

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
НЕОРГАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 541.123.7

ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМЕ $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$
ПРИ 0°C В ОБЛАСТИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НАХКОЛИТА (NaHCO_3)

© 2019 г. И. Низомов¹, Л. Солиев¹, *

¹Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни,
пр-т Рудаки, 121, Душанбе, 733740 Республика Таджикистан

*e-mail: soliev.lutfullo@yandex.com

Поступила в редакцию 25.01.2018 г.

После доработки 26.02.2018 г.

Принята к публикации 12.07.2018 г.

Методом трансляции определены фазовые равновесия на геометрических образах системы $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ при 0°C в области кристаллизации нахколита (NaHCO_3). Установлено, что нахколит участвует в формировании 18 дивариантных полей, 16 моновариантных кривых и 5 нонвариантных точек. Построена замкнутая фазовая диаграмма (фазовый комплекс) исследуемой системы при 0°C в области кристаллизации нахколита.

Ключевые слова: метод трансляции, нахколит, шестикомпонентная система, нонвариантные точки

DOI: 10.1134/S0044457X19030140

ВВЕДЕНИЕ

Закономерности фазовых равновесий в системе $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ определяют условия комплексной переработки полиминерального природного и сложного технического сырья, содержащего сульфаты, карбонаты, гидрокарбонаты, фториды натрия-калия. Перечисленные соли являются составными частями жидких отходов промышленного производства алюминия [1–3]. Нахколит является равновесной фазой в 6-и из 14 четырехкомпонентных систем и в 4-х из 6 пятикомпонентных систем, составляющих исследуемую шестикомпонентную систему. Фазовые равновесия в этих четырех- и пятикомпонентных системах исследованы ранее [4–8] методом трансляции.

Метод трансляции [9] вытекает из принципа совместности элементов строения n - и $(n + 1)$ -компонентных систем в одной диаграмме [10] и признан специалистами [11] как один из универсальных методов исследования многокомпонентных систем. Ранее методом трансляции было исследовано участие другой равновесной фазы шестикомпонентной системы $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ – троны ($\text{NaHCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в формировании ее геометрических образов [12].

Для прогнозирования участия нахколита в формировании геометрических образов шести-

компонентной системы $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ при 0°C использованы данные о фазовом составе нонвариантных точек пятикомпонентных систем с участием нахколита, взятые из работ [5–8] и представленные в табл. 1.

В табл. 1 и далее Е обозначает нонвариантную точку, верхний индекс указывает на кратность точки (компонентность системы), нижний – на ее порядковый номер. Приняты следующие обозначения равновесных твердых фаз: **C** × **10** – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, **Q** – $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, **Гз** – глазерит $3\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$, **Во** – вильомит NaF , **Мб** – мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, **Кб** – кароббиит KF , **Нх** – нахколит NaHCO_3 , **S** – $2\text{KHCO}_3 \cdot \text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ и **Кц** – калицинит KHCO_3 .

Поскольку с увеличением числа компонентов строение диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных систем становится затруднительным для чтения, что связано с увеличением числа геометрических образов, рекомендуется использовать принцип фрагментации диаграмм исследуемой системы [13, 14]. На рис. 1 представлен фрагмент схематической диаграммы фазовых равновесий системы $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ при 0°C на уровне пятикомпонентного состава в области кристаллизации нахколита, построенной по данным табл. 1, где отражено взаимное расположение геометрических образов исследуемой

системы при 0°C в области кристаллизации нахколита. Фазовый состав осадков пятерных неинвариантных точек приведен в табл. 1. Фазовый состав осадков дивариантных полей указан на

рис. 1. Моновариантные кривые, проходящие между пятерными неинвариантными точками, характеризуются следующим фазовым составом осадков:

E_1^5 ————— $E_5^5 = \text{Hx} + \text{Гз} + \text{C} \times 10$;	E_{13}^5 ————— $E_{16}^5 = \text{Bo} + \text{Hx} + \text{Q}$;
E_1^5 ————— $E_{18}^5 = \text{Мб} + \text{Hx} + \text{Гз}$;	E_{13}^5 ————— $E_{22}^5 = \text{Bo} + \text{C} \times 10 + \text{Hx}$;
E_1^5 ————— $E_{22}^5 = \text{Мб} + \text{Hx} + \text{C} \times 10$;	E_{15}^5 ————— $E_{17}^5 = \text{Hx} + \text{S} + \text{Кб}$;
E_4^5 ————— $E_7^5 = \text{Гз} + \text{Hx} + \text{S}$;	E_{15}^5 ————— $E_{20}^5 = \text{Кб} + \text{Hx} + \text{Кц}$;
E_4^5 ————— $E_{15}^5 = \text{Hx} + \text{Кц} + \text{S}$;	E_{16}^5 ————— $E_{17}^5 = \text{Hx} + \text{Q} + \text{Кб}$;
E_4^5 ————— $E_{20}^5 = \text{Гз} + \text{Кц} + \text{Hx}$;	E_{16}^5 ————— $E_{21}^5 = \text{Hx} + \text{Bo} + \text{Кб}$;
E_5^5 ————— $E_{13}^5 = \text{Q} + \text{C} \times 10 + \text{Hx}$;	E_{18}^5 ————— $E_{21}^5 = \text{Hx} + \text{Bo} + \text{Гз}$;
E_5^5 ————— $E_7^5 = \text{Hx} + \text{Гз} + \text{Q}$;	E_{18}^5 ————— $E_{22}^5 = \text{Hx} + \text{Bo} + \text{Мб}$;
E_7^5 ————— $E_{17}^5 = \text{Hx} + \text{S} + \text{Q}$;	E_{20}^5 ————— $E_{21}^5 = \text{Hx} + \text{Гз} + \text{Кб}$.

