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
3.50	0.01	7.81	0.05	69.0	0.39	2.52	0.03	$\text{EuCl}_3 + 4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$
-	-	-	-	100	100	-	-	EuCl_3

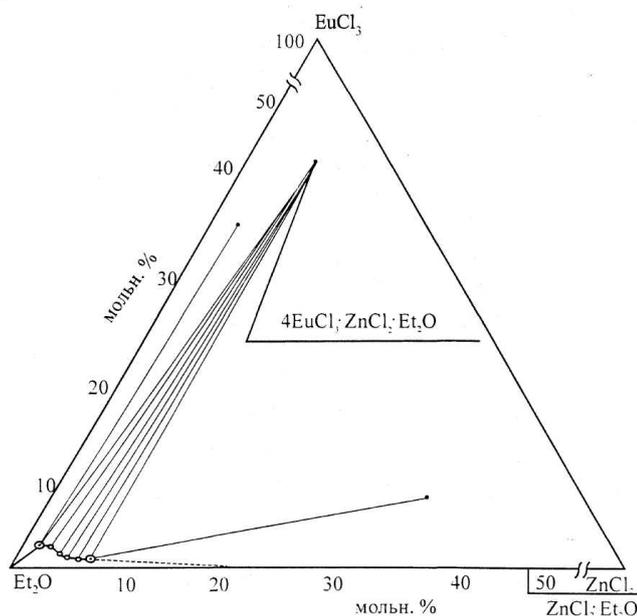


Рис. 3. Изотерма растворимости в системе $\text{EuCl}_3\text{-ZnCl}_2\text{-Et}_2\text{O}$ при 25 °С

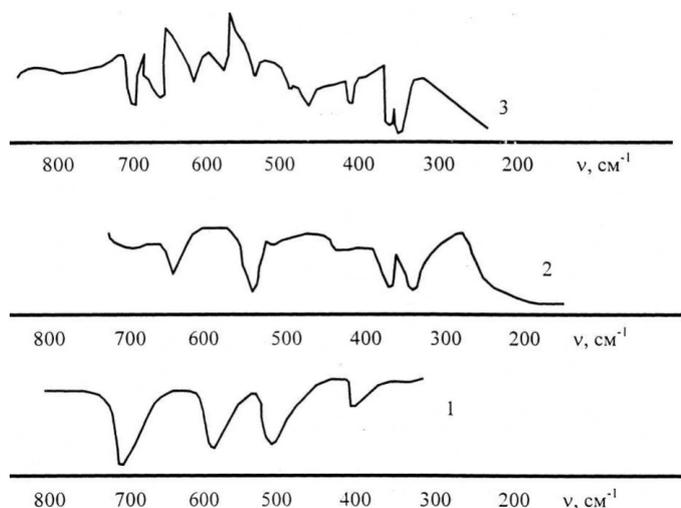


Рис. 4. ИК спектры комплексов $4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$ и их составляющих:
1 – $\text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$; 2 – $2\text{EuCl}_3 \cdot \text{Et}_2\text{O}$; 3 – $4\text{EuCl}_3 \cdot \text{ZnCl}_2 \cdot \text{Et}_2\text{O}$

3. Изотерма растворимости в системе $GdCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °C

Установленные нами значения совместной растворимости $GdCl_3$ и $ZnCl_2$ в диэтиловом эфире при 25 °C представлены в табл. 4. Как и в случае с $CeCl_3$ и с $EuCl_3$ в присутствии $ZnCl_2$ наблюдается значительное увеличение растворимости $GdCl_3$ в Et_2O . Уже при малом содержании $ZnCl_2$ – 0.88 мол.%, растворимость $GdCl_3$ достигает 3.02 мол.%. При дальнейшем возрастании содержания $ZnCl_2$ значения растворимости плавно убывает. В интервале концентрации $ZnCl_2$ от 1.29 мол.% до 7.47 мол.% и $GdCl_3$ от 0.36 мол.% до 2.66 мол.% равновесно кристаллизуется твердая фаза состава $2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$.

Табл. 4. Анализ растворимости в системе $GdCl_3-ZnCl_2-Et_2O$, 25 °C

Жидкая фаза				Твердая фаза				Состав твердой фазы
$GdCl_3$		$ZnCl_2$		$GdCl_3$		$ZnCl_2$		
% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	
-	-	32.3	20.6	-	-	64.5	49.7	$ZnCl_2 \cdot Et_2O$
1.20	0.37	15.1	8.88	21.5	9.14	40.3	33.3	$ZnCl_2 \cdot Et_2O + 2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2$
1.53	0.45	12.8	7.7	45.1	22.2	23.2	22.1	$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$
2.22	0.65	8.83	5.06	58.2	28.1	26.7	28.4	$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$
5.21	1.55	5.11	2.95	51.6	28.4	26.0	27.7	$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$
8.84	2.66	2.22	1.29	46.2	23.2	24.8	24.3	$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$
10.1	3.02	1.54	0.88	38.8	16.8	16.0	13.4	$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O + GdCl_3$
-	-	-	-	100	100	-	-	$GdCl_3$

