



Исходя из экспериментальных исследований стабильного тетраэдра $\text{KBr-LiBr-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$, а также секущих треугольников $\text{KBr-LiKMoO}_4\text{-LiKWO}_4$ и $\text{KBr-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$ четырехкомпонентной взаимной системы $\text{Li, K||Br, MoO}_4, \text{WO}_4$ можно сделать вывод, что точки невариантных равновесий в исследуемой системе отсутствуют. Линии моновариантных равновесий соединяют трехкомпонентные эвтектики $\text{E}_1\text{E}_4, \text{E}_2\text{E}_6, \text{E}_3\text{E}_4$, а также двухкомпонентные эвтектики $\text{e}_{10}\text{e}_{12}, \text{e}_{11}\text{e}_{13}$, лежащие на сторонах секущих треугольников системы. Остов составов представлен следующими объемами кристаллизации: $\text{LiBr, KBr, Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{LiKMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{K}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$.

Результаты и их обсуждение

Экспериментально исследована четырехкомпонентная взаимная система $\text{Li, K||Br, MoO}_4, \text{WO}_4$, в которой устойчивые твердые растворы $\text{LiKMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{K}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ не распадаются внутри нее и остов составов представлен пятью объемами кристаллизации: $\text{LiBr, KBr, Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{LiKMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{K}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$. Древо фаз представлено тремя симплексами: тетраэдром $\text{LiBr-KBr-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4$ и пятивершинниками $\text{KBr-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4\text{-LiKMoO}_4\text{-LiKWO}_4, \text{KBr-LiKMoO}_4\text{-LiKWO}_4\text{-K}_2\text{MoO}_4\text{-K}_2\text{WO}_4$, которые соединены между собой стабильными треугольниками $\text{KBr-Li}_2\text{MoO}_4\text{-Li}_2\text{WO}_4, \text{KBr-LiKMoO}_4\text{-LiKWO}_4$. Точки невариантных равновесий в системе отсутствуют.

Выводы. Исследуемая четырехкомпонентная взаимная система является системой с образованием непрерывных рядов твердых растворов $\text{LiKMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{K}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$. Остов составов системы представлен объемами кристаллизации бромида лития, бромида калия и

твердых растворов $\text{LiKMo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4, \text{Li}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$ и $\text{K}_2\text{Mo}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_4$. В системе не образуется точек невариантных равновесий.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

Список литературы

1. Термические константы веществ. Вып. X, ч. I. Таблицы принятых значений / под ред. В. П. Глушко. М. : ИВТ АН СССР, 1981.
2. Термические константы веществ. Вып. X, ч. II. Таблицы принятых значений / под ред. В. П. Глушко. М. : ИВТ АН СССР, 1981.
3. Арабаджан А. С., Бергман А. Г. Диаграмма плавкости тройной системы из бромидов лития, натрия, калия // Журн. неорг. химии. 1963. Т. VIII, вып. 3. С. 720.
4. Беляев И. Н. Диаграммы состояния систем с участием молибдатов и вольфраматов щелочных металлов и свинца // Журн. неорг. химии. 1961. Т. VI, вып. 5. С. 1178–1188.
5. Посьпайко В. И., Алексеева Е. А., Васина Н. А. Диаграммы плавкости солевых систем : в 3 ч. Ч. III. Двойные системы с общим катионом : справочник / М. : Металлургия, 1979. С. 78.
6. Егорцев Г. Е., Гаркушин И. К., Истомова М. А. Фазовые равновесия и химическое взаимодействие в системах с участием фторидов и бромидов щелочных металлов. Екатеринбург : УрОРАН, 2008. 132 с.
7. Оре О. Теория графов. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. 336 с.
8. Егунев В. П. Введение в термический анализ. Самара : ПО «СамВен», 1996. 270 с.
9. Гаркушин И. К., Радзиховская М. А., Данилушкина Е. Г. Исследование трехкомпонентной взаимной системы $\text{Li}_2\text{WO}_4\text{-Li}_2\text{MoO}_4\text{-K}_2\text{WO}_4\text{-K}_2\text{MoO}_4$ // Международный год химии : молодежная конф. М. ; Казань : Министерство образ. и науки РФ, Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 1996. С. 109.

