

УДК 544.344.3

DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-112-121

**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

### РАСТВОРИМОСТЬ В ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ СИСТЕМАХ $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$

*Растворы формиата натрия, образующиеся в качестве побочных продуктов при производстве пентаэритрита или хлороформа, находят спрос, как правило, только в зимнее время. Представляет интерес переработка этих растворов в формиаты щелочных и щелочноземельных металлов, которые пользуются повышенным спросом. При разработке конверсионных способов получения формиатов щелочных и щелочноземельных металлов из формиата натрия впервые изучена растворимость в трехкомпонентных водно-солевых системах  $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$  при  $25^\circ\text{C}$ , где  $\text{An}^-$  – карбонат, гидрокарбонат, сульфат, хлорид и нитрат.*

**Ключевые слова:** формиат натрия; водно-солевая система; конверсия солей

**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>Natural Science Institute of, Perm State University, Perm, Russia

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

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

### SOLUBILITY IN THE TERNARY $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$ SYSTEMS

*Sodium formate solutions, received as minor products in pentaerythritol or chloroform manufacturing, find demand only during winter time. Processing of these solutions into alkali and alkaline-earth metals formates which find a ready market is in great interest. The solubility in the ternary water-salt  $\text{HCOONa}-\text{NaAn}-\text{H}_2\text{O}$  systems, where  $\text{An}^-$  – carbonate, hydrocarbonate, sulfate, chloride and nitrate, was first studied at  $25^\circ\text{C}$  in the development of conversion methods of alkali and alkaline-earth metal formates production.*

**Keywords:** sodium formate; water-salt system; salts conversion

Формиат натрия широко применяется в различных отраслях промышленности. В строительстве в качестве противоморозной и ингибирующей добавки в бетонных и железобетонных изделиях [1], как противогололедный реагент [2] или добавка (1–2%) в производстве отделочных материалов, применяемых для выравнивания фасадов и поверхностей внутри помещений [3], катализатор при получении полиамидных пен, которые находят свое применение в производстве тепло- и звукоизоляционных материалов, характеризующихся повышенными прочностными и теплостойкими характеристиками [4]; в кожевенной промышленности в преддубильных операциях [5]. Вгазонефтедобывающей промышленностиегоиспользуют в качестве основы (90–95 мас.%) жидкости глушения для заканчивания скважин. Эта основа обеспечивает большую плотность, низкую фильтрацию, дает возможность сохранять естественную проницаемость пласта и экономить транспортные расходы [6]. Соль входит в состав буровых растворов для наклонно-направленных скважин [7–12]. В органическом синтезе формиат натрия применяется в качестве восстановителя [13, 14] и как сырье для производства муравьиной кислоты [15]. В мукомольном производстве соль используют в качестве консерванта на поверхности зерна для повышения показателя белизны муки и улучшения хлебопекарных свойств [16]. В ветеринарии он входит в состав антибактериальногопротивовоспалительного препарата, широко используемого для лечения и профилактики энтероколитов у поросят и цыплят-бройлеров [17] и может быть исполь-

зован для борьбы с дерматомикозами животных [18].

Раствор формиата натрия получают в качестве побочного продукта, например при производстве пентаэритрита (ПАО «Метафракс», г. Губаха) или хлороформа (ООО «Завод полимеров Кирово-Чепецкого химического комбината»). Без дополнительной переработки он находит спрос, как правило, только в зимнее время. Получение кристаллического формиата натрия, который пользуется более устойчивым спросом на рынке, значительно удорожает продукт и делает его менее конкурентоспособным. В связи с вышесказанным представляет интерес переработка раствора формиата натрия в другие продукты, которые пользуются постоянным спросом, например в формиаты щелочных и щелочноземельных металлов.

При производстве водорастворимых солей наиболее совершенными с технологической точки зрения являются конверсионные способы [19–21]. Они обеспечивают максимальное использование сырья и тепловой энергии, отсутствие отходов производства при организации замкнутого цикла, получение возможно чистых продуктов.

Процесс кристаллизации солей из водно-солевых систем различной компонентности может быть осуществлен несколькими способами, выбор которых обусловлен физико-химическими особенностями компонентов, входящих в конкретную систему. В производстве применяют следующие методы:

1. Политермическая кристаллизация, использующая различную растворимость солей системы в зависимости от температуры.

