

УДК 542.06

**Е. Н. Корчуганова, К. Р. Абузарова, Э. В. Танцюра, О. Л. Овсиенко**Технологический институт Восточнoукраинского национального университета  
им. Владимира Даля (г. Северодонецк)**ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОЕ ОСАДИТЕЛЬНОЕ ТИТРОВАНИЕ РАСТВОРОВ  
СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ**

В работе проведен сравнительный анализ процессов взаимодействия осадителей (растворов аммиака, карбоната натрия и карбамида) с растворами солей металлов. Выполнены термодинамические расчеты процессов осаждения гидроксидов и гидрокарбонатов металлов. Полученные значения энергии Гиббса показали возможность образования гидроксидов и карбонатов металлов при взаимодействии не только с растворами аммиака и карбоната натрия, но и с продуктами гидролиза карбамида. Представлены результаты исследования процессов осаждения потенциометрическим титрованием солей (нитратов, сульфатов и хлоридов) металлов (железа, алюминия, меди, цинка, никеля) растворами осадителей (аммиака, карбоната натрия, и раствором, содержащим продукты гидролиза карбамида – аммиак и карбонат аммония). В статье проведено сравнение взаимодействия различных осадителей с растворами солей металлов, охарактеризованы различия образования гидроксидов при аммиачном и содовом осаждении, а также при осаждении продуктами гидролиза карбамида. По полученным экспериментальным данным определены условия образования осадков гидроксидов и карбонатов металлов – pH осаждения и избыточные количества осадителей для случаев аммиачного, содового и карбамидного осаждения. Это позволит обосновать выбор осадителей для получения гидроксидов или карбонатов металлов.

**Ключевые слова:** осаждение, гидроксиды, карбонаты, металлы, аммиак, сода, карбамид.

**E. N. Korchuganova, K. R. Abuzarova, E. V. Tantsyura, O. L. Ovsienko**

Technological Institute of East Ukraine Volodymyr Dahl National University (Severodonetsk)

**THE POTENTIOMETRIC PRECIPITATING TITRATION  
OF METALS SALTS SOLUTIONS**

In the article the comparative analysis of interaction with salt's solution and precipitators (ammonia solution, sodium carbonate, urea) had carried out. The thermodynamics estimation was carried out. The resulting Gibbs energy values are shown the potentialities of metals hydroxides and carbonates forming by the interaction not only with ammonia and sodium carbonate solution, but with urea hydrolysis products. The results of precipitation processes studying by potentiometric titration of metals (iron, aluminum, cuprum, zinc, nickel) salts solutions (nitrates, sulphates and chlorides) by the precipitators solutions (ammonia solution, sodium carbonate, urea and urea hydrolysis products) are presented. There are the comparison of different precipitators interaction with metal salts solutions, the distinctions of hydroxides and carbonates forming in ammonia and sodium carbonate precipitation and urea hydrolysis products precipitation are characterized. In according to experimental results the conditions (pH value), and the amount of precipitators are determined for metal's hydroxides and carbonates forming.

**Key words:** precipitation, hydroxide, carbonate, metal, ammonia, sodium carbonate, urea.

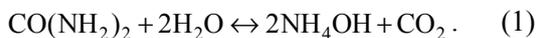
**Введение.** В последние годы особый интерес вызывают оксиды с наноразмерными частицами, находящие применение в различных областях: химии, физике, материаловедении и ряде других. Они являются высококачественными катализаторами, полупроводниками, используются для получения лакокрасочных материалов, для создания эффективных антикоррозионных покрытий [1]. Создавать оксиды с желаемыми свойствами, контролировать размеры частиц невозможно без понимания природы процессов их получения. Как правило, оксиды получают из гидроксидов, карбонатов и некоторых других солей [2], и именно при получении этих веществ (прекурсоров) и закла-

дываются дисперсность и свойства будущего оксида. Для получения солей и гидроксидов чаще других методов используют химическое осаждение из растворов солей.

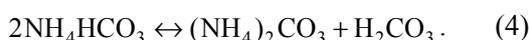
Известно довольно большое количество методов химического осаждения (в ряде случаев, переосаждения), наиболее распространены типы химического осаждения – гидроксидный и карбонатный. Для осаждения гидроксидов в качестве осадителя используют растворы аммиака или щелочи. Для осаждения карбонатов в качестве осадителя традиционно используются избыток карбоната аммония или натрия. Однако в последнем случае приходится уделять особое внимание стадии промывки осадка,

поскольку примеси щелочных металлов могут изменять свойства получаемых материалов, в особенности это относится к оксидным катализаторам. Компактные, легкофильтрующиеся, высокодисперсные осадки можно создавать, используя в качестве осадителя карбамид [3].