УДК [544.344.016+536.44]:[544.344.013-16-14+544.344.3]

ДИАГРАММА РАСТВОРИМОСТИ ТРОЙНОЙ СИСТЕМЫ НИТРАТ КАЛИЯ–ВОДА–*n*-БУТОКСИЭТАНОЛ ПРИ 25.0 °С

М. П. Смотров, И. С. Жаркова, Д. Г. Черкасов

Саратовский государственный университет
E-mail: cherkasovdg@info.sgu.ru

Методом сечений Мерцлина при 25.0 °С изучена диаграмма растворимости тройной системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксизэтанол. Установлено, что она относится к диаграммам тройных систем с высаливанием. Экспериментально и графически определен состав критической точки растворимости области расслоения. На полях моновариантных состояний построены

13 нод, определены составы равновесных жидких фаз и рассчитан коэффициент распределения *n*-бутоксизэтанола между жидкими фазами монотектического состояния. По топологическим признакам установлено, что в данной тройной системе преобладающей является двойная система нитрат калия–вода. Показано, что нитрат калия можно использовать в качестве выса-





ливателя *n*-бутоксиэтанола из его водных растворов при 25.0 °С.
Ключевые слова: фазовые равновесия, критические явления, тройная система, фазовая диаграмма, *n*-бутоксиэтанол, нитрат калия, метод сечений Мерцлина, монотектика, критическая точка растворимости, высаливание.

Solubility Diagram of the Ternary System *Potassium Nitrate–Water–n-Butoxyethanol* at 25.0 °C

M. P. Smotrov, I. S. Zharkova, D. G. Cherkasov

The solubility diagram of the ternary system *potassium nitrate–water–n-butoxyethanol* was studied by Mertslin's isothermal section method at 25.0 °C. It is established that diagram of this system belongs to the diagrams of ternary systems with salting-out. The composition of the solubility critical point on the field of two liquid phases was determined experimentally and graphically. Thirteen nodes were plotted on fields of monovariant state, the compositions of equilibrium liquid phases were determined and the distribution coefficient of butoxyethanol between the liquid phases of monotectic state was calculated. According to the topological characteristics it is established that binary system *potassium nitrate–water* is prevailing in the ternary system. It is shown that potassium nitrate can be used as salting-out agent of *n*-butoxyethanol from aqueous solutions at 25.0°C.

Key words: phase equilibria, critical phenomena, ternary system, phase diagram, *n*-butoxyethanol, potassium nitrate, Mertslin's isothermal section method, monotectic, solubility critical point, salting-out.

Фазовые равновесия и критические явления в тройной системе *нитрат калия–вода–n-бутоксиэтанол* ранее были изучены визуально-политермическим методом в интервале 10–150 °С [1]. В этой работе была определена температура образования критической ноды монотектического равновесия (18.3 °С) и составы растворов, соответствующие критическим точкам растворимости при различных температурах. Для данной системы были построены девять изотерм растворимости. Рассчитаны коэффициенты распределения *n*-бутоксиэтанола между водной и органической фазами монотектического состояния при разных температурах. Показано, что эффект высаливания *n*-бутоксиэтанола из водных растворов нитратом калия увеличивается с повышением температуры.

Целью настоящей работы является получение детальной информации о диаграмме растворимости тройной системы *нитрат калия–вода–n-бутоксиэтанол* при 25.0 °С: построение совокупности нод на поле расслоения и на полях насыщенных растворов, определение состава критического раствора, уточнение границ всех полей фазовых состояний.