2. Изотермическая кристаллизация, связанная с удалением при постоянной температуре растворителя.

3. Процессы высаливания, при которых растворимость соли понижают путем введения в раствор избытка соли с одноименным ионом или вещества, смешивающегося с водой и понижающего растворимость в ней получаемой соли.

4. Перевод растворенной соли в трудно-растворимый комплекс обработкой раствора соответствующими веществами с последующей химической переработкой полученного комплексного соединения.

Создание циклических процессов обменного разложения, как правило, связано с сочетанием хотя бы двух из этих способов. Наибольшее распространение получил процесс, при котором солевой раствор изотермически упаривается для выделения одной из солей при повышенной температуре, а из маточника путем политермической кристаллизации выделяется второй продукт. Сравнительно реже используется в производстве процесс высаливания. Для создания кругового процесса изотермическое или политермическое высаливание комбинируется с кристаллизацией при охлаждении. На стадии высаливания часто необходимо добавление воды, идущей на растворение высаливающей соли, а на второй стадии, наоборот, предварительное удаление избытка растворителя.

Физико-химический анализ устанавливает зависимость свойств химических равновесных систем от состава и условий равновесия (в том числе от концентрации компонентов, составляющих систему, температуры и давле-

ния). Зависимость между составом, свойствами и состоянием системы наглядно выражается графически, путем построения диаграмм состав-свойство. Графические методы физико-химического анализа используют при разработке процессов разделения фаз. Кристаллизация солей из водных растворов является важнейшей операцией многих технологических процессов. Поскольку выделение твердых фаз из раствора часто связано с циклическим процессом, т.е. с возвратом маточных и промежуточных растворов солей в производственный цикл, то возникает необходимость количественного исследования процессов смешения растворов, растворения солей, всаливания и высаливания. Во многих случаях данные о совместной растворимости солей определяют технологический режим и обуславливают последовательность отдельных стадий производства, т.е. позволяют теоретически обосновать технологическую схему производственного процесса.

С целью установления возможности получения формиатов щелочных и щелочноземельных металлов из формиата натрия конверсионным способом изучается растворимость в четырехкомпонентных взаимных водно-солевых системах типа  $MeAn + HCOONa \rightleftharpoons HCOOMe + NaAn$ , оконтуривающими трехкомпонентными системами в которых являются  $HCOONa - NaAn - H_2O$ .

#### Объекты и методы исследования

В работе использованы:

- нитрат, сульфат, карбонат, гидрокарбонат, хлорид и формиат натрия квалификации ч.д.а. и х.ч.;

- дистиллированная вода  $n_D^{25^\circ} = 1,3325$ .

Перечисленные реактивы полностью удовлетворяют условиям проведения эксперимента и точности используемого метода исследования.

Растворимость при 25°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°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. %.

### Результаты и их обсуждение

Изучение растворимости в трехкомпонентных водно-солевых системах  $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$ , где  $\text{An}^-$  – карбонат, гидрокарбонат, сульфат, хлорид и нитрат, при 25°C показало,

что они относятся к эвтоническому типу. На диаграммах растворимости установлены концентрационные границы кристаллизации солей, гомогенной и невариантной области (см. рис. 1–5 и таблицу). При изученной температуре только сульфат и карбонат натрия кристаллизуются в виде кристаллогидратов: декагидрат сульфата натрия, дека- и гептагидраты карбоната натрия. Формиат натрия обладает высаливающим действием практически в отношении всех изученных солей. Очевидно, это связано с разницей в растворимости солей, так как в системе с нитратом натрия, у которого с формиатом натрия близкая растворимость, разница в величине полей кристаллизации небольшая (рис.4.). Наибольшая разница в растворимости у формиата и гидрокарбоната натрия, поэтому большую часть диаграммы растворимости занимает поле кристаллизации гидрокарбоната (рис.3.).