Трансляция пятерных неинвариантных точек на уровень шестикомпонентного состава приводит к образованию шестерных неинвариантных

точек с характерными для них равновесными твердыми фазами:

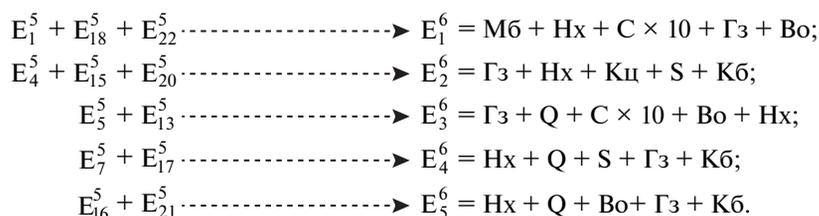


Таблица 1. Фазовый состав осадков в неинвариантных точках системы $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$ при 0°C в области кристаллизации нахколита на уровне пятикомпонентного состава

Неинвариантная точка	Фазовый состав осадков	Неинвариантная точка	Фазовый состав осадков
Система $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{CO}_3, \text{HCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$		Система $\text{Na, K} \parallel \text{SO}_4, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$	
E_1^5	$\text{Мб} + \text{Hx} + \text{C} \times 10 + \text{Гз}$	E_{18}^5	$\text{Bo} + \text{Гз} + \text{Мб} + \text{Hx}$
E_4^5	$\text{Гз} + \text{Hx} + \text{Кц} + \text{S}$	E_{20}^5	$\text{Гз} + \text{Кб} + \text{Кц} + \text{Hx}$
E_5^5	$\text{Гз} + \text{Q} + \text{C} \times 10 + \text{Hx}$	E_{21}^5	$\text{Bo} + \text{Гз} + \text{Кб} + \text{Hx}$
E_7^5	$\text{Гз} + \text{S} + \text{Q} + \text{Hx}$	Система $\text{Na}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{NaHCO}_3 - \text{NaF} - \text{H}_2\text{O}$	
Система $\text{Na, K} \parallel \text{CO}_3, \text{HCO}_3, \text{F} - \text{H}_2\text{O}$		E_{22}^5	$\text{Bo} + \text{Мб} + \text{Hx} + \text{C} \times 10$
E_{13}^5	$\text{C} \times 10 + \text{Bo} + \text{Hx} + \text{Q}$		
E_{15}^5	$\text{S} + \text{Кб} + \text{Кц} + \text{Hx}$		
E_{16}^5	$\text{Q} + \text{Bo} + \text{Кб} + \text{Hx}$		
E_{17}^5	$\text{Q} + \text{S} + \text{Bo} + \text{Кб} + \text{Hx}$		