Экспериментальная часть

Бидистиллированную воду ($n_D^{20} = 1.3330$) получали на аппарате DEM-20 «MERA-POLNA». Препарат технического *n*-бутоксиэтанола очи-

щали как описано в [1]. Физические константы очищенного растворителя ($t_{\text{кип}} = 170.1^\circ\text{C}$, $n_D^{20} = 1.4198$, $\rho^{20} = 901.9 \text{ кг/м}^3$) совпали в пределах погрешности измерений со справочными данными [2]. Препарат нитрата калия квалификации «хч» готовили к работе как описано в [3].

Определение растворимости компонентов тройной системы в двухфазном жидком состоянии проводили методом изотермического титрования Банкрофта [4]; относительная погрешность не превышала 0.2%. Для определения составов равновесных жидких, жидкой и твердой фаз, а также концентрационных границ полей фазовых состояний применяли изотермический метод сечений, предложенный Р. В. Мерцлиным [5, 6] и дополненный Н. И. Никурашиной [7]. Методика исследования была следующей. По каждому сечению треугольника состава тройной системы взвешиванием на аналитических весах МЕСНАНИКИ ЗАКТАДЫ PRECYZYJNES с абсолютной точностью $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ г в стеклянных пикнометрах объемом 10 мл готовили достаточное число смесей в различных фазовых состояниях. Смеси выдерживали в ультратермостате Mechanik Medingen U-10 при 25.0 ± 0.1 °С при периодическом перемешивании. По воспроизводимости результатов измерений показателя преломления было выяснено, что равновесие жидких фаз устанавливается через 15–16 ч, а равновесие их с твердой фазой – через 23–24 ч. Показатели преломления жидких фаз измеряли на рефрактометре ИРФ-22 с погрешностью $\pm 1 \cdot 10^{-4}$. Составы смесей, отвечающих точкам фазовых переходов и равновесным фазам, определяли методами графической интерполяции и экстраполяции с относительной погрешностью $\pm 0.5\%$.

Составы равновесных твердых фаз находили графическим путем построения нод по методу сечений на полях насыщенных растворов концентрационного треугольника. Затем твердые фазы идентифицировали методом рентгенофазового анализа (дифрактометр ДРОН-2).

Состав критической точки области расслоения определяли двумя методами: экспериментально методом отношения объемов фаз [8] и графически по правилу прямолинейного диаметра Алексеева [9].

Результаты и их обсуждение

В состав изучаемой тройной системы $\text{KNO}_3\text{–H}_2\text{O–n-C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2$ входят три двойные системы. Диаграмма растворимости системы $\text{KNO}_3\text{–H}_2\text{O}$ характеризуется эвтектическим равновесием при -3.0 °С, твердыми фазами которого являются лед и нитрат калия [10]. Эта соль хорошо растворима



в воде и имеет положительный температурный коэффициент растворимости. Количественных данных по растворимости KNO_3 в *n*-бутоксигэтанол не обнаружено; проведенное нами исследование показало, что нитрат калия практически нерастворим в этом растворителе. Фазовая диаграмма двойной системы вода–*n*-бутоксигэтанол характеризуется замкнутой бинадальной кривой с нижней (47.7°C , 29.49 мас.% $n\text{-C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2$) и верхней (130.3°C , 32.00 мас.% $n\text{-C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2$) критическими точками растворения [11].

В системе нитрат калия–вода–*n*-бутоксигэтанол при 25°C были измерены показатели преломления жидких фаз смесей компонентов по десяти сечениям треугольника состава (рис. 1). Смесей компонентов I–VI сечений характеризовались переменным содержанием нитрата калия и постоянным для каждого сечения соотношением масс *n*-бутоксигэтанол и воды: 19:81(I), 32:68(II), 45:55(III), 69.5:30.5(IV), 77:23(V) и 87:13(VI). Смесей компонентов VII и VIII сечений характеризовались переменным содержанием воды и постоянным соотношением масс нитрата калия и *n*-бутоксигэтанол: 15:85(VII) и 40:60(VIII). Смесей компонентов IX и X сечений характеризовались переменным содержанием *n*-бутоксигэтанол и постоянным соотношением масс соли и воды: 32:68(IX) и 45:55(X).

