

## РАСТВОРИМОСТЬ В ТРОЙНЫХ ВОДНО-СОЛЕВЫХ СИСТЕМАХ, СОДЕРЖАЩИХ ФОРМИАТЫ КАЛИЯ И КАЛЬЦИЯ ПРИ 25°C

О.С. Кудряшова<sup>1,2</sup>, А.М. Елохов<sup>1,3</sup>, А.Д. Горденчук<sup>1</sup>,  
Л.М. Лукманова<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия

<sup>2</sup>Пермский институт Федеральной службы исполнения наказаний, Пермь, Россия

<sup>3</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

Формиаты щелочных и щелочноземельных металлов широко используются в различных отраслях промышленности. Растворы формиата натрия получают в качестве побочных продуктов, например, при производстве пентаэритрита или хлороформа. Однако они находят спрос, как правило, только в зимнее время. В связи с этим представляет интерес переработка этих растворов в продукты, которые пользуются повышенным спросом, например, в формиаты калия и кальция. При производстве водорастворимых солей наиболее совершенными с технологической точки зрения являются конверсионные способы. Температурно-концентрационные параметры процессов устанавливаются на основании физико-химического анализа поликомпонентных водно-солевых систем. При разработке конверсионных способов получения формиатов калия и кальция впервые изучена растворимость в трехкомпонентных водно-солевых системах, содержащих эти соли, при 25°C.

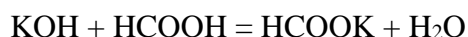
**Ключевые слова:** формиаты калия и кальция, водно-солевая система, конверсия солей.

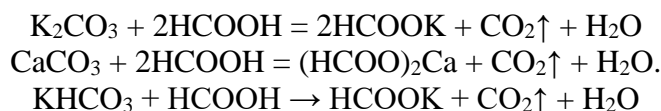
### ВВЕДЕНИЕ

Формиаты щелочных и щелочноземельных металлов широко используются в строительстве в качестве противоморозной и пластифицирующей добавки (формиаты натрия, калия, кальция) [1, 2], в составе антигололедных реагентов (формиаты натрия и калия) [3, 4], минеральных удобрений (формиат кальция) [5], в кожевенной [6] и пищевой [7, 8] промышленности и для защиты древесины [9].

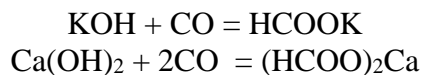
Существует ряд способов получения формиатов калия и кальция:

- Взаимодействие гидроксида, карбоната или гидрокарбоната калия или кальция с муравьиной кислотой





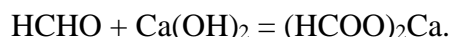
- Взаимодействие водных растворов гидроксида калия или кальция с СО при повышенном давлении и температуре (промышленный способ) [10, 11].



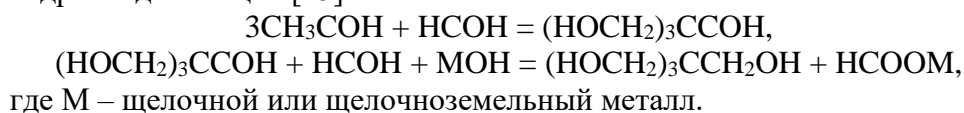
- Реакция сульфата калия и гидроксида кальция с СО (промышленный способ) [12]



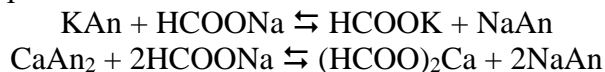
- Взаимодействие формальдегида с гидроксидом кальция или калия [13, 14].



- Получение пентаэритрита совместно с формиатом кальция путем конденсации формальдегида с ацетальдегидом в присутствии гидроксида кальция [15]:



Существенными недостатками указанных процессов являются использование кислоты, вызывающей коррозию оборудования, необходимость упаривания реакционной смеси для получения кристаллического продукта, а также повышенное давление и температура. Большинство этих проблем можно избежать, если получать формиаты калия и кальция из формиата натрия конверсионным методом по реакции обменного разложения солей в водных растворах:



Такие процессы обеспечивают максимальное использование сырья и тепловой энергии, отсутствие отходов производства, получение возможно чистых продуктов.