Гидролиз карбамида в растворе протекает по суммарной реакции (1):



В процессе гидролиза в растворе возможно протекание реакций (2)–(4):



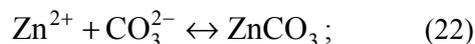
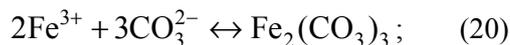
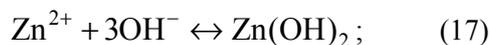
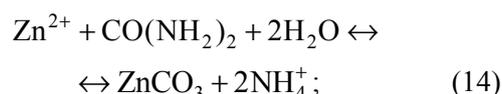
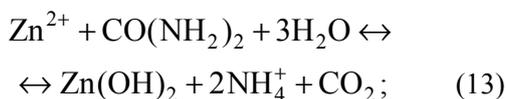
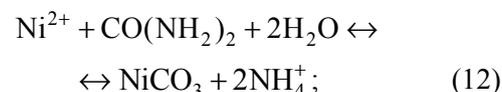
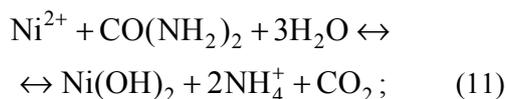
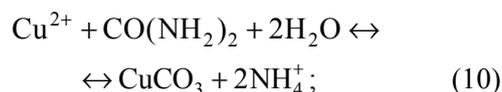
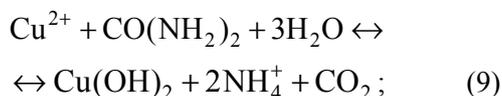
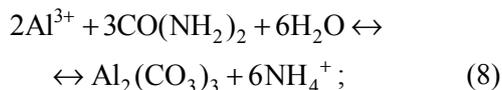
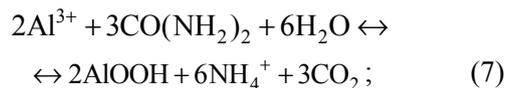
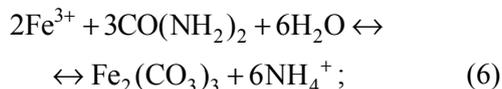
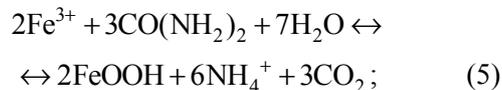
То есть существует возможность осаждения как карбонатов, так и гидроксидов металлов. Однако в большинстве описываемых в литературе экспериментальных данных рекомендуется проводить процессы осаждения со значительными избытками карбамида, что приводит к существенному удорожанию технологических процессов осаждения.

В данной работе проведен сравнительный анализ взаимодействия растворов неорганических солей металлов – железа, алюминия, меди, цинка, никеля с растворами аммиака, карбоната натрия и раствором, содержащим продукты гидролиза карбамида, с целью выяснения необходимого количества осадителя и составов возможных продуктов осаждения.

**Основная часть.** Исследования проводили путем прямого и обратного потенциометрического титрования растворов солей металлов растворами  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и раствором, содержащим продукты гидролиза карбамида. Растворы готовили 0,1 N концентраций. В экспериментах использовали следующие соли металлов реактивной квалификации:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \times 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . После приготовления растворов солей из кристаллогидратов их концентрация уточнялась комплексометрическими методами [4].

Расчет энергии Гиббса для реакций карбамида с солями металлов в рабочем диапазоне температур (обычно это 90–100°C, при меньшей температуре гидролиз карбамида проходит с маленькой скоростью) по реакциям (5)–(14) показал (рис. 1, а), что для солей железа, алюминия, меди возможно образование гидроксидов, а для солей цинка и никеля – карбонатов. Учитывая, что при гидролизе карбамида проис-

ходит образование свободного аммиака по реакции (1) и карбоната аммония по реакции (4) были проведены расчеты энергии Гиббса и для реакций (15)–(19) и (20)–(24). Результаты расчета представлены на рис. 1, б и рис. 1, в.