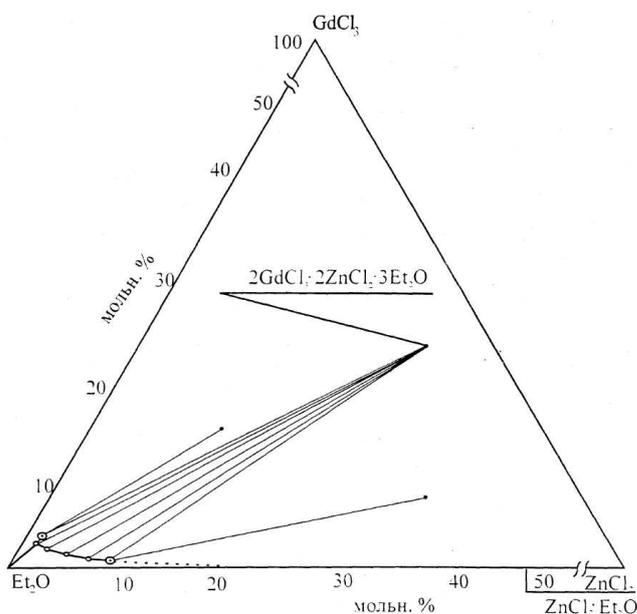


Рис. 5. Изотерма растворимости в системе $GdCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °C

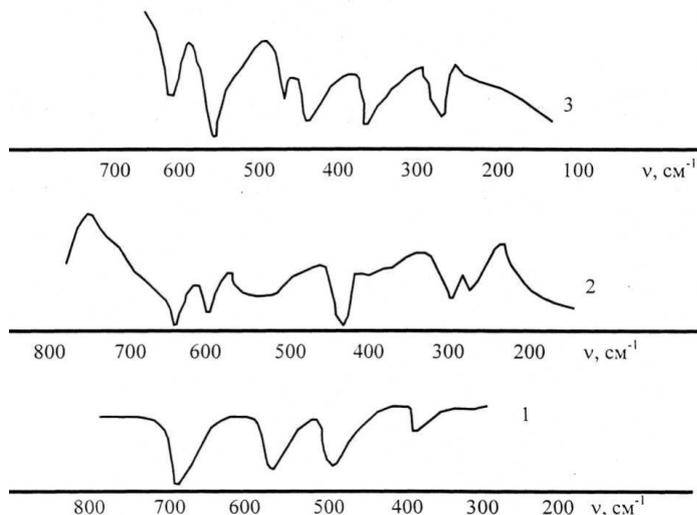


Рис. 6. ИК спектры комплексов $2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$ и их составляющих:

1 – $ZnCl_2 \cdot Et_2O$; 2 – $2GdCl_3 \cdot Et_2O$; 3 – $2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$

4. Изотерма растворимости в системе $DyCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °С

При изучении растворимости в системе $DyCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °С были обнаружены области кристаллизации трех фаз: эфирата хлорида цинка и двух комплексных эфиратов состава $5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$ и $2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$ (табл. 5, рис. 7).

Табл. 5. Анализ растворимости в системе $DyCl_3-ZnCl_2-Et_2O$, 25 °С

Жидкая фаза				Твердая фаза				Состав твердой фазы
$DyCl_3$		$ZnCl_2$		$DyCl_3$		$ZnCl_2$		
% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	% масс.	% мол.	
-	-	-	-	100	100	-	-	$DyCl_3$
11.1	0.31	2.51	1.38	28.8	10.1	2.11	1.45	$DyCl_3 + 5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot Et_2O$
1.64	0.46	4.54	2.52	67.2	38.4	6.84	7.66	$5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$
2.12	0.61	5.67	3.16	61.0	31.5	5.57	5.6	$5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$
2.54	0.72	7.58	4.29	64.5	34.9	5.31	5.64	$5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$
1.23	0.34	7.19	4.02	28.6	16.8	8.12	9.36	$5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O + 2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$
3.21	0.34	9.53	5.53	6.04	33.9	15.6	17.3	$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$
4.14	1.27	18.5	11.3	65.4	39.9	16.6	20.1	$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$
2.52	0.79	26.7	16.7	63.6	37.5	15.9	18.5	$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$
1.57	0.47	28.5	18.1	65.0	39.7	17.0	20.4	$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$
1.39	0.42	29.7	18.9	25.5	10.9	38.6	32.8	$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O + ZnCl_2 \cdot Et_2O$
-	-	32.3	20.6	-	-	64.0	49.1	$ZnCl_2 \cdot Et_2O$