Растворы формиата натрия, образующиеся в качестве побочных продуктов на ряде производств, например, при производстве пентаэритрита (ОАО «Метафракс», г. Губаха), находят спрос преимущественно в зимнее время. Получение кристаллического формиата натрия значительно удорожает продукт и делает его менее конкурентоспособным. Поэтому представляет интерес переработка формиата натрия в другие продукты. Например, предложено получать формиат калия конверсией формиата натрия с сульфатом калия [16] или формиат кальция из формиата натрия и хлорида или нитрата кальция [17–19].

При разработке физико-химических основ процессов конверсионного получения солей изучают фазовые диаграммы поликомпонентных систем, при анализе которых устанавливают температурно-концентрационные параметры и теоретически обосновывают технологическую схему процесса [20]. В работе представлены данные по растворимости в тройных водно-солевых системах, которые являются оконтуривающими системами четверных взаимных систем, используемых для получения формиатов калия и кальция. Растворимость в тройных водно-солевых системах  $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{An}^-$  – карбонат, гидрокарбонат, сульфат, хлорид и нитрат при  $25^\circ\text{C}$  изучена ранее [21].

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы:

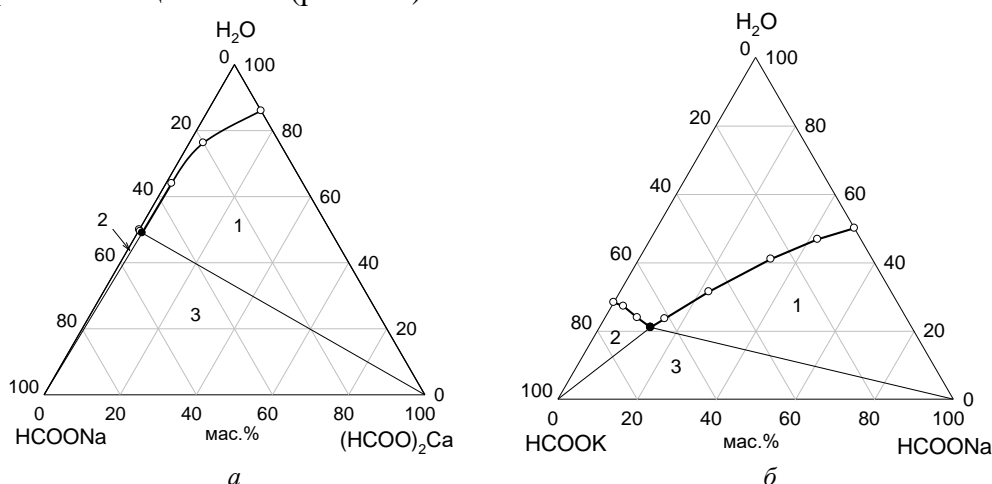
- сульфат, карбонат, гидрокарбонат калия, хлорид, нитрат и формиат кальция, формиат натрия квалификации «ч.д.а.» и «х.ч.»;
- формиат калия, синтезированный в лабораторных условиях: в колбу, охлаждаемую на водяной бане, загружали расчетное количество дистиллированной воды и муравьиной кислоты и постепенно прибавляли расчетное количество раствора гидроксида калия (муравьиную кислоту брали в 1-2% избытке от теоретического). После добавления раствора гидроксида калия реакционную массу охлаждали до комнатной температуры и переносили в термостойкий стакан. Раствор формиата калия упаривали до появления пленки кристаллического продукта. После чего упаривание прекращали, и формиат калия кристаллизовался при охлаждении. Кристаллы соли отфильтровывали на воронке Бюхнера. Физико-химические свойства полученного формиата калия: растворимость при  $25^\circ\text{C}$  71,7 мас.%, содержание формиата калия 95,05%.
- дистиллированная вода  $n_D^{25^\circ} = 1,3325$ .

Растворимость при  $25^\circ\text{C}$  определена изотермическим методом сечений [22, 23]. Термостатирование растворов производилось при помощи ультратермостата УТ-7 с водным теплоносителем. Точность поддержания температуры составляла  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . Показатель преломления измерен при  $25^\circ\text{C}$  на рефрактометре ИРФ 454Б-2М с точностью  $\pm 0,0002$ . Растворимость индивидуальных солей и их смесей в воде определена с точностью 0,5 мас.%. К преимуществам метода сечений следует отнести корреляцию между изотермой растворимости и изотермой физического свойства; возможность идентификации твердой фазы путем сравнения ее растворимости с растворимостью чистого компонента; возможность определения при соответствующем выборе сечений не только точки, лежащей на изотерме растворимости, но и на предельной ноде. Положение эвтоники на диаграмме «состав-свойство»

уточняется пересечением двух ветвей изотермы и линии, отвечающей постоянному значению показателя преломления жидкой фазы в области трехфазного равновесия. Количество молекул воды в кристаллогидратах солей контролировали и рассчитывали на основании термоаналитических кривых, которые снимали на приборе синхронного термического анализа STA 449 F1 (Netzsch).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Все изученные трехкомпонентные системы относятся к эвтоническому типу. На диаграммах растворимости установлены границы гомогенной и невариантной области, а также областей кристаллизации солей (рис. 1–3).