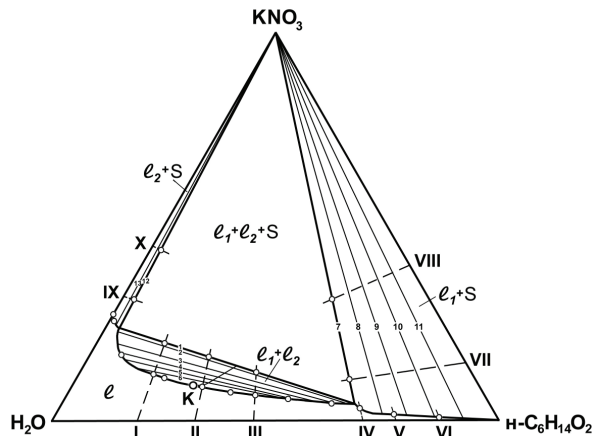


Рис. 1. Диаграмма растворимости тройной системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксигэтанол при 25.0°C

Функциональные кривые I–III сечений, построенные по показателям преломления органических l_1 и водных l_2 фаз смесей компонентов, показаны на рис. 2. Они состоят из нескольких ветвей, относящихся к различным фазовым состояниям системы: гомогенному I, двухфазному жидкому l_1+l_2 и трехфазному монотектическому l_1+l_2+S . Ветвь, отвечающая монотектическому состоянию смесей, представляет собой отрезок прямой, параллельный оси концентраций. Показатели преломления жидких фаз монотектики

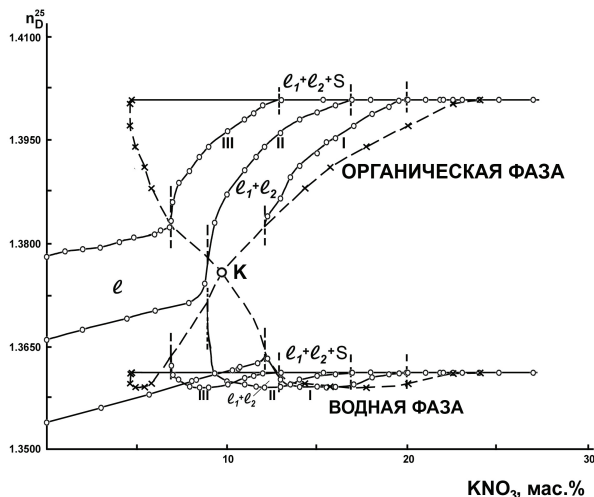


Рис. 2. Функциональные кривые сечений I–III системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксигэтанол при 25.0°C

имели следующие значения: $n_D^{25}(l_2) = 1.3611$, $n_D^{25}(l_1) = 1.4008$. Точки пересечения этих ветвей, полученные методом графической интерполяции, позволили определить концентрационные границы полей расслоения и монотектического состояния (см. рис. 1). Дополнительные точки на бинадальной кривой построены по результатам изотермического титрования нитратом калия водно-органических смесей.

Для построения нод поля расслоения на функциональных кривых органической фазы по сечениям I–III (см. рис. 2) выбрали определенные значения показателей преломления. На концентрационной диаграмме (см. рис. 1) на поле расслоения l_1+l_2 построили 6 нод (1–6), причем нода 1 является предельной стороной монотектического треугольника l_1+l_2+S . Затем графически определили составы равновесных жидких фаз в исследуемой тройной системе при 25.0°C (табл. 1). Определив (см. рис. 1) содержание соли в равновесных жидких фазах, на рис. 2 построили контуры поля расслоения для водной и органической фаз (обозначены пунктиром), которые соприкасаются в критической точке К. Состав критического раствора определили экспериментально по методу отношения объемов жидких фаз (62.62 мас.% H_2O , 27.80 мас.% $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_2$ и 9.58 мас.% KNO_3) и подтвердили графически по правилу прямолинейного диаметра Алексева. Полученный нами результат определения критического состава хорошо согласуется с найденным в [1].