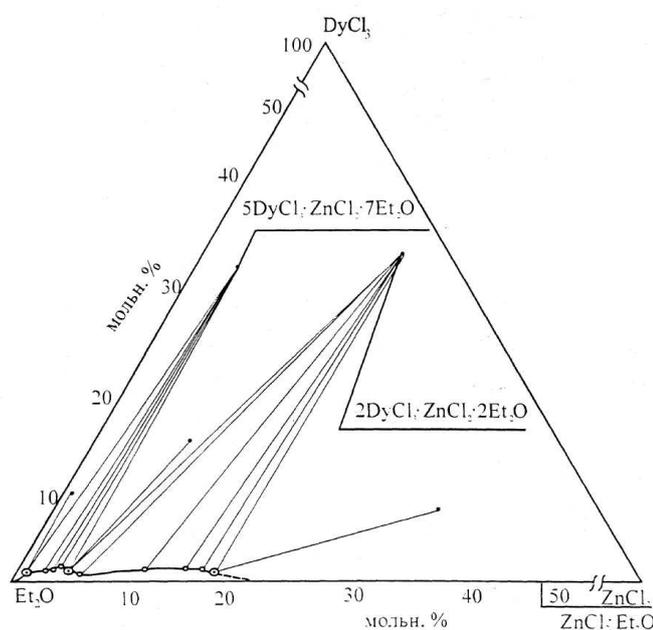


Рис. 7. Изотерма растворимости в системе $DyCl_3-ZnCl_2-Et_2O$ при 25 °С

Соединение $DyCl_3$ нерастворимо в диэтиловом эфире. Область кристаллизации $5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$ узка и находится в интервале концентраций $ZnCl_2$ 2.52 мол.% до 4.29 мол.% и $DyCl_3$ от 0.45 мол.% до 0.72 мол.%. При этом растворимость $DyCl_3$ при постепенном добавлении эфирата хлорида цинка вначале повышается, проходит через максимум, затем снова понижается.

Эфират $2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$ существует в довольно широкой области концентраций $ZnCl_2$ от 5.53 мол.% до 18.0 мол.% и $DyCl_3$ от 0.04 мол.% до 1.27 мол.% и представляет собой хорошо образованные ромбические кристаллы.

Комплексные соединения были выделены в индивидуальном состоянии и идентифицированы совокупностью методов: ИК-спектроскопией, термогравиметрией, рентгенографией.

Так, для определения способа координации хлоридов РЗЭ и цинка, а также характера связи диэтилового эфира с комплексами изучены ИК спектры поглощения в области 200-1500 cm^{-1} .

При интерпретации ИК спектров основное внимание обращали на изменение частот валентных колебаний М-Сl- связи и С-О-С связи в диэтиловом эфире и на проявление новых полос поглощения, вызванных колебанием М-О связи в области 200-700 cm^{-1} (табл. 6, рис. 2, 4,

Полная исследовательская публикация Михайлов Ю.М., Гатина Р.Ф., Омаров З.К. и Шакурская О.Н. 6, 8). Колебательные частоты комплексных соединений $M^nCl_n \cdot mZnCl_2 \cdot pEt_2O$ отличаются от спектров составляющих компонентов M^nCl_n и $mZnCl_2 \cdot pEt_2O$.

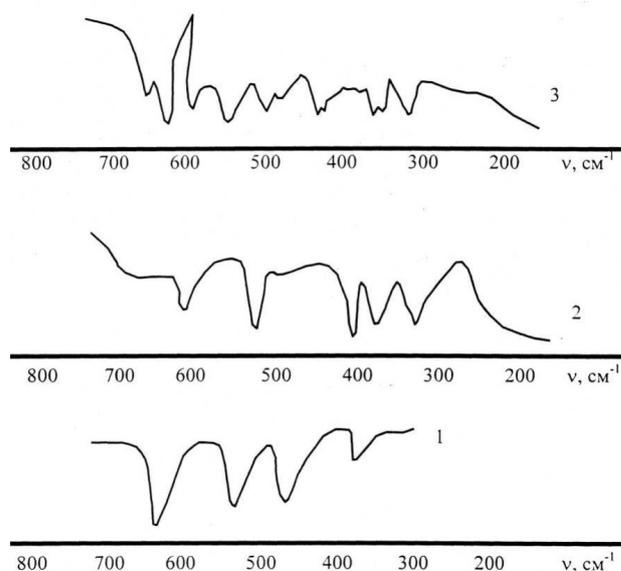


Рис. 8. ИК спектры комплексов цинка и диспрозия:
1 – $ZnCl_2 \cdot Et_2O$; 2 – $2DyCl_3 \cdot Et_2O$; 3 – $2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$