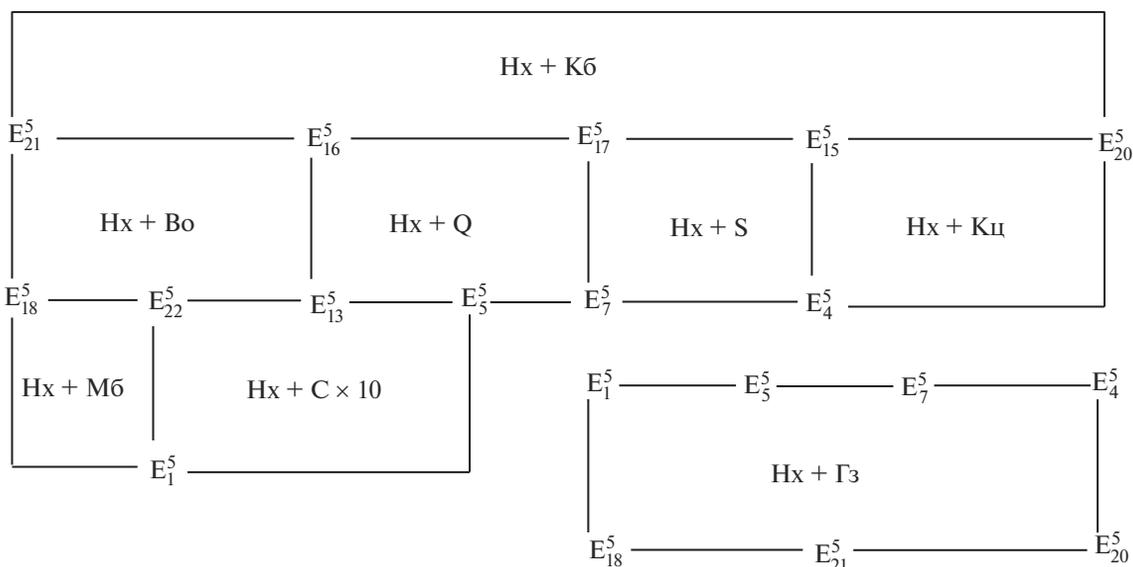


Рис. 1. Фрагмент схематической диаграммы фазовых равновесий системы $\text{Na,K||SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F-H}_2\text{O}$ при 0°C на уровне пятикомпонентного состава в области кристаллизации нахколита.

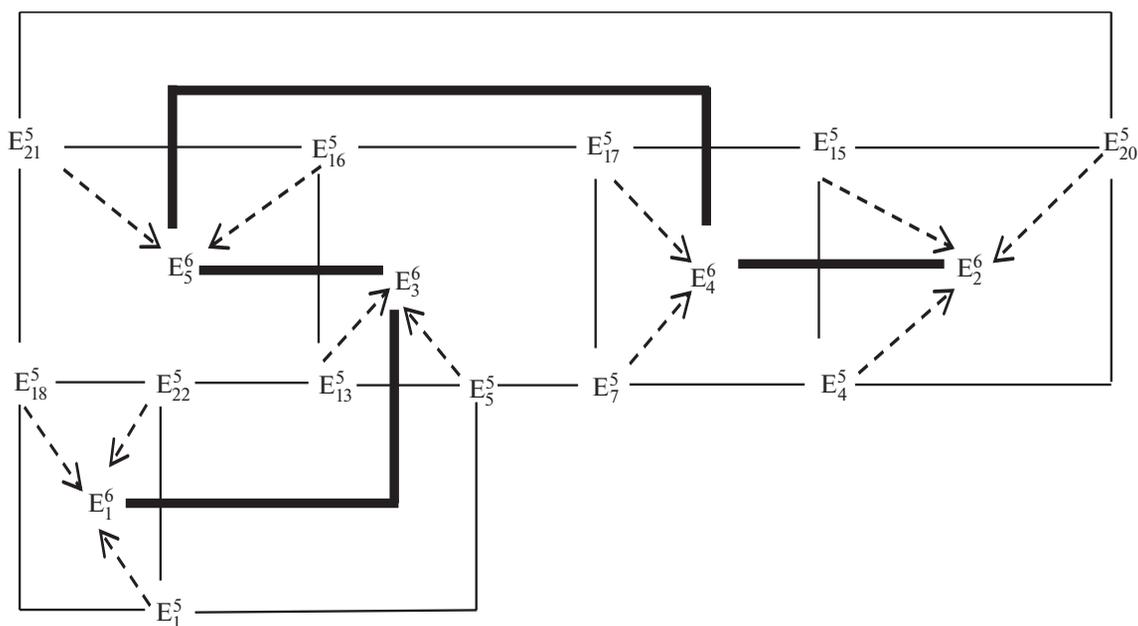


Рис. 2. Фрагмент схематической совмещенной диаграммы фазовых равновесий системы $\text{Na,K||SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F-H}_2\text{O}$ при 0°C на уровнях пяти- и шестикомпонентного составов в области кристаллизации нахколита.

Видно, что все 5 невариантных точек образованы в результате “сквозной” трансляции [9]. На рис. 2 представлен фрагмент схематической диаграммы [14] системы $\text{Na,K||SO}_4,\text{CO}_3,\text{HCO}_3,\text{F-H}_2\text{O}$ при 0°C в области кристаллизации нахколита на уровне шестикомпонентного состава. На основе полученных данных построена совмещенная диаграмма фазовых равновесий исследованной

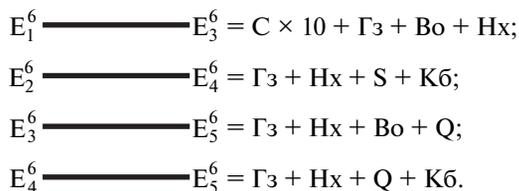
системы на уровнях пяти- и шестикомпонентного составов.