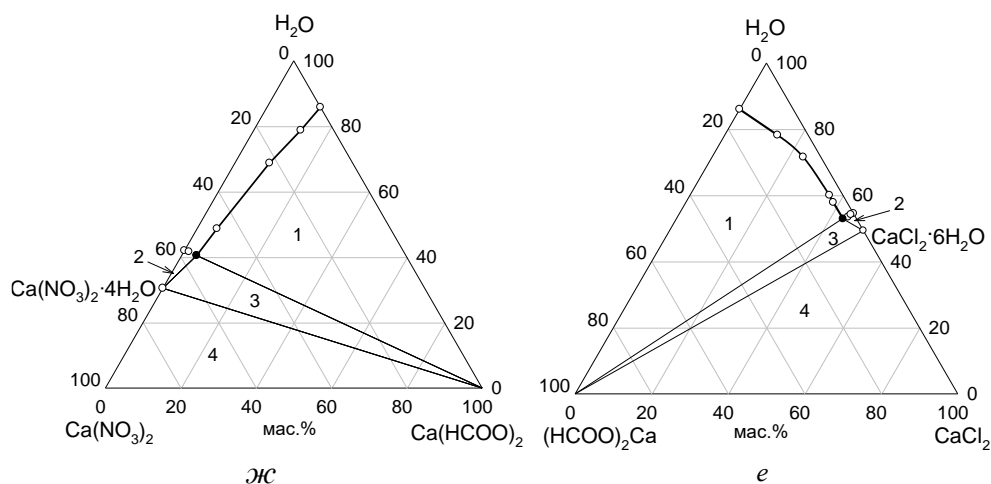
Поля кристаллизации: 1 –  $(\text{HCOO})_2\text{Ca}$ ; 2 –  $\text{HCOONa}$ ; 3 –  $(\text{HCOO})_2\text{Ca} + \text{HCOONa}$   
 Поля кристаллизации: 1 –  $\text{HCOONa}$ ; 2 –  $\text{HCOOK}$ ; 3 –  $\text{HCOOK} + \text{HCOONa}$   
 Рис. 1. Фазовые диаграммы систем  $\text{HCOONa} - \text{HCOOKat} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$

Таблица 1.

Состав насыщенных растворов в системах  $\text{HCOONa} - \text{HCOOKat} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$

Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		$n_D^{25^\circ}$	Равновесная твердая фаза
$\text{HCOONa}$	$(\text{HCOO})\text{Kat}$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{HCOOKat}$	$\text{HCOONa}$		
Система вода – формиат натрия – формиат калия						
0,0	71,7	28,3	100,0	0,0	1,4035	$\text{HCOOK}$
3,0	69,8	27,2	95,9	4,2	1,4055	то же
8,2	68,0	23,8	89,3	10,7	1,4105	"-"
13,0	66,0	21,0	83,6	16,4	1,4150	$\text{HCOOK} + \text{HCOONa}$
15,3	61,2	23,5	80,0	20,0	1,4120	$\text{HCOONa}$
22,5	46,1	31,4	67,2	32,8	1,4057	то же
33,4	25,6	41,0	43,4	56,6	1,3991	"-"
42,3	11,0	46,7	20,6	79,4	1,3957	"-"
50,0	0,0	50,0	0,0	100,0	1,3884	"-"

Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		$n_D^{25^\circ}$	Равновесная твердая фаза
HCOONa	(HCOO)Kat	H <sub>2</sub> O	HCO OKat	HCOONa		
Система вода – формиат натрия – формиат калия						
Система вода – формиат натрия – формиат кальция						
0,0	14,0	86,0	100,0	0,0	1,3555	(HCOO) <sub>2</sub> Ca
76,3	3,7	20,0	4,6	95,4	1,3630	то же
64,0	1,5	34,8	2,3	97,7	1,3780	–”–
49,0	1,3	49,7	2,5	97,5	1,3955	(HCOO) <sub>2</sub> Ca + HCOONa
49,5	0,5	50,0	1,0	99,0	1,3950	HCOONa
50,0	0,0	50,0	0,0	100,0	1,3945	то же