На рис. 3, а представлена кривая соответствия, свидетельствующая об установлении равновесия двух жидких фаз в системе. Она начинается в точке, отвечающей показателям преломления жидких фаз монотектики l_1+l_2+S , и заканчивается в критической точке К при значении $n_D^{25} = 1.3758$. Определенные экспериментально значения

Таблица 1

Составы равновесных жидких фаз тройной системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксизэтанол при 25.0 °С, мас. %

Ноды	Органическая фаза			Водная фаза		
	H ₂ O	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄ O ₂	KNO ₃	H ₂ O	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄ O ₂	KNO ₃
1	30.0	65.3	4.7	73.1	3.0	23.9
2	31.0	64.4	4.6	74.4	3.1	22.5
3	34.5	60.9	4.6	75.6	4.4	20.0
4	37.5	57.6	4.9	76.5	5.6	17.9
5	42.7	51.9	5.4	75.7	8.6	15.7
6	45.1	49.1	5.8	74.9	10.8	14.3

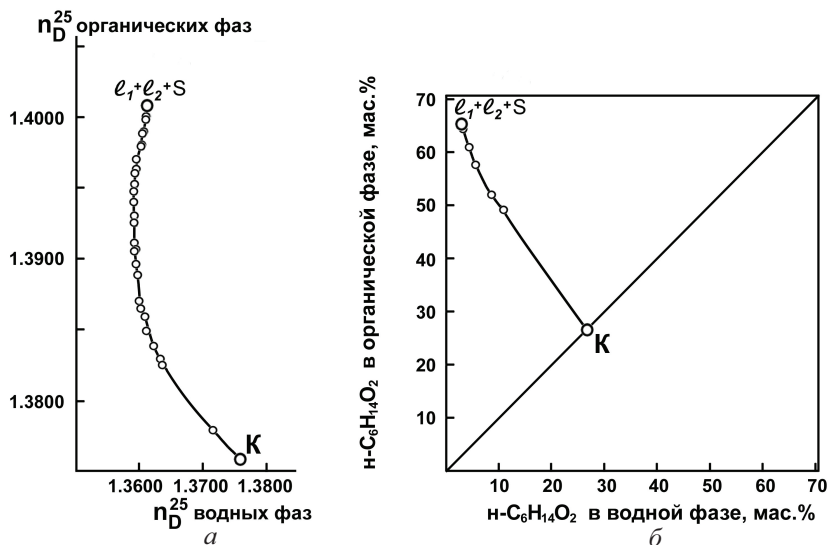


Рис. 3. Кривая соответствия (а) и кривая распределения *n*-бутоксизэтанол (б) системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксизэтанол 25.0 °С

показателей преломления водной и органической фаз, находящихся в критическом состоянии при температуре 25.0 °С, совпали с найденными графически по кривой соответствия (см. рис. 3, а).

Функциональные кривые сечений IV–VI (рис. 4, а) состоят из двух ветвей, одна из которых относится к гомогенному состоянию смесей компонентов l , а другая – к насыщенному l_1+S .