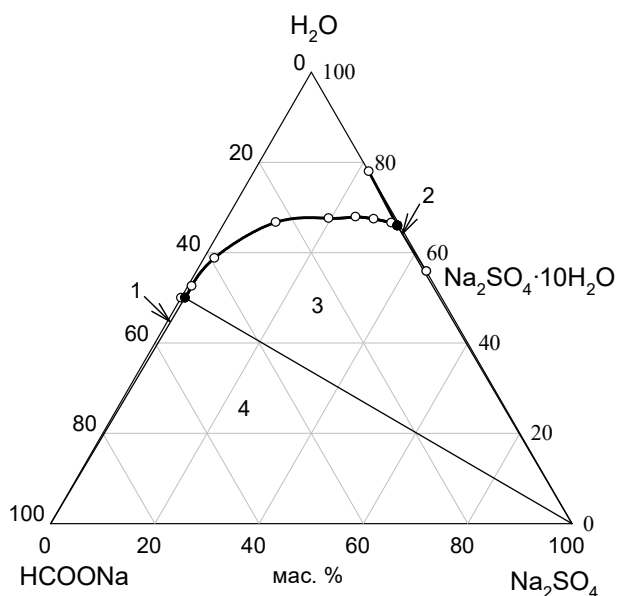


Рис.1. Поля кристаллизации: 1 –  $\text{HCOONa}$ ; 2 –  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 3 –  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 4 –  $\text{HCOONa} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

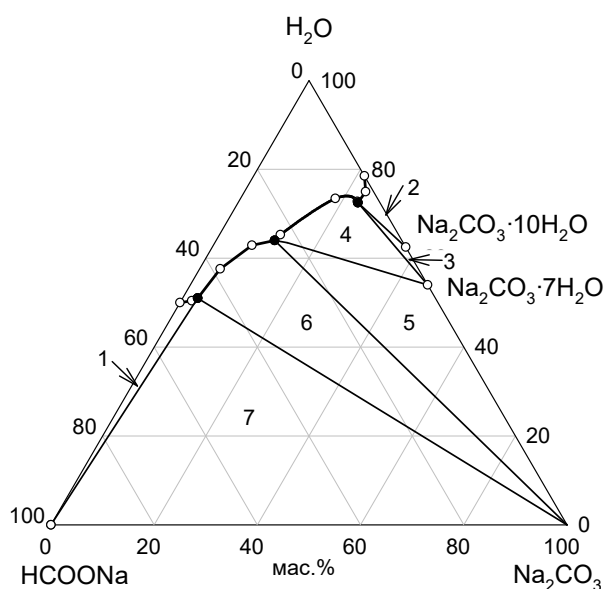


Рис.2. Поля кристаллизации: 1 –  $\text{HCOONa}$ ; 2 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ; 3 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 4 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 5 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 6 –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 7 –  $\text{HCOONa} + \text{Na}_2\text{CO}_3$ .

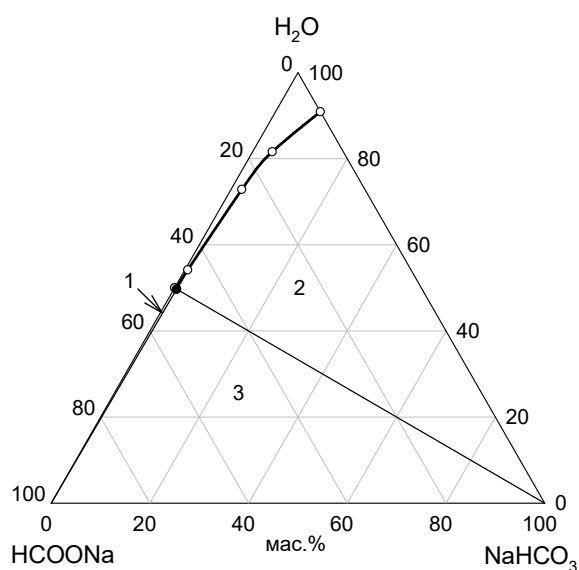


Рис.3. Поля кристаллизации: 1 – HCOONa;  
2 – NaHCO<sub>3</sub>; 3– HCOONa + NaHCO<sub>3</sub>.