**ж**  
 Поля кристаллизации: 1 – (HCOO)<sub>2</sub>Ca;  
 2 – Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; 3 – (HCOO)<sub>2</sub>Ca + Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O; 4 – Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O + Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> + (HCOO)<sub>2</sub>Ca

**е**  
 Поля кристаллизации: 1 – (HCOO)<sub>2</sub>Ca;  
 2 – CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O; 3 – (HCOO)<sub>2</sub>Ca + CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O; 4 – CaCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O + CaCl<sub>2</sub> + (HCOO)<sub>2</sub>Ca

Р и с. 2. Фазовые диаграммы систем (HCOO)<sub>2</sub>Ca – CaAn<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O при 25°C

Т а б л и ц а 2.

Состав насыщенных растворов в системах  
 (HCOO)<sub>2</sub>Ca – CaAn<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O при 25°C

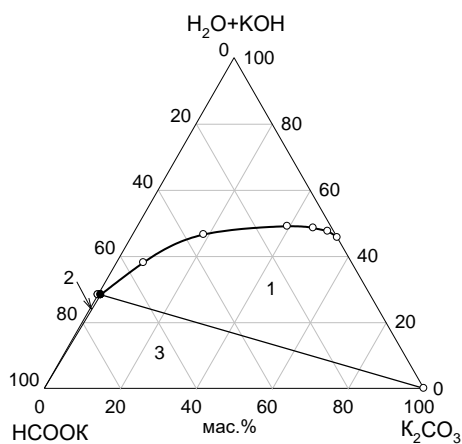
Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		$n_D^{25^\circ}$	Равновесная твердая фаза
(HCOO) <sub>2</sub> Ca	CaAn <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	(HCOO) <sub>2</sub> Ca	CaAn <sub>2</sub>		
Система вода – формиат кальция – хлорид кальция						
14,0	0,0	86,0	100,0	0,0	1,3555	(HCOO) <sub>2</sub> Ca
8,0	13,8	78,2	36,7	63,3	1,3795	то же
4,6	23,9	71,6	16,2	83,8	1,4005	–”–
3,5	36,5	60,0	8,8	91,3	1,4320	–”–
3,6	38,6	57,8	8,5	91,5	1,4360	–”–
3,5	43,5	53,0	7,5	92,5	1,4457	(HCOO) <sub>2</sub> Ca + CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
1,9	44,7	53,4	4,2	95,8	1,4470	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
0,8	45,0	54,2	1,8	98,2	1,4475	то же
0,0	45,5	54,5	0,0	100,0	1,4465	CaCl <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O
Система вода – формиат кальция – нитрат кальция						
14,2	0,0	85,8	100,0	0,0	1,3555	(HCOO) <sub>2</sub> Ca

Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		$n_D^{25^\circ}$	Равновесная твердая фаза
$(\text{HCOO})_2\text{Ca}$	$\text{CaAn}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$(\text{HCOO})_2\text{Ca}$	$\text{CaAn}_2$		
Система вода – формиат кальция – хлорид кальция						
12,5	8,8	78,8	58,8	41,2	1,3690	то же
9,2	22,1	68,7	29,4	70,6	1,3860	"-"
5,3	46,0	48,7	10,3	89,7	1,4250	$(\text{HCOO})_2\text{Ca} + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
4,0	55,5	40,5	6,7	93,3	1,4430	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
1,4	57,0	41,6	2,4	97,7	1,4395	то же
0,0	58,0	42,0	0,0	100,0	1,4380	"-"

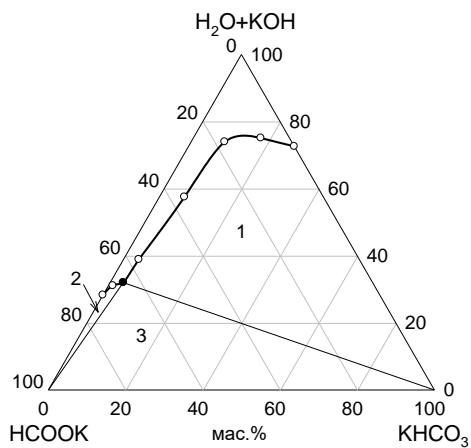
Введение карбонатов и гидрокарбонатов калия в растворы формиата калия приводит к их разложению и выделению углекислого газа. С целью предотвращения указанного процесса в растворы и смеси компонентов, содержащих вышеуказанные соли, вводили расчетное количество гидроксида калия пропорциональное концентрации формиата калия. В случае систем содержащих формиат калия и сульфат калия или формиат натрия добавка не использовалась.