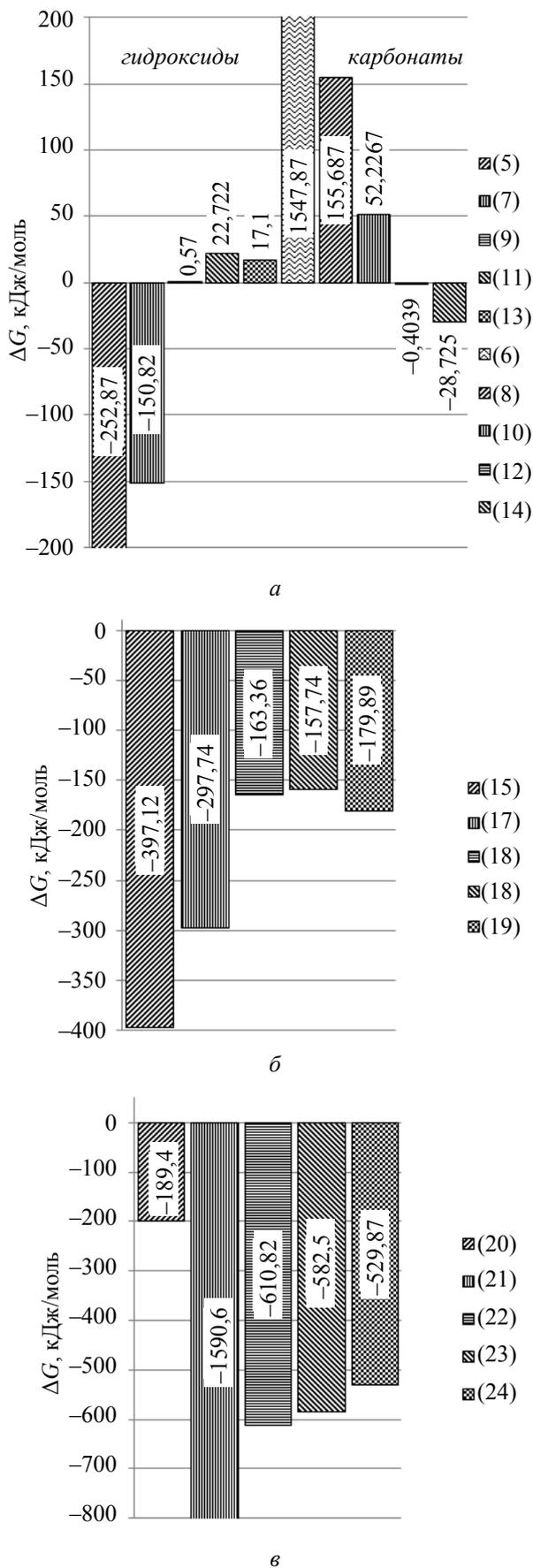


Рис. 1. Энергия Гиббса реакций (5)–(24): а – карбамидом; б – аммиаком; в – содой

Раствор, содержащий продукты гидролиза карбамида, готовили кипячением в течение часа раствора карбамида. После гидролиза раствор содержал 0,66 г/л свободного аммиака и 5,28 г/л углекислого газа, являющихся осадителями гидроксидов и карбонатов металлов соответственно.

Потенциометрическое титрование проводилось по стандартной методике, детально описанной в [5]. Для измерения pH использовали pH-метр pH-150МА, оснащенный измерительным электродом ЭВЛ-1МЗ, и pH-метр Ezodo MP-103, оснащенный комбинированным стеклянным электродом. Точность измерения pH  $\pm 0,01$ , допустимый диапазон измерений pH составляет 0–14.

Кривые прямого и обратного потенциометрического титрования были построены в координатах pH – соотношение эквивалентов осадитель – катион металла ( $N_{ос}/N_{кат}$ ). Для определения точек эквивалентности использовался дифференциальный метод.

Исходя из расчетных значений энергии Гиббса, осаждение преимущественно происходит за счет реакции с продуктами гидролиза карбамида. Причем для железа наиболее вероятно образование гидроксида, для остальных металлов – карбонатов.

В результате проведения экспериментов были получены кривые потенциометрического титрования солей металлов (КПТСМ), проводилось прямое и обратное титрование. По КПТСМ определялись точки эквивалентности и рассчитывалось необходимое количество осадителя.

Потенциометрическое титрование растворов солей **алюминия** показало представленные ниже результаты.

При титровании аммиаком наименьшее количество осадителя необходимо для осаждения гидроксида алюминия из раствора сульфата ( $N_{ос}/N_{кат} = 1,036$ ). На кривых титрования растворов солей алюминия аммиаком ярко выражены два скачка потенциала, ординаты которых соответствуют pH начала и pH полного осаждения гидроокисей (рис. 2).

При титровании раствором соды ярко выражены три скачка потенциала, что свидетельствует о последовательном образовании основных солей при pH начала осаждения 3,7–3,9 и pH полного осаждения равного 7,2–8,9.

Карбонат алюминия является солью, образованной слабым основанием и слабой кислотой, и в растворе гидролизует полностью, учитывая, что кальцинированная сода в растворе имеет щелочную реакцию (0,1 М раствор – pH = 11,5), осадителем являются  $OH^-$  ионы.

При титровании солей алюминия карбамидом получаются очень схожие результаты.