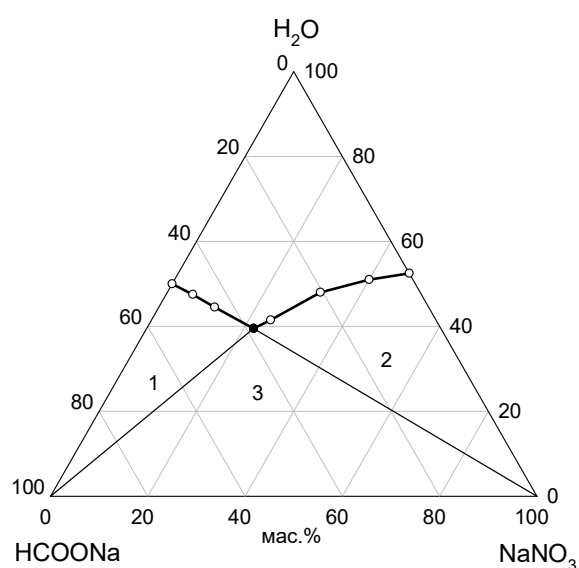


Рис.4. Поля кристаллизации: 1 – HCOONa;  
2 – NaNO<sub>3</sub>; 3 – HCOONa + NaNO<sub>3</sub>.

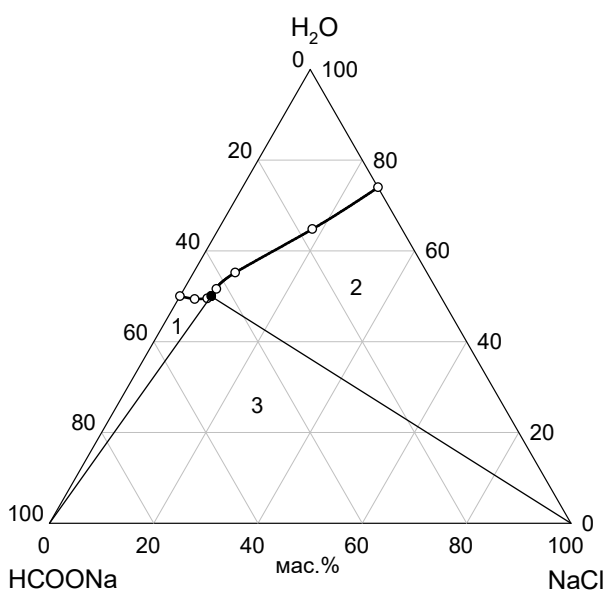


Рис.5. Поля кристаллизации: 1 – HCOONa; 2 – NaCl;  
3 – HCOONa + NaCl.

Таким образом изучение растворимости в тройных системах, содержащих формиат натрия, а также карбонат, гидрокарбонат, сульфат, хлорид и нитрат натрия, позволило установить состав кристаллизующих твердых фаз при 25°C. Отсутствие твердых растворов и двойных солей между одной из перерабатываемых солей – формиатом натрия и продуктом

реакции, на наш взгляд должно положительно сказаться на процессе кристаллизации солей, чистоте продуктов реакции, а также снизить расход сырьевых компонентов.