Табл. 6. ИК спектры комплексных соединений эфиратов хлоридов редкоземельных элементов и цинка

Соединение	Валентные M-Cl, cm^{-1}	Валентные M-O, cm^{-1}
$ZnCl_2 \cdot Et_2O$	720	430, 528, 601
$2CeCl_3 \cdot Et_2O$	510, 580, 630	300, 350, 370
$5CeCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 6Et_2O$	420, 450, 500, 620	330, 350, 360
$2EuCl_3 \cdot Et_2O$	500-700	320, 350
$4EuCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot Et_2O$	560, 580, 610, 650, 690	340, 360, 420, 480
$2GdCl_3 \cdot Et_2O$	580, 610	280, 300, 420
$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$	520, 600, 630	300, 420, 480
$2DyCl_3 \cdot Et_2O$	520, 620	340, 380, 410
$5DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$	520, 560, 580	280, 320
$2DyCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot Et_2O$	520, 560, 580	280, 320

Табл. 7. Температуры эндоэффектов хлоридов РЗЭ и цинка

Соединение	Температуры эндоэффектов, $^{\circ}C$			
$ZnCl_2 \cdot Et_2O$	310	483		728
$CeCl_3 \cdot Et_2O$	50	190	390	
$2EuCl_3 \cdot Et_2O$	64	180		610
$2GdCl_3 \cdot Et_2O$	70	160	190	
$2DyCl_3 \cdot Et_2O$	114	145	187	495

Табл. 8. Температуры эндоэффектов хлоридных комплексов РЗЭ и цинка

Соединение	Температуры эндоэффектов, $^{\circ}C$					
$5CeCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 6Et_2O$		215	230	325	555	
$4EuCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot Et_2O$	74	170		250		475
$2GdCl_3 \cdot 2ZnCl_2 \cdot 3Et_2O$		155		220	350	
$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 7Et_2O$	60	116	170	230	270	
$2DyCl_3 \cdot ZnCl_2 \cdot 2Et_2O$		114	146	262	302	427

Полученные данные термической устойчивости комплексов хлорида цинка с хлоридами РЗЭ указывают на сложный характер разложения КС полихлорцинкатов металлов, отличных

ИЗУЧЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБЩЕЙ ФОРМУЛОЙ $AM^N C...$ _____ 86-93 от составляющих $M^n Cl_n$ и $mZnCl_2 \cdot pEt_2O$ (табл. 7, 8). Так, до 200 °С происходит частичное удаление молекул диэтилового эфира, а затем при 300-400 °С – разложение самого КС. Присутствие диэтилового эфира повышает термическую устойчивость хлорида цинка.

Таким образом установлено, что нерастворимые в диэтиловом эфире хлориды РЗЭ в присутствии хлорида цинка (от 1-17 мас.%) хорошо в нем растворимы.

Явление растворимости обусловлено способностью хлоридов РЗЭ к образованию растворимых комплексных соединений хлорида РЗЭ с хлоридом цинка.

Литература

- [1] Полихлорцинкаты редкоземельных элементов. Патент №2395458 от 27.07.2010
- [2] Гатина Р.Ф., Худойдодов Б.О., Мирсаидов У. Изотерма растворимости $MgCl_2-AlCl_3-Et_2O$ при 25 °С. *Журнал неорганической химии*. **1988**. Т.33. №2. С.495.
- [3] Гатина Р.Ф., Худойдодов Б.О., Мирсаидов У., Тенчурина А.Р., Тельнова Н.А. Синтез и свойства полихлоралюминатов щелочноземельных металлов. *Докл. АН Тадж.ССР*. **1991**. Т.4. №11. С.597.
- [4] Семененко К.Н., Лавут Е.В., Исаев А.И. Система $MgCl_2-AlCl_3-(C_2H_5)_2O$. *Журнал неорганической химии*. **1973**. Т.18. №3. С.828.
- [5] Бергман А.Н., Лужная Н.П. Физико-химические основы получения и использования соляных месторождений хлорид-сульфатного типа. *Изд. АН СССР*. **1959**. С.240.
- [6] Тикунова И.В., Артеменко А.И. и др. Справочник молодого лаборанта-химика. М.: «Высшая школа». **1985**. С.183.
- [7] Бергман А.Н., Лужная Н.П. Физико-химические основы получения и использования соляных месторождений хлорид-сульфатного типа. *Изд. АН СССР*. **1951**. С.240.
- [8] Тикунова И.В., Артеменко А.И. и др. Справочник молодого лаборанта-химика. М.: "Высшая школа". **1985**. С.183-184.