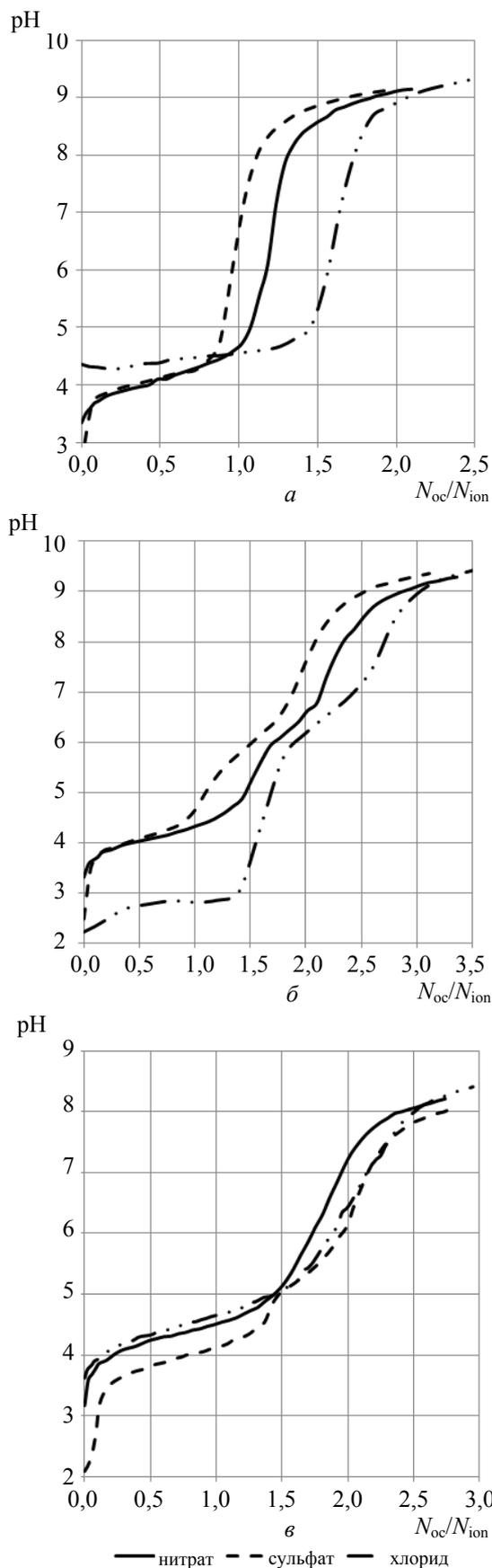


Рис. 2. Кривые потенциометрического титрования солей алюминия:  
 а – аммиаком; б – содой; в – карбамидом

Точка эквивалентности соответствует соотношению  $N_{\text{ок}}/N_{\text{кат}}$  1,91–2,11. Наибольшее количество осадителя необходимо для осаждения гидроксида алюминия из раствора его сульфата (табл. 1). При титровании сульфатов обнаружены три скачка потенциала, это объясняется склонностью сульфатов к последовательному образованию основных солей  $\text{Al}_2\text{OH}(\text{SO}_4)_2 \rightarrow \text{Al}_2(\text{OH})_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Кривые обратного титрования заметно отличаются от кривых прямого титрования только при использовании гидролизованного карбамида, что указывает на образование основных солей алюминия в условиях большого избытка осадителя. Характер КИТСМ для солей остальных металлов практически идентичен картине, полученной для алюминия, и в статье не приводится.

Потенциометрическое титрование растворов солей железа дало следующие результаты.

Учитывая, что произведение растворимости гидроксида железа  $6,3 \cdot 10^{-38}$  гораздо меньше, чем произведение растворимости его карбоната  $2,5 \cdot 10^{-11}$ , а также то, что карбонат железа также как и карбонат алюминия – соль, образованная слабым основанием и слабой кислотой, в растворе образуется гидроксид железа при титровании всеми испытываемыми растворами осадителей.

При титровании аммиаком наименьшее количество осадителя понадобилось для нитрата ( $N_{\text{ок}}/N_{\text{кат}} = 1,560$ ). Кривые титрования имеют по два скачка потенциала, соответствующие началу и полному осаждению гидроокисей железа.

Титрование содой дает право предположить образование основных солей железа, о чем говорят кривые титрования, имеющие по три скачка потенциала. Нельзя оставить не отмеченным тот факт, что на осаждение содой из любого представленного раствора соли железа идет практически одинаковое количество осадителя ( $N_{\text{ок}}/N_{\text{кат}} = 2,8$ ) (табл. 2).