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

**Состав насыщенных растворов  
в системах NaAn – HCOONa – H<sub>2</sub>O при 25°C**

Состав раствора, мас. %			Солевой состав, мас. %		n <sub>D</sub> <sup>25°</sup>	Равновесная твердая фаза
NaAn	HCOONa	H <sub>2</sub> O	KAn	HCOONa		
Система вода – формиат натрия – сульфат натрия						
22,0	0,0	78,0	100,0	0,0	1,3640	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O
33,5	0,5	66,0	98,5	1,5	1,3810	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ·10H <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
32,0	1,4	66,6	95,9	4,1	1,3805	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
28,2	4,3	67,5	86,7	13,3	1,3785	-"-
24,5	7,6	68,0	76,4	23,6	1,3770	-"-
19,5	12,9	67,6	60,2	39,8	1,3751	-"-
9,8	23,5	66,8	29,5	70,5	1,3745	-"-
2,0	39,2	58,8	4,9	95,2	1,3835	-"-
0,8	46,7	52,6	1,6	98,4	1,3910	-"-
0,8	49,3	50,0	1,5	98,5	1,3890	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + HCOONa
0,0	50,0	50,0	0,0	100,0	1,3884	HCOONa
Система вода – формиат натрия – карбонат натрия						
21,5	0,0	78,5	100,0	0,0	1,3805	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O
23,5	1,5	75,0	94,0	6,0	1,3805	-"-
23,2	4,3	72,5	84,5	15,5	1,3825	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10H <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O
23,0	4,2	72,8	84,4	15,56	1,3820	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O
18,4	8,2	73,4	69,3	30,7	1,3780	-"-
11,8	22,9	65,3	34,0	66,0	1,3835	-"-
11,3	24,7	64,0	31,5	68,5	1,3840	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·7H <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
7,5	29,6	62,9	20,2	79,8	1,3835	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
4,0	38,4	57,6	9,4	90,6	1,3880	-"-
2,9	46,1	51,0	6,0	94,0	1,3955	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + HCOONa
2,1	47,5	50,4	4,2	95,8	1,3950	HCOONa
0,0	50,0	50,0	0,0	100,0	1,3884	-"-
Система вода – формиат натрия – бикарбонат натрия						
9,1	0,0	90,9	100,0	0,0	1,3445	NaHCO <sub>3</sub>
4,0	14,4	81,6	21,7	78,3	1,3550	-"-
2,2	24,9	72,9	8,1	91,9	1,3655	-"-
0,6	45,2	54,2	1,3	98,7	1,3880	-"-
0,6	49,7	49,7	1,1	98,9	1,3890	NaHCO <sub>3</sub> + HCOONa
0,0	50,0	50,0	0,0	100,0	1,3884	HCOONa
Система вода – формиат натрия – нитрат натрия						
52,5	47,5	0,0	52,5	47,5	1,3890	NaNO <sub>3</sub>
51,0	40,0	9,0	56,0	44,0	1,3915	-"-
48,0	31,5	20,5	60,4	39,6	1,3955	-"-
41,5	24,5	34,0	62,9	37,1	1,4035	-"-
39,5	22,0	38,5	64,2	35,8	1,4070	NaNO <sub>3</sub> + HCOONa
44,5	11,5	44,0	79,5	20,5	1,4005	HCOONa
47,5	5,5	47,0	89,6	10,4	1,3970	-"-
50,0	0,0	50,0	100,0	0,0	1,3945	-"-
Система вода – формиат натрия – хлорид натрия						
26,0	0,0	74,0	100,0	0,0	1,3745	NaCl
18,0	17,2	64,8	51,1	48,9	1,3790	то же
8,0	36,8	55,2	17,9	82,1	1,3885	«
6,2	42,2	51,6	12,8	87,2	1,3920	«
6,0	44,0	50,0	12,0	88,0	1,3950	NaCl + HCOONa
5,5	45,0	49,5	10,9	89,1	1,3942	HCOONa
3,2	47,5	49,4	6,2	93,8	1,3920	то же
0,0	50,0	50,0	0,0	100,0	1,3885	«