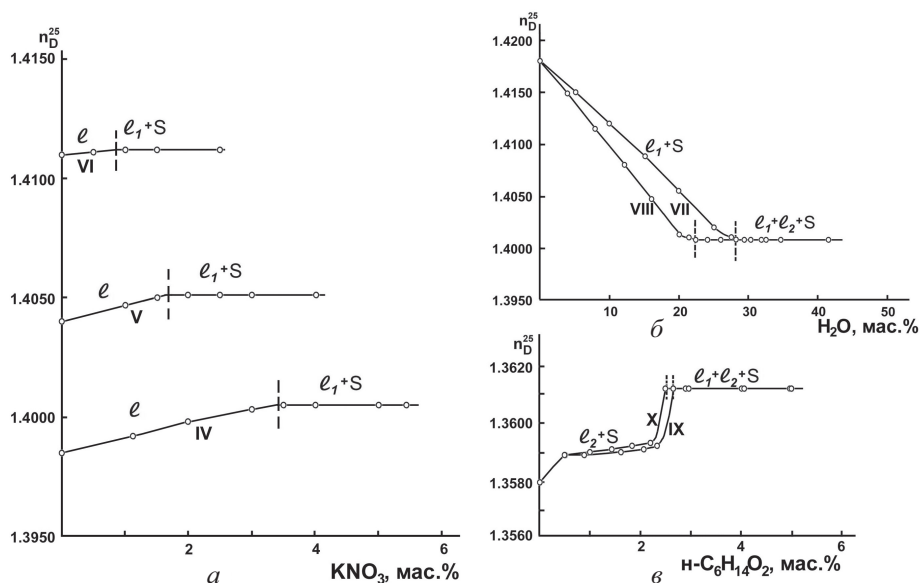


Рис. 4. Функциональные кривые сечений IV – VI (а), VI, VIII (б), IX, X (в) системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксизэтанол при 25.0 °С



Точки пересечения этих ветвей, полученные методом графической интерполяции, позволили определить концентрационные границы поля насыщенных растворов ℓ_1+S (см. рис. 1).

Функциональные кривые VII и VIII сечений представлены на рис. 4, б. Они состоят из двух ветвей, относящихся к насыщенному ℓ_1+S и монотектическому $\ell_1 + \ell_2 + S$ состоянию смесей. На рис. 4, б приведена только ветвь, отвечающая органической фазе монотектического равновесия. По ветвям функциональных кривых этих сечений, относящихся к насыщенному состоянию смесей $\ell_1 + S$, построили ноды 7–11 поля насыщенных растворов $\ell_1 + S$ (см. рис. 1). Нода 7 является второй предельной стороной монотектического треугольника $\ell_1 + \ell_2 + S$. Как видно из рис. 1, все ноды пересекаются в вершине треугольника состава, соответствующей нитрату калия. Это означает, что твердой фазой насыщенных растворов является индивидуальная соль.

Функциональные кривые IX и X сечений приведены на рис. 4, в. Они также состоят из двух ветвей, относящихся к насыщенным $\ell_2 + S$ и монотектическому состоянию $\ell_1 + \ell_2 + S$ состояниям смесей. По ветвям функциональных кривых данных сечений, относящимся к насыщенному состоянию смесей ℓ_2+S , построили ноды 12 и 13 поля насыщенных растворов $\ell_2 + S$ на диаграмме растворимости (см. рис. 1). Нода 12 является третьей предельной стороной монотектического треугольника $\ell_1 + \ell_2 + S$. Ноды 12 и 13 пересекаются в одной точке, отвечающей вершине треугольника состава нитрата калия. Это свидетельствует о том, что при данной температуре нитрат калия не образует кристаллогидратов.

В табл. 2 приведены данные по растворимости компонентов тройной системы *нитрат калия–вода–*n*-бутоксизтанол* при 25.0 °С. Они хорошо согласуются с результатами работы [1]. Диаграмма растворимости тройной системы *нитрат калия – вода – *n*-бутоксизтанол* при 25.0 °С (см. рис. 1) относится к диаграммам тройных систем с высаливанием. Критическая точка К области расслоения обращена к двойной системе вода–*n*-бутоксизтанол и располагается почти на касательной к бинадальной кривой, проведенной из вершины концентрационного треугольника, отвечающей *n*-бутоксизтанолу. Ноды идут расходящимся веером в сторону двойной системы *нитрат калия–вода*. В соответствии с концепцией о преобладающем взаимодействии компонентов Р. В. Мерцлина [7] эти топологические признаки указывают на преобладающий характер взаимодействия компонентов в двойной системе *нитрат калия–вода*.