Известно, что осаждение карбамидом приводит к образованию гидроксида железа [6]. При титровании солей железа карбамидом заметна существенная разница в количестве осадителя в точке эквивалентности. Так при титровании сульфата оно является наибольшим и составляет 3,214, при титровании нитрата – 1,327, при титровании хлорида – 1,753. Как и при титровании аммиаком, с точки зрения необходимого количества осадителя наименее материалоемким является процесс осаждения с использованием раствора нитрата железа.

Титрование растворов солей никеля дало следующие результаты. При титровании аммиаком по КИТСМ для нитрата никеля выявлено, что путь для прямого и обратного титрования имеет

несколько различный характер относительно рН. Это объясняется образованием различных по составу осадков, а в случае обратного титрования и большого избытка аммиака – аммиачных комплексов никеля. Наименьшее количество осадителя для получения гидроксида никеля из раствора хлорида ( $N_{oc}/N_{кат} = 0,729$ ).

При титровании содой при любых соотношениях  $N_{oc}/N_{кат}$  образуются осадки одного и того же состава, о чем свидетельствуют КПТСМ прямого и обратного титрования. При этом наименьшее количество осадителя необходимо при осаждении из хлорида ( $N_{oc}/N_{кат} = 1,383$ ) (табл. 3).

КПТСМ, полученные при титровании гидролизованым карбамидом, занимают промежуточное положение, соотношение  $N_{oc}/N_{кат}$ , рассчитанное по содержанию свободного аммиака в растворе, составляет 0,9–1,03. КПТСМ, полученная титрованием раствором гидролизованного карбамида, находится между содовой и аммиачной, что свидетельствует о взаимодействии соли с обоими продуктами гидролиза карбамида. Учитывая, что произведение растворимости гидроксида никеля  $3,1 \cdot 10^{-16}$ , а карбоната никеля  $1,63 \cdot 10^{-7}$ , вначале происходит образование гидроксида, а потом карбоната никеля.

Таблица 1

### Результаты потенциметрического титрования растворов солей алюминия

Раствор соли алюминия	Осадитель	Начало осаждения		Точка перегиба		Окончание перегиба	
		рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$
Сульфат	аммиак	3,73	0,080	7,24	1,036	8,94	1,594
	сода	3,73	0,125	7,56	1,993	9,16	2,740
	карбамид	3,57	0,235	6,48	2,113	8,05	2,876
Нитрат	аммиак	3,81	0,161	7,16	1,237	9,11	1,990
	сода	3,81	0,168	7,29	2,185	9,12	3,025
	карбамид	4,07	0,281	6,59	1,912	8,18	2,755
Хлорид	аммиак	4,45	0,373	7,16	1,056	9,48	1,802
	сода	4,06	0,251	8,92	2,261	9,47	3,266
	карбамид	4,29	0,418	6,34	2,014	8,31	2,888

Таблица 2

### Результаты потенциметрического титрования растворов солей железа

Раствор соли железа	Осадитель	Начало осаждения		Точка перегиба		Окончание перегиба	
		рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$
Сульфат	аммиак	2,41	1,200	7,30	2,400	9,38	3,400
	сода	2,70	0,636	7,87	2,818	9,20	3,455
	карбамид	2,83	0,742	6,95	3,214	8,01	3,996
Нитрат	аммиак	2,62	0,560	6,70	1,560	8,76	2,000
	сода	2,68	0,469	9,23	2,813	9,59	3,438
	карбамид	2,77	0,229	5,39	1,327	8,14	2,049
Хлорид	аммиак	2,05	0,192	8,07	1,664	8,98	2,56
	сода	2,70	0,400	8,44	2,800	9,69	4,200
	карбамид	2,74	0,408	5,79	1,753	8,57	2,936

Таблица 3

### Результаты потенциметрического титрования растворов солей никеля

Раствор соли никеля	Осадитель	Начало осаждения		Точка перегиба		Окончание перегиба	
		рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$	рН	$N_{oc}/N_{кат}$
Сульфат	аммиак	7,7	0,115	8,85	0,919	9,73	2,528
	сода	7,15	0,122	8,55	1,463	9,39	2,439
	карбамид	7,72	0,143	8,45	0,907	8,67	1,384
Нитрат	аммиак	7,78	0,033	8,81	0,990	9,50	1,781
	сода	7,62	0,053	9,17	1,474	9,98	2,420
	карбамид	7,52	0,041	8,37	1,030	8,41	1,195
Хлорид	аммиак	7,93	0,052	8,68	0,729	10,01	1,464
	сода	7,29	0,016	8,87	1,383	9,92	2,604
	карбамид	7,69	0,082	8,42	1,030	8,47	1,195

При титровании растворов солей цинка были получены представленные результаты.