Формиат калия обладает высаливающим действием в отношении всех изученных солей. Очевидно, это связано со значительной разницей в растворимости солей. Максимальная область кристаллизации формиата калия наблюдается в системе с формиатом натрия (рис. 1б).

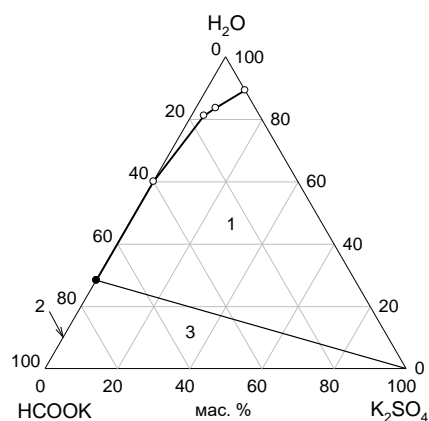
При изученной температуре только соли кальция кристаллизуются в виде кристаллогидратов: нитрат кальция в виде тетрагидрата, хлорид – гексагидрата (рис. 2).



а  
Поля кристаллизации: 1 –  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ;  
2 –  $\text{HCOOK}$ ; 3 –  $\text{HCOOK} + \text{K}_2\text{CO}_3$



б  
Поля кристаллизации: 1 –  $\text{KHCO}_3$ ;  
2 –  $\text{HCOOK}$ ; 3 –  $\text{HCOOK} + \text{KHCO}_3$



Р и с. 3. Фазовые диаграммы систем HCOOK – KAn – H<sub>2</sub>O при 25°С

Поля кристаллизации: 1 – K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;  
2 – HCOOK; 3 – HCOOK + K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Т а б л и ц а 3.

Состав насыщенных растворов в системах HCOOK – KAn – H<sub>2</sub>O при 25°С

Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		ρ <sub>D</sub> <sup>25°</sup>	Равновесная твердая фаза
HCOOK	KAn	H <sub>2</sub> O+KOH	HCOOK	KAn		
Система вода – формиат калия – карбонат калия						
0,0	54,4	45,6+0,0	0,0	100,0	1,4200	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
1,6	50,9	46,3+1,2	3,0	97,0	1,4190	то же
4,9	46,6	46,5+2,0	9,5	90,5	1,4185	"-"
11,5	39,5	45,3+3,7	22,5	77,5	1,4160	"-"
34,8	18,7	39,5+7,0	65,0	35,0	1,4125	"-"
54,9	7,1	30,4+7,6	88,5	11,5	1,4135	"-"
71,0	0,7	20,4+7,9	99,0	1,0	1,4230	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + HCOOK
71,7	0,0	28,3+0,0	100,0	0,0	1,4035	HCOOK
Система вода – формиат калия – гидрокарбонат калия						
0,0	27,4	72,6+0,0	0,0	100,0	1,3630	KHCO <sub>3</sub>
7,4	17,5	73,6+1,5	29,8	70,2	1,3630	то же
17,3	8,7	71,8+2,2	66,6	33,4	1,3665	"-"
36,0	6,5	54,1+3,4	84,7	15,3	1,3790	"-"
57,1	4,0	35,4+3,5	93,5	6,5	1,3980	"-"
64,6	3,4	28,4+3,6	95,0	5,0	1,4220	KHCO <sub>3</sub> + HCOOK
67,7	1,2	27,4+3,7	98,3	1,7	1,4140	HCOOK
71,7	0,0	28,3+0,0	100,0	0,0	1,4035	то же
Система вода – формиат калия – сульфат калия						
0,0	10,8	89,2	100,0	0,0	1,3449	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
11,0	5,5	83,5	33,4	66,6	1,3483	то же
15,4	3,5	81,1	18,5	81,5	1,3500	"-"
11,5	1,2	87,3	9,5	90,5	1,3485	"-"
40,0	0,1	59,9	0,3	99,8	1,3730	"-"
71,6	0,1	28,3	0,1	99,9	1,4034	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + HCOOK
71,7	0,0	28,3	0,0	100,0	1,4035	HCOOK

В отличие от формиата калия растворимость формиата кальция составляет 14,0 мас. %, поэтому размер области кристаллизации формиата кальция на диаграммах растворимости (рис. 1а, 2) практически одинаков.