Таблица 2

**Растворимость компонентов тройной системы
*нитрат калия–вода–*n*-бутоксизтанол* при 25.0°С, мас. %**

H ₂ O	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄ O ₂	KNO ₃	H ₂ O	<i>n</i> -C ₆ H ₁₄ O ₂	KNO ₃
72.6	0.0	27.4	56.5	36.1	7.4
73.0	1.1	25.9	51.2	41.9	6.9
76.0	6.8	17.2	44.2	50.0	5.8
71.1	16.7	12.2	35.3	60.0	4.7
69.3	19.6	11.1	29.4	67.1	3.5
62.62*	27.80*	9.58*	22.6	75.6	1.8
61.9	29.2	8.9	12.9	86.2	0.9

* – критическая точка растворимости.

Эффект высаливания *n*-бутоксизтанол из водных растворов определяется отношением содержания *n*-бутоксизтанол в равновесных жидких фазах для смеси данного состава при введении определенного количества соли. Очевидно, эффект высаливания будет максимальным для любой смеси воды и *n*-бутоксизтанол, подвергающейся расслаиванию, при введении такого количества соли, чтобы достигнуть предельной ноды монотектического равновесия. Коэффициент распределения K_p *n*-бутоксизтанол рассчитывали как отношение концентраций этого компонента в жидких фазах ℓ_1 и ℓ_2 монотектического равновесия:

$$K_p^{25} = \frac{C_{n-C_6H_{14}O_2}(\ell_1)}{C_{n-C_6H_{14}O_2}(\ell_2)}$$

Рассчитанный таким образом коэффициент распределения *n*-бутоксизтанол для изучаемой системы составил: $K_p^{25} = 21.8$. Это значение немного больше, чем найденное в работе [1].

Кривая распределения *n*-бутоксизтанол между равновесными водной и органической фазами показана на рис.4,б. Она начинается в точке, отвечающей содержанию *n*-бутоксизтанол в жидких фазах монотектического состояния $\ell_1 + \ell_2 + S$, и заканчивается в критической точке растворимости К. Из рис. 4, б видно, что *n*-бутоксизтанол преимущественно распределяется в органическую фазу. Таким образом, нитрат калия можно использовать в качестве высаливателя *n*-бутоксизтанол из его водных растворов при 25.0 °С.

Список литературы

1. Черкасов Д. Г., Смотров М. П., Ильин К. К. Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат калия–вода–*n*-бутоксизтанол // Журн. физ. химии. 2010. Т. 84, № 6. С. 1030–1035.
2. Химическая энциклопедия / ред. И. Л. Кнунянц : в 5 т. М. : Сов. энцикл., 1988–1998. Т. 1–5.
3. Синегубова С. И., Ильин К. К., Черкасов Д. Г. и др. Высаливание изопропилового спирта из водных раство-