**Библиографический список**

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. *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.
3. *Способ изготовления отделочных строительных материалов для выравнивания и закрепления бетонных, оштукатуренных, деревянных и других поверхностей*: патент 2307112 Российская Федерация / Кузьмин П.Г., Тиханов А.П., Трубицын М.А. и др.; заявитель и патентообладатель Кузьмин П.Г., Тиханов А.П., Трубицын М.А., Чирков О.В. – № 2005127117/03; заявл. 27.03.2007; опубл. 27.09.2007, Бюл. № 27. – 4 с.
4. *Способ получения полиамидных пен*: патент 2106362 Российская Федерация / Атрощенко А.И., Голубев Н.И., Чистяков В.Н., и др.; заявитель и патентообладатель Атрощенко А.И., Голубев Н.И., Чистяков В.Н. – № 95110162; заявл. 14.06.1995; опубл. 10.03.1998.
5. *Способ выработки кожи*: патент 2502807 Российская Федерация / Баяндин М.В., Богомоллов 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.
6. *Способы или устройства для регулирования потока добываемой жидкости или газа скважинах или к скважинам*: патент 2206722 Российская Федерация / Рябоконт С.А., Бурдило Р.Я., Горлова З.А. и др.; заявитель и патентообладатель ОАО НПО «Бурение» – № 2001124467; заявл. 03.09.2001; опубл. 20.06.2003, Бюл. № 17. – 6 с.
7. *Буровой раствор*: патент 2277569 Российская Федерация / Овчинников В.П., Яковлев И.Г., Фролов А.А. и др.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет – № 2004134762/03; заявл. 29.11.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. № 16. – 4 с.
8. *Солестойкий буровой раствор для вскрытия продуктивных пластов*: патент 2277570 Российская Федерация / Овчинников В.П., Яковлев И.Г., Фролов А.А. и др.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет – № 2004134648/03; заявл. 26.11.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. № 16. – 4 с.
9. *Безглинистый буровой раствор*: патент 2277571 Российская Федерация / Овчинников В.П., Яковлев И.Г., Фролов А.А. и др.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет – № 2004135682/03; заявл. 06.12.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. № 16. – 5 с.
10. *Высокоминерализованный безглинистый буровой раствор*: патент 2277572 Российская Федерация / Овчинников В.П., Яковлев И.Г., Фролов А.А. и др.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет – № 2004135683/03; заявл. 06.12.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. № 16. – 4 с.
11. *Утяжеленный буровой раствор для вскрытия продуктивных пластов*: патент 2291182 Российская Федерация / Яковлев И.Г.; заявитель и патентообладатель Тюменский государственный нефтегазовый университет – № 2005120083/03; заявл. 28.06.2005; опубл. 10.01.2007, Бюл. № 1. – 4 с.
12. *Буровой раствор для наклонно-направленных скважин*: патент 2369625 Российская Федерация / Загидуллина Г.В., Ишбаев Г.Г., Шарафутдинов З.З. и др.; заявитель и патентообладатель ООО НПП Буринтех – № 2007145793/03; заявл. 10.12.2007; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28. – 8 с.
13. *Li J., Li X., Wang L., Hu Q., Sun H. C–Cl bond activation and catalytic hydrodechlorination of hexachlorobenzene by cobalt and nickel complexes with sodium formate as a reducing*

- agent // Dalton Transactions. 2014. V. 43, № 18. P. 6660–6666.
14. Li J., Zheng T., Sun H., Li X. Selectively catalytic hydrodefluorination of perfluoroarenes by  $\text{Co}(\text{PMe}_3)_4$  with sodium formate as reducing agent and mechanism study // Dalton Transactions. 2013. V.42, № 36. P. 13048–13053.
15. Zhao G., Joó F. Free formic acid by hydrogenation of carbon dioxide in sodium formate solutions // Catalysis Communications. 2011, V. 14, № 1. P. 74–76.
16. Способ подготовки зерна пшеницы к помолу и обработки зерна консервантом от картофельной болезни и плесени: патент 2422205 Российская Федерация / Черников Д.Л.; заявитель и патентообладатель ООО «Зеленая линия» – № 2009119419/13; заявл. 25.05.2009; опубл. 27.06.2011.
17. Антибактериальный противовоспалительный препарат: патент 2048807 Российская Федерация / Николаев А.Л., Бабин В.Н., Дубинин А.В. и др.; заявитель и патентообладатель Научно-исследовательская фирма "Ультрасан" – № 93051620; заявл. 10.10.1993; опубл. 27.11.1995.
18. Состав для борьбы с дерматомикозами: патент 2134574 Российская Федерация / Григанова Н.В., Дудницкий И.А., Юрин С.О. и др.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии, Научно-исследовательский институт пушного звероводства и кролиководства – № 98110317; заявл. 29.05.1998; опубл. 20.08.1999.
19. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. Л.: Химия, 1983. 335 с.
20. Викторов М.М. Графические расчеты в технологии минеральных веществ. Л.: Химия, 1972. 464 с.
21. Кудряшова О.С. Круговые изогидрические процессы получения водо-растворимых солей калия. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2013. 120 с.
22. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Изд-во Саратов. 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.