По КПТСМ, полученных при титровании аммиаком, наименьшее количество осадителя необходимо при осаждении из нитрата ( $N_{oc}/N_{кат} = 0,800$ ). А КПТСМ обратного титрования при этом свидетельствует об образовании осадков одинакового состава при любом соотношении  $N_{oc}/N_{кат}$  [6].

Титрование содой показало, что при осаждении из любого исследуемого раствора необходимо приблизительно одинаковое количество осадителя ( $N_{oc}/N_{кат} = 1,600$ ). А обратное титрование показывает, что лишь нитрат способен к образованию идентичных по составу солей при любом соотношении  $N_{oc}/N_{кат}$ .

При титровании раствором гидролизованного карбамида для нитрата необходимо наибольшее количество осадителя, а наименьшее – для сульфата (табл. 4). Но опираясь на [7] можно сказать, что при использовании раствора гидролизованного карбамида образуются основные соли, а не аммиакаты, благодаря низкому содержанию свободного аммиака в растворе. Титрование растворов солей меди дало следующие результаты.

КПТСМ показали, что при титровании аммиаком образование гидроокиси меди протекает через промежуточную стадию образования основных солей [7], что подтверждается и обрат-

ным титрованием. Примерно одинаковым является соотношение  $N_{oc}/N_{кат}$  при титровании всех исследуемых растворов солей (табл. 5). При титровании раствором соды одинаковое количество осадителя необходимо для получения осадка из сульфата и хлорида, а вот при осаждении из нитрата необходимо меньше осадителя.

Осаждение с использованием карбамида наиболее экономично для получения осадка из хлорида ( $N_{oc}/N_{кат} = 1,199$ ). Касательно состава осадков, во всех трех случаях он различен при различных соотношениях количества осадителя к количеству раствора соли. Использование раствора гидролизованного карбамида в качестве осадителя позволяет снизить pH осаждения, что в свою очередь снижает вероятность перехода гидроокиси в оксид [7].

**Выводы.** В результате расчетов энергии Гиббса возможных реакций в процессах взаимодействия растворов солей (нитратов, хлоридов, сульфатов) металлов (алюминия, железа, цинка, меди, никеля) с растворами осадителей установлено, что при взаимодействии с карбамидом возможно образование гидроксидов железа и алюминия, а также карбонатов цинка и никеля. Однако более вероятно осаждение металлов при взаимодействии растворов солей с продуктами гидролиза карбамида – аммиаком и карбонатом аммония.

Таблица 4

Результаты потенциметрического титрования растворов солей цинка

Раствор соли цинка	Осадитель	Начало осаждения		Точка перегиба		Окончание перегиба	
		pH	$N_{oc}/N_{кат}$	pH	$N_{oc}/N_{кат}$	pH	$N_{oc}/N_{кат}$
Сульфат	аммиак	6,40	0,036	8,46	0,837	9,61	2,327
	сода	6,44	0,227	8,00	1,591	9,36	2,386
	карбамид	6,71	0,702	7,37	1,246	8,21	2,153
Нитрат	аммиак	6,86	0,107	8,60	0,800	9,57	1,440
	сода	6,20	0,125	8,48	1,583	9,54	2,083
	карбамид	6,51	0,065	8,28	1,500	8,68	1,990
Хлорид	аммиак	6,35	0,011	7,96	0,840	9,20	1,595
	сода	6,33	0,200	8,57	1,600	9,48	2,200
	карбамид	6,55	0,071	8,12	1,281	8,53	1,566

Таблица 5

Результаты потенциметрического титрования растворов солей меди

Раствор соли меди	Осадитель	Начало осаждения		Точка перегиба		Окончание перегиба	
		pH	$N_{oc}/N_{кат}$	pH	$N_{oc}/N_{кат}$	pH	$N_{oc}/N_{кат}$
Сульфат	аммиак	4,28	0,070	8,56	0,910	9,48	1,681
	сода	5,22	0,164	7,69	1,531	9,55	2,298
	карбамид	5,31	0,062	7,52	1,313	8,45	1,969
Нитрат	аммиак	4,71	0,035	8,29	0,840	9,70	2,100
	сода	5,31	0,055	7,78	1,422	9,87	2,516
	карбамид	5,32	0,086	7,70	1,370	8,56	1,927
Хлорид	аммиак	4,28	0,210	8,54	0,840	9,32	1,470
	сода	4,81	0,328	8,55	1,532	9,63	2,188
	карбамид	4,86	0,086	7,02	1,199	8,49	1,927

Для последующего изучения систем использовался метод потенциометрического осадительного титрования (прямого и обратного) растворов солей растворами аммиака, карбоната натрия и специально приготовленного раствора гидролизованного карбамида.