- ров нитратом калия // Журн. прикл. химии. 2004. Т. 77, вып. 12. С. 1945–1949.
4. *Vancroft W. D.* On ternary mixtures // *Phys. Rev.* 1895. Vol. 3, № 1. P. 21–33.
 5. *Мерцлин Р. В.* О методах нахождения конод для равновесий с жидкими фазами // *Изв. биол. Науч.-исслед. ин-та при Перм. ун-те.* 1937. Т. XI, № 1, 2. С. 1–16.
 6. *Мерцлин Р. В.* Приложение метода сечений к определению состава твердых фаз, слагающих равновесия в трехкомпонентных системах // *Учен. зап. Перм. ун-та.* 1939. Т. 3, № 4. С. 37–46.
 7. *Никурашина Н. И., Мерцлин Р. В.* Метод сечений. Приложение его к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1969. 122 с.
 8. *Трейбал Р.* Жидкостная экстракция : пер. с англ. М. : Химия, 1966. 724 с.
 9. *Аносов В. Я., Озерова М. И., Фиалков Ю. Я.* Основы физико-химического анализа. М. : Наука, 1976. 504 с.
 10. *Киргинцев А. Н., Трушников Л. Н., Лаврентьева В. Г.* Растворимость неорганических веществ в воде : справочник. Л. : Химия, 1972. 248 с.
 11. *Черкасов Д. Г., Смотров М. П.* Взаимная растворимость компонентов двойной системы вода–*n*-бутан-2-ол // *Химические науки.* 2006 : сб. науч. тр. Вып. 3. Саратов : Научная книга, 2006. С. 135–138.

УДК 544.23

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ СТЕКОЛ

С. В. Еськин^{1,3}, И. Д. Кособудский^{1,3}, А. Б. Жималов², Н. М. Ушаков³, Д. М. Кульбацкий³, С. В. Герман⁴

¹ Саратовский государственный технический университет

E-mail: vn.stanislav@gmail.com

² Саратовский институт стекла

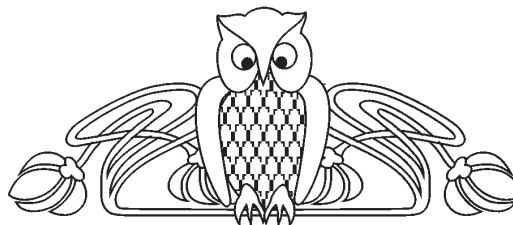
E-mail: zhimalov@narat.ru

³ Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал

E-mail: nmu@bk.ru

⁴ Саратовский государственный университет

E-mail: german0709@rambler.ru



В статье представлены результаты исследований просветляющих нанопокровов на основе аморфного диоксида кремния, полученных золь-гель методом на кальциево-натриевых стеклянных подложках. Выявлены влияния параметров синтеза силиказолей, размеров и полидисперсности наносимых частиц на структуру и оптические свойства получаемых покрытий.

Ключевые слова: диоксид кремния, наночастицы, стекло.

Broadband Anti-Reflective Nanocoatings Based on Amorphous Silicon Dioxide for Glasses

S. V. Eskin, I. D. Kosobudskiy, A. B. Zhimalov, N. M. Ushakov, D. M. Kulbatskiy, S. V. German

The results of the researches of anti-reflective nanocoatings based on amorphous silicon dioxide and produced on calcium-sodium glass substrates are presented in the article. The influence of the silica sols synthesis parameters and polydispersity of the particles on structure and optical properties of the produced coatings is revealed.

Key words: silicon dioxide, nanoparticles, glass.

Введение

Современное стекло представляет собой композиционный материал, уникальные свойства которого достигаются нанесением различных видов покрытий на стеклянную подложку.

Эффект просветления достигается путем нанесения на поверхность подложки одного или нескольких слоев специального материала определенной толщины с подходящим показателем преломления. При этом, вследствие интерференции, происходит гашение лучей, отраженных от внешних и внутренних границ покрытия.

В недавнем времени возник интерес к созданию материалов на основе диоксида кремния с контролируемой пористостью. Этот параметр влияет на показатель преломления материала. Следовательно, при определенной пористости можно получить эффективное просветляющее покрытие с заданным показателем преломления.

Теоретический анализ

Так как показатели преломления (n) различных видов стекол лежат в диапазоне 1.43–1.98, то для выполнения условия просветления показатели преломления просветляющих материалов должны лежать в интервале 1.23–1.39. Для наиболее распространенного кальциево-натриевого стекла с показателем преломления 1.52 теоретическое значение n однослойного просветляющего по-