## References

1. Kovalenko, S.V., Valletdinov, R.F., Elin, O.L., et al (2010), *Kompleksnaya dobavka v betonnyye smesi i stroitel'nyye rastvory* [Complex additive in concrete mixes and mortars], Russia, RU, Pat. 2389702.
2. Dubinovskiy, M.Z., Voitovich, V.A., Mukhina, E.V., et al. (1999), *Sostav dly apredotvrashcheniya naledi na dorogakh* [Composition for the prevention of ice on roads], Russia, RU, Pat. 2127293.
3. Kuzmin, P.G., Tikhanov, A.P., Trubitsyn, M.A., et al. (2007), *Sposob izgotovleniy aotdelochnykh stroitel'nykh materialov dlya vyravnivaniya i zakreplenyabetonnykh, osh-tukaturenykh, derevyannykhidrugikhpoverkhnostey* [Method of manufacturing finishing construction materials for leveling and fixing concrete, plaster, wooden and other surfaces], Russia, RU, Pat. 2307112.
4. Atroshchenko, A.I., Golubev, N.I., Chistyakov, V.N., et al. (1998), *Sposob polucheniya poli-amidnykh pen* [Method of polyamide foams preparation], Russia, RU, Pat. 2106362.
5. Bayandin, M.V., Bogomolov, V.G., Klenovskiy, D.V., et al. (2013), *Sposob vyrabotki kozhi* [Method of skin production], Russia, RU, Pat. 2502807.
6. Ryabokon, S.A., Burdilo, R.Ya., Gorlova, Z.A., et al. (2003), *Sposoby ili ustroystva dlya regulirovaniya potoka dobyvayemoy zhidkostiilgazaskvazhinakhili k skvazhinam* [Methods or devices for regulating the flow of produced fluid or gas wells or wells], Russia, RU, Pat. 2206722.
7. Ovchinnikov, V.P., Yakovlev, I.G., Frolov, A.A., et al. (2006), *Burovoy rastvor* [Drilling fluid], Russia, RU, Pat. 2277569.
8. Ovchinnikov, V.P., Yakovlev, I.G., Frolov, A.A. (2006), *Solestoykiy burovoy rastvor dlya vskrytiya produktivnykh plastov* [Salt-resistant drilling fluid for opening reservoirs], Russia, RU, Pat. 2277570.



9. Ovchinnikov, V.P., Yakovlev, I.G., Frolov, A.A., et al. (2006), *Bezglinisty burovoy rastvor* [No-clay drilling fluid], Russia, RU, Pat. 2277571.
10. Ovchinnikov, V.P., Yakovlev, I.G., Frolov, A.A., et al. (2006), *Vysokomineralizovanny bezglinisty burovoy rastvor* [Highly mineralization non-clay drilling fluid], Russia, RU, Pat. 2277572.
11. Yakovlev I.G. (2007), *Utyazhelenny burovoy rastvor dlya vskrytiya produktivnykh plastov* [Weighted drilling fluid for opening productive layers], Russia, RU, Pat. 2291182.
12. Zagidullina, G.V., Ishbaev, G.G., Sharafutdinov, Z.Z., et al. (2009), *Burovoy rastvor dlya naklonno-napravlennykh skvazhin* [Drilling fluid for directional wells], Russia, RU, Pat. 2369625.
13. Li, J., Li X., Wang, L., Hu, Q. and Sun, H. (2014), "C-Cl bond activation and catalytic hydrodechlorination of hexachlorobenzene by cobalt and nickel complexes with sodium formate as a reducing agent", *Dalton Transactions*, vol. 43, no 18, pp. 6660–6666.
14. Li, J., Zheng, T., Sun, H. and Li, X. (2013), "Selectively catalytic hydrodefluorination of perfluoroarenes by Co(PMe<sub>3</sub>)<sub>4</sub> with sodium formate as reducing agent and mechanism study", *Dalton Transactions*, vol. 42, no. 36, pp. 13048–13053.
15. Zhao, G. and Joó, F. (2011), "Free formic acid by hydrogenation of carbon dioxide in sodium formate solutions", *Catalysis Communications*, vol. 14, no. 1, pp. 74–76.
16. Chernikov, D.L. (2011), *Sposob podgotovki zerna pshenitsy k pomolu i obrabotki zerna konservantom ot kartofel'noy bolezni pleseni* [Method of preparing wheat grain for grinding and processing of grain with a preservative from potato disease and mold], Russia, RU, Pat. 2422205.
17. Nikolaev, A.L., Babin, V.N., Dubinin, A.V., et al. (1995), *Antibakterial'nyy protivospalitel'nyy preparat* [Antibacterial anti-inflammatory drug], Russia, RU, Pat. 2048807.
18. Griganova, N.V., Dudnitsky, I.A., Yurin, S.O., et al. (1999) *Sostav dlya bor'by s dermatomikozami* [Composition for control of dermatomycosis], Russia, RU, Pat. 2134574.
19. Pozin, M.E. (1983), *Tekhnologiya mineral'nykh udobreniy* [Technology of mineral fertilizers], Khimiya, Leningrad. (In Russ.).
20. Victorov, M.M. (1972), *Graficheskiye raschety v tekhnologii mineral'nykh veshchestv* [Graphical calculations in the technology of mineral substances], Khimiya, Leningrad. (In Russ.).
21. Kudryashova, O.S. (2016), *Krugovyye izogidricheskiye protsessy polucheniya vodorastvorimykh soley kaliya* [Circular isohydric processes for obtaining water-soluble potassium salts], Perm State University, Perm, Russia. (In Russ.).
22. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969), *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnykh sistem*. [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multi-component systems], Saratov University, Saratov. (In Russ.).
23. Zhuravlev, E.F. and Sheveleva, A.D. (1960), "The study of solubility in water-salt systems using graphoanalytical section method", *Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 5, no. 11, pp. 2630–2638. (In Russ.).