В целом в ходе потенциометрического осадительного титрования наблюдается такая картина:

– наиболее материалоемким является процесс осаждения гидроксидов и карбонатов металлов, протекающий с использованием соды в качестве осадителя. В результате гидролиза раствора он содержит значительное количество  $\text{OH}^-$ -ионов, благодаря чему происходит образование гидроксидов металлов, а затем карбонатов. Однако содовые растворы по той же причине содержат и значительное количество бикарбоната натрия, не образующего осадков при контакте с катионами металлов. Также необходимость довольно большого избытка соды может быть вызвана выделением углекислого газа из раствора солей на начальных стадиях осаждения (в области слабокислых сред);

– наименьшего количества осадителя требуют процессы, протекающие с использованием аммиака, однако избыток его может привести к растворению гидроксидов металлов, что свойственно катионам III и IV аналитических групп. К тому же, аммиак способен образовывать со всеми перечисленными катионами металлов растворимые аммиачные комплексы [9], поэтому проведение процессов аммиачного осаждения в условиях избытка аммиака может привести не только к повышению расхода осадителя, но и снижению степени осаждения металлов;

– определение количества осадителя по КППСМ раствором гидролизованного карбамида дало промежуточный результат. В результате гидролиза карбамида происходит образование аммиака и карбоната аммония, которые в свою очередь взаимодействуют с солями металлов, образуя гидроксиды и карбонаты металлов. В результате термодинамических расчетов установлено, что образование карбонатов (кроме железа) является более вероятным, исходя из значения энергии Гиббса.

В результате осаждения с использованием карбамида происходит осаждение гидроксидов

железа и алюминия и основных карбонатов никеля, меди и цинка. Необходимое для осаждения металлов количество карбамида, рассчитанное из кривых потенциометрического титрования, выше для осаждения гидроксидов алюминия и железа. Гидроксиды металлов являются менее растворимыми (имеют меньшее значение произведения растворимости [8]), поэтому при карбамидном осаждении и использовании содового раствора осаждаются первыми. В процессах осаждения гидроксидов алюминия и железа требуется избыток карбамида от 1,3 до трехкратного в зависимости от используемой соли, это объясняется в том числе тем, что  $\text{CO}_2$  не связывается осадком, а удаляется из растворов солей в начальный период процесса, когда pH растворов еще слабокислые. В целом, для получения гидроксидов алюминия и железа менее материалоемкими будут процессы с использованием нитратов и хлоридов этих металлов.

Никель, медь и цинк осаждаются в виде основных карбонатов. Необходимое количество карбамида в процессах осаждения этих основных карбонатов меньше, чем количество соды для того же процесса, что объясняется наличием некоторого количества свободного аммиака в растворе, который участвует в процессах образования гидроксидов, а значит и основных карбонатов металлов. Использование большого избытка карбамида может привести к тем же последствиям, что и использование большого избытка аммиака – образованию комплексных соединений металлов и снижению степени осаждения.

Таким образом, определены необходимые соотношения осадитель/ион металла для осаждения из растворов нитратов, сульфатов и хлоридов алюминия, железа, никеля, цинка и меди при аммиачном, карбонатном и карбамидном осаждении. При выборе осадителя в процессах получения основных карбонатов, гидроксидов и далее из них оксидов металлов следует учитывать не только особенности процессов осаждения, но и желаемые свойства осадков, так при получении оксидных катализаторов желательно получение высокодисперсных, не содержащих натрий гидроксидов и карбонатов металлов, в таких процессах лучше использовать в качестве осадителя карбамид.

### Литература

1. Oskam Gerko. Metal oxide nanoparticles: synthesis, characterization and application // J Sol-Gel Sci Techn. 2006. No. 37. P. 161–164.
2. Marcos Fernandez-Garcia, Rodriguez Jose A. Metal Oxide Nanoparticles // Nanomaterials: Inorganic and Bioinorganic Perspectives. San Francisco: Wiley, 2008. 856 p.
3. Вассерман И. М. Химическое осаждение из растворов. Л.: Химия, 1980. 280 с.
4. Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. М.: Химия, 1965. 976 с.
5. Юсупов Р. А., Нурисламов Э. Р. Расчет кривых потенциометрического титрования солей металлов в условиях образования осадков // Химия и компьютерное моделирование. Бутлеровские сообщения. 2002. № 11. С. 48–53.

6. Шабанова Н. А., Попов В. В., Саркисов П. Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 309 с.
7. Чалый В. П. Гидроокиси металлов (Закономерности образования, состав, структура и свойства). Киев: Наукова думка, 1972. 141 с.
8. Никольский Б. П. Справочник химика. Т. 3. Химическое равновесие и кинетика. Свойства растворов. Электродные процессы. М.: Химия, 1965. 1008 с.
9. Гринберг А. А. Введение в химию комплексных соединений. Москва: Химия, 1966. 632 с.