На рис. 2 тонкие сплошные линии являются моновариантными кривыми уровня пятикомпонентного состава, а полужирные сплошные линии – уровня шестикомпонентного состава и соединяют соответственно пятерные и шестерные невариантные точки. Фазовый состав осадков, со-

Таблица 2. Равновесные твердые фазы и контуры дивариантных полей системы Na,K||SO₄,CO₃,HCO₃,F–H₂O при 0°C в области кристаллизации нахколита

Равновесные твердые фазы полей	Контуры полей на диаграмме (рис. 2)	Равновесные твердые фазы полей	Контуры полей на диаграмме (рис. 2)
Hx + C × 10 + Гз		Hx + Q + Во	
Hx + Гз + Мб		Hx + Во + C × 10	
Hx + C × 10 + Мб		Hx + S + Кб	
Hx + Гз + S		Hx + Кб + Кц	
Hx + S + Кц		Hx + Q + Кб	
Hx + Кц + Гз		Hx + Во + Кб	
Hx + C × 10 + Q		Hx + Во + Гз	
Hx + Q + Гз		Hx + Во + Мб	
Hx + Q + S		Hx + Гз + Кб	

ответствующих моновариантным кривым, проходящим между пятерными точками, приведен выше. Ниже представлен фазовый состав осадков, отвечающих моновариантным кривым, проходящим между шестерными точками:



Пунктирные линии также являются моновариантными кривыми уровня шестикомпонентного состава. Они образованы в результате трансляции пятерных точек на уровень шестикомпонентного состава, где направления трансляции указаны стрелками. Фазовый состав осадков, отвечающих этим моновариантным кривым, идентичен фазовому составу осадков в соответствующих транслированных пятерных точках.

В табл. 2 представлены равновесные твердые фазы и контуры дивариантных полей системы Na,K||SO₄,CO₃,HCO₃,F–H₂O при 0°С в области кристаллизации нахколита.

Анализ строения фрагмента диаграммы фазовых равновесий исследованной системы при 0°С на уровне пяти- (А) и шестикомпонентного (Б) составов показывает на участие нахколита в формировании следующего количества геометрических образов:

Уровень компонентности	А	Б
Нонвариантные точки	12	5
Моновариантные кривые	18	16
Дивариантные поля	8	18

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозова В.А., Ржещицкий Э.П. // Журн. прикл. химии. 1976. Т. 49. № 5. С. 1152.
2. Морозова В.А., Ржещицкий Э.П. // Журн. неорганической химии. 1977. Т. 22. № 3. С. 873.
3. Азизов Б.С., Сафиев Х.С., Рузиев Дж.Р. Комплексная переработка отходов производства алюминия. Душанбе: Эр-граф, 2005. 149 с.
4. Солиев Л., Авлоев Ш., Турсунбадалов Ш. и др. // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. 2008. Т. 31. № 3. С. 49.
5. Soliev L., Tursunbadalov Sh. // Russ. J. Inorg. Chem. 2010. V. 55. № 8. P. 1295. [Солиев Л., Турсунбадалов Ш. // Журн. неорганической химии. 2010. Т. 55. № 8. С. 1373.]
6. Soliev L., Nizomov I. // Russ. J. Inorg. Chem. 2011. V. 56. № 2. P. 293. [Солиев Л., Низомов И. // Журн. неорганической химии. 2011. Т. 56. № 2. С. 331.]
7. Soliev L., Musojonova Dzh. // Russ. J. Inorg. Chem. 2011. V. 56. № 7. P. 1123. [Солиев Л., Мусоджонова Дж. // Журн. неорганической химии. 2011. Т. 56. № 7. С. 1188.]
8. Солиев Л., Рузиев Дж., Холмуродов С. // Докл. АН Республики Таджикистан. 2008. Т. 51. № 6. С. 447.
9. Солиев Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. М., 1987. 28 с. Деп. ВИНТИ СССР 20.12.87 г. №8950-В 87.
10. Горощенко Я.Г. Массцентрический метод изображения многокомпонентных систем. Киев: Наук. думка, 1982. 264 с.
11. Горощенко Я.Г., Солиев Л. // Журн. неорганической химии. 1987. Т. 32. № 7. С. 1676.
12. Soliev L., Avloev Sh., Nuri V. // Russ. J. Inorg. Chem. 2013. V. 58. № 2. P. 224. [Солиев Л., Авлоев Ш.Х., Нури В. // Журн. неорганической химии. 2013. Т. 58. № 2. С. 262.]
13. Солиев Л. // Журн. неорганической химии. 1988. Т. 33. № 5. С. 1305.
14. Солиев Л. Прогнозирование строения диаграмм фазовых равновесий многокомпонентных водно-солевых систем методом трансляции. Кн. 2. Душанбе: Шульбойён, 2011. 147 с.