Наибольшая разница в растворимости у формиата и сульфата калия, поэтому большую часть диаграммы растворимости занимает поле кристаллизации сульфата (рис. 3в).

Изучение растворимости в тройных системах, содержащих формиаты калия и кальция, а также карбонат, гидрокарбонат, сульфат калия, хлорид и нитрат кальция, и формиат натрия позволило установить состав кристаллизующих твердых фаз при 25°C. Отсутствие твердых растворов и двойных солей между одной из перерабатываемых солей – формиатом натрия и продуктами реакции – формиатами калия и кальция должно положительно сказаться на процессе кристаллизации солей, чистоте целевых продуктов, а также снизить расход сырьевых компонентов.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что формиат кальция будет кристаллизоваться на первой стадии процесса получения солей, а маточный раствор будет содержать хлорид или нитрат натрия. В системах с формиатом калия на первой стадии будет кристаллизоваться соль натрия. Формиат калия в силу его высокой растворимости останется в маточном растворе, из которого его можно будет выделить путем изотермической или политермической кристаллизации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (задания 4.5947.2017/6.7 и 5.6881.2017/8.9).*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комплексная добавка в бетонные смеси и строительные растворы: патент 2389702 Российская Федерация / Коваленко С.В., Валетдинов Р.Ф., Елин О.Л. и др.; заявитель и патентообладатель Коваленко С.В. – № 2008144208/03; заявл. 05.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. № 14. – 7 с.
2. Ингибитор коррозии арматуры: патент 2527467 Российская Федерация / Вовк А.И., Ковалев А.Ф., Шамсутдинов И.З.; заявитель и патентообладатель ОАО «Полипласт». – заявл. 13.12.2012; опубл. 27.08.2014, Бюл. № 26. – 6 с.
3. Состав для предотвращения наледи на дорогах: патент 2127293 Российская Федерация / Дубиновский М.З., Войтович В.А., Мухина Е.В. и др; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью "Ассоциация Легхим" – № 98101338/04; заявл. 20.01.1998; опубл. 10.03.1999., Бюл. 25. – 5 с.
4. Данилов В.П., Фролова Е.А., Кондаков Д.Ф., Авдюшкина Л.И., Быков А.В., Орлова В.Т. Низкотемпературные противогололедные композиции в



водно-солевых системах, включающих ацетаты и формиаты // Химическая технология. 2011. Т. 12, № 3. С. 134–141.

5. Calcium Formiate Fertiliser: patent 813743 USA / Armbrust R., Baur P.; assignee LANXESS Deutschland GmbH. – № 12/445629, 12.11.2007; publ. 22.05.2008.

6. Способ выработки кожи: патент 2502807 Российская Федерация / Баяндин М.В., Богомолов В.Г., Кленовский Д.В. и др.; заявитель и патентообладатель Министерство промышленности и торговли Российской Федерации – № 2012132204; заявл. 27.07.2012; опубл. 27.12.2013, Бюл. № 37. – 9 с.

7. Пищевые добавки: Энциклопедия. СПб.: ГИОРД, 2004. 808 с.

8. Calcium Formate for Use as a Dietary Supplement: patent 2014/0155360 USA / DeLuca H.F.; Assignee Wisconsin Alumni Research Foundation. – № 14/172423, 14.02.2014, publ. 05.06.2014

9. Preservation of Wood with Potassium Formate or Calcium Formate: patent 1404497 EP / Aitta E., Seppi P.; assignee Berggren Oy Ab. – № 20011298, 19.06.2001; publ. 01.10.2007.

10. Method for preparing calcium formate from carbon monoxide and calcium hydroxide: patent 101880223 CN / Xufeng Yu., Jingyu Ch.; assignee Puyang Yintai New Building Materials Co., Ltd. – № 201010212519, 29.06.2009; publ. 10.11.2010.

11. Preparation of alkali metal formates in alcoholic medium: patent 3262973 USA / Swakon E.A.; assignee Standard Oil Co. – № 325172, 20.11.1963; publ. 26.07.1966.