### References

1. Oskam Gerko Metal oxide nanoparticles: synthesis, characterization and application. *J Sol-Gel Sci Techn*, 2006, no. 37, pp. 161–164.
2. Marcos Fernandez-Garcia, Rodriguez Jose A. Metal Oxide Nanoparticles. *Nanomaterials: Inorganic and Bioinorganic Perspectives*. San Francisco, Wiley, 2008. 856 p.
3. Vasserman I. M. *Khimicheskoe osazhdenie iz rastvorov* [Chemical precipitation from solutions]. Leningrad, Khimiya Publ., 1980. 280 p.
4. Sharlo G. *Metody analiticheskoy khimii. Kolichestvennyy analiz neorganicheskikh soedineniy* [Methods of analytical chemistry. The quantitative analysis of inorganic compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1965. 976 p.
5. Yusupov R. A., Nurislamov E. R. Calculation of the potentiometric titration curves of metal salts under the conditions of precipitation. *Khimiya i komp'yuternoe modelirovanie. Butlerovskie soobshcheniya* [Chemistry and Computational Simulation. Butlerov Communications], 2002, no. 11, pp. 48–53 (in Russian).
6. Shabanova N. A., Popov V. V., Sarkisov P. D. *Khimiya i tekhnologiya nanodispersnykh oksidov* [Chemistry and technology of nanosized oxide]. Moscow, IKTs «Akademkniga» Publ., 2006. 309 p.
7. Chalyy V. P. *Gidrookisi metallov (Zakonomernosti obrazovaniya, sostav, struktura i svoystva)* [Metal hydroxides (Laws of forming, composition, structure and properties)]. Kiev, Naukova dumka Publ, 1972. 141 p.
8. Nikol'skiy B. P. *Spravochnik khimika. T. 3: Khimicheskoe ravnovesie i kinetika. Svoystva rastvorov. Elektrodneye protsessy* [Chemists handbook. Vol. 3: Chemical equilibrium and kinetics. The properties of the solutions. Electrode processes]. Moscow, Khimiya Publ., 1965. 1008 p.
9. Grinberg A. A. *Vvedenie v khimiyu kompleksnykh soedineniy* [Introduction to the chemistry of complex compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1966. 632 p.

### Информация об авторах

**Корчуганова Елена Николаевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры общей и физической химии. Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля (93400, г. Северодонецк, пр-т Советский, 59а, Украина). E-mail: olena.korch@gmail.com

**Абузарова Камила Рамилевна** – аспирант кафедры общей и физической химии. Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля (93400, г. Северодонецк, пр-т Советский, 59а, Украина). E-mail: warfolomeya@gmail.com

**Танцюра Эмилия Владимировна** – аспирант кафедры общей и физической химии. Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля (93400, г. Северодонецк, пр-т Советский, 59а, Украина). E-mail: mila.tansyura@yandex.ua

**Овсиенко Ольга Леонидовна** – доктор технических наук, профессор кафедры общей и физической химии. Технологический институт Восточноукраинского национального университета им. В. Даля (93400, г. Северодонецк, пр-т Советский, 59а, Украина). E-mail: ovsienko@sti.lg.ua

### Information about the authors

**Korchuganova Elena Nikolaevna** – Ph. D. Engineering, assistant professor, Department of General and Physical Chemistry. Technological Institute of East Ukraine Volodymyr Dahl National University (59a, Sovetskiy Ave., 93400, Severodonetsk, Ukraine). E-mail: olena.korch@gmail.com

**Abuzarova Kamila Ramilevna** – graduate student, Department of General and Physical Chemistry. Technological Institute of East Ukraine Volodymyr Dahl National University (59a, Sovetskiy Ave., 93400, Severodonetsk, Ukraine). E-mail: warfolomeya@gmail.com

**Tantsyura Emiliya Vladimirovna** – graduate student, Department of General and Physical Chemistry. Technological Institute of East Ukraine Volodymyr Dahl National University (59a, Sovetskiy Ave., 93400, Severodonetsk, Ukraine). E-mail: mila.tansyura@yandex.ua

**Ovsienko Olga Leonidovna** – Ph. D. Engineering, professor, Department of General and Physical Chemistry. Technological Institute of East Ukraine Volodymyr Dahl National University (59a, Sovetskiy Ave., 93400, Severodonetsk, Ukraine). E-mail: ovsienko@sti.lg.ua

Поступила 04.08.2014