#### Об авторах

Кудряшова Ольга Станиславовна,  
доктор химических наук, профессор,  
главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории гетерогенных равновесий,  
Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета  
614990, г. Пермь, ул. Генкеля, 4.  
oskudr@psu.ru

#### About the authors

Kudryashova Olga Stanislavovna,  
Doctor of Chemistry, Professor,  
Chief researcher, research laboratory of heterogeneous equilibria,  
Natural Science Institute of Perm State University  
614990, 4, Genkel st., Perm, Russia.  
oskudr@psu.ru

Елохов Александр Михайлович,  
кандидат химических наук,  
старший преподаватель, кафедра неорганической химии, химической технологии и техно-  
сферной безопасности,  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный наци-  
ональный исследовательский университет»  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
elhalex@yandex.ru

Elokhov Aleksandr Mikhailovich,  
Candidate of Chemistry,  
senior lecturer, Department of inorganic chemistry,  
chemical technology and technosphere safety,  
Perm State University  
614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia  
elhalex@yandex.ru

Горденчук Анастасия Дмитриевна  
аспирант, химический факультет,  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный наци-  
ональный исследовательский университет»,  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
anastasia.gordenchuck@yandex.ru

Gordenchuk Anastasia Dmitrievna  
postgraduate student, Chemistry faculty,  
Perm State University  
614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia  
anastasia.gordenchuck@yandex.ru

Лукманова Лилия Мидыхатовна  
студент, химический факультет,  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный наци-  
ональный исследовательский университет»,  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15  
lukmanova-1995@mail.ru

Lukmanova Lilia Midihatovna  
Student, Chemistry faculty,  
Perm State University  
614990, 15, Bukirev st., Perm, Russia  
lukmanova-1995@mail.ru

Кудряшова О.С., Елохов А.М., Горденчук А.Д., Лукманова Л.М. Растворимость в трехком-  
понентных системах  $\text{HCOONa} - \text{NaAn} - \text{H}_2\text{O}$  // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2018. Т. 8, вып. 2. С. 112–121. DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-112-121.

Kudriashova O.S., Elokhov A.M., Gordenchuk A.D., Lukmanova L.M. *Rastvorimost' v trekhkomponentnykh sistemakh HCOONa – NaAn – H<sub>2</sub>O* [Solubility in the ternary HCOONa – NaAn – H<sub>2</sub>O systems] // Vestnik Permskogo universiteta. Seriya «Khimiya» = Bulletin of Perm University. Chemistry. 2018. Vol. 8. Issue 2. P. 112–121 (in Russ.). DOI: 10.17072/2223-1838-2018-2-112-121.