12. P. Patnaik Handbook of Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, 2002. 1125 p.

13. Production of potassium formate: patent 6849764 USA / Gurkaynak M.A., Uzun I.; assignee MKS-Marmara Entegre Kimya Sanayi AS. – № 10/331426, 30.12.2002; publ. 1.02.2005

14. Способ получения формиата кальция: патент 2057113 Российская Федерация / Кабакова З.И., Агаркина Е.Н., Кранк Е.И. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «Химпласт». – № 92002613/04; заявл. 29.10.1992; опубл. 27.03.1996.

15. Verlow, E., Barth R.H., Snow J.E. The pentaerythritols. N.Y.: Reinhold Publ. Corp., 1958. 387 p.

16. Кудряшова О.С., Матвеева К.Р., Бабченко Н.А., Глушанкова И.С. Растворимость в системе  $K_2SO_4 + HCOONa \rightleftharpoons HCOOK + Na_2SO_4 - H_2O$  // Башкирский химический журнал. 2012. Т. 19, № 3. С. 29–31.

17. Горденчук А.Д., Кудряшова О.С. Растворимость в системе  $2HCOONa + CaCl_2 \rightleftharpoons (HCOO)_2Ca + 2NaCl - H_2O$  // Журнал неорганической химии. 2017. Т. 62, № 8. С. 1102–1106.

18. Горденчук А.Д., Елохов А.М., Кудряшова О.С. Влияние ряда параметров на процесс кристаллизации формиата кальция // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 22. С. 9–12.

19. Method for preparing pentaerythritol and coproducing calcium formate and sodium chloride: patent 102115413A CN / Jiaying W.; assignee Jinqiang W. – № 201010611374, 29.12.2010, publ. 06.07.2011.

20. Викторов М.М. Графические расчеты в технологии минеральных веществ. Л.: Химия, 1972. 464 с.

21. Кудряшова О.С., Елохов А.М., Горденчук А.Д., Лукманова Л.М. Растворимость в трехкомпонентных системах  $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$  // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т.8, № 2. С. 112–121.

22. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1969. 240 с.

23. Журавлев Е.Ф., Шевелева А.Д. Изучение растворимости в водно-солевых системах графоаналитическим методом сечений // Журнал неорганической химии. 1960. Т. 5, № 11. С. 2630–2638.

## SOLUBILITY IN THE TERNARY WATER-SALT SYSTEMS CONTAINING POTASSIUM AND CALCIUM FORMATES AT 25°C

O.S. Kudryashova<sup>1,2</sup>, A.M. Elokhov<sup>1,3</sup>, A.D. Gordenchuk<sup>1</sup>,  
L.M. Lukmanova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Natural Science, Perm State National Research University, Perm, Russia

<sup>2</sup>Perm Penal Service Institute, Perm, Russia

<sup>3</sup>Perm State University, Perm, Russia

Formates of alkali and alkaline earth metals are widely used in various industries. Sodium formate solutions receive for example as minor products in pentaerythritol or chloroform manufacturing. However, that products usually find demand on the market only during winter time. Therefore processing of these solutions into products which find a ready market (for example potassium and calcium formates) is in great interest. Conversion methods are the most advanced in the production of water-soluble salts from the technological point of view. The temperature and concentration parameters of the processes are established on the basis of a physico and chemical analysis of polycomponent water-salt systems.

The solubility in the ternary water-salt systems, containing potassium and calcium formates, was first studied at 25°C in the development of conversion methods of potassium and calcium formates production.

**Key words:** *potassium and calcium formates, water-salt system, salts conversion.*

Об авторах:

КУДРЯШОВА ОЛЬГА СТАНИСЛАВОВНА, д.х.н., профессор, главный научный сотрудник, лаборатория гетерогенных равновесий, Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, [oskudr@psu.ru](mailto:oskudr@psu.ru)

ЕЛОХОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ, к.х.н., старший преподаватель кафедры неорганической химии, химической технологии и техноферной безопасности Пермский государственный национальный исследовательский университет, [elhalex@yandex.ru](mailto:elhalex@yandex.ru)

ГОРДЕНЧУК АНАСТАСИЯ ДМИТРИЕВНА, соискатель кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет, anastasia.gordenchuck@yandex.ru.

ЛУКМАНОВА ЛИЛИЯ МИДЫХАТОВНА, студент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет, lukmanova-1995@mail.ru

Поступила в редакцию 11 июля 2018 года