



УДК [544.344.016+536.44]:[544.344.013–14+544.344.4]

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ФАЗОВОЙ ДИАГРАММЫ РАЗРЕЗА 2 ТЕТРАЭДРА СОСТАВА ЧЕТВЕРНОЙ СИСТЕМЫ НИТРАТ КАЛИЯ – ВОДА – ПИРИДИН – МАСЛЯНАЯ КИСЛОТА В ИНТЕРВАЛЕ 5–60°C



Д. Г. Черкасов, З. В. Чепурина, К. К. Ильин

Черкасов Дмитрий Геннадиевич, доктор химических наук, заведующий кафедрой общей и неорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ilinkk@info.sgu.ru

Чепурина Зинаида Валерьевна, кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры общей и неорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ilinkk@info.sgu.ru

Ильин Константин Кузьмич, доктор химических наук, профессор кафедры общей и неорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ilinkk@info.sgu.ru

Визуально-политермическим методом в интервале 5–60°C исследованы фазовые равновесия и критические явления в смесях компонентов разреза 2 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота, включающей тройную жидкостную систему с замкнутой бинадальной кривой. Впервые предложена методика, позволяющая найти координаты конечной точки критической ноды монотектического состояния в четверных системах соль–три растворителя. Изотермы фазовых состояний системы, построенные на плоскости треугольников разреза при двенадцати температурах, позволили выявить топологическую трансформацию фазовой диаграммы разреза тетраэдра состава с изменением температуры.

Ключевые слова: четверные системы соль–три растворителя, нитрат калия, пиридин, масляная кислота, топологическая трансформация фазовой диаграммы, равновесие жидкость–жидкость–твердое, равновесие жидкость–жидкость, визуально-политермический метод, высаливание, критическая нода монотектики.

DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-278-284

В экстракционной практике все большее применение находят нетрадиционные экстракционные тройные системы [1]. Они являются перспективными в процессах экстракции комплексных соединений металлов с целью их разделения и концентрирования [2–4]. Одним из главных достоинств таких систем является отсутствие среди компонентов легколетучих и горючих растворителей, что повышает безопасность их проведения и снижает экологическую нагрузку на окружающую среду. В этих системах в определенном

температурном интервале существует замкнутая область расслоения, возникновение которой Р. В. Мерцлин [5] и его последователи [6–8] связывают с химическим взаимодействием между компонентами одной из трех двойных пограничных систем. Введение солей-высаливателей в смеси компонентов таких систем способствует оптимизации экстракционного процесса за счет увеличения размеров объема двух жидких фаз.

Ранее нами [9] проведен обзор литературы по влиянию неорганических солей на фазовое поведение тройных систем с замкнутой областью расслоения. Установлено, что вопрос о топологической трансформации фазовой диаграммы возникающей четверной системы с изменением температуры остается малоизученным. Нами были исследованы фазовые равновесия и критические явления в двух четверных системах хлорид (нитрат) калия – вода – пиридин – масляная кислота, включающих тройную систему вода–пиридин–масляная кислота с замкнутой областью расслоения [9, 10], для выяснения топологической трансформации их фазовых диаграмм при изменении температуры. Установлено, что обе соли обладают высаливающим действием на водно-органические смеси. Сравнение полученных данных позволило сделать вывод о более слабом высаливающем действии нитрата калия по сравнению с хлоридом калия [10].

В четверной системе нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота был исследован один разрез тетраэдра состава, пересекающий только объемы фазовых состояний с наличием твердой фазы [10]. Настоящая работа посвящена политермическому изучению фазовых равновесий и критических явлений в смесях компонентов разреза 2 четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота с целью выявления закономерностей топологической трансформации объемов двухжидкофазных состояний и линий критических точек в объеме тетраэдра состава с изменением температуры.

В четверную систему нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота входят четыре составляющих тройных системы: вода–пиридин–



масляная кислота, нитрат калия–вода–пиридин, нитрат калия–вода–масляная кислота, нитрат калия – пиридин – масляная кислота. Растворимость компонентов и фазовые равновесия в этих системах кратко охарактеризованы в [10].

Материалы и методы

Используемые в работе растворители подвергали тщательной очистке, как описано в [11]. Растворители идентифицировали по температуре кипения, показателю преломления и плотности; их физические константы хорошо согласовались со справочными данными [12]. В работе использовали нитрат калия квалификации «ч.д.а.», дополнительно перекристаллизованный, тонко растертый и высушенный в вакууме над оксидом фосфора (V) при 100°C до постоянной массы. Отсутствие влаги в соли контролировали термogrавиметрическим анализом. Подготовленные препараты пиридина, масляной кислоты и соли хранили над прокаленным хлоридом кальция в эксикаторах, защищенных от прямого воздействия световых лучей.

Изучение фазовых равновесий в смесях компонентов четверной системы проводили визуально-политермическим методом [13], а составы растворов, соответствующие критическим точкам растворимости и критическим точкам критических нод, определяли методом отношения объемов жидких фаз [14]. Методика обработки результатов политермического исследования и построения изотермических фазовых диаграмм разреза четверной системы кратко изложена в [9]. Относительная погрешность определения составов смесей, отвечающих точкам фазовых переходов, составила $\pm 0.5\%$.

Фазовые равновесия и критические явления в смесях компонентов изучали по четырнадцати сечениям треугольника разреза 2 тетраэдра состава указанной четырехкомпонентной системы в интервале температур от 5 до 60°C. Разрез был проведен через ребро тетраэдра состава пиридин–масляная кислота и точку ребра вода–нитрат калия, отвечающую 25.00 мас.% соли (рис. 1). Выбор положения разреза определялся тем, чтобы он пересекал объемы жидкофазных состояний, а также объемы фазовых состояний с наличием твердой фазы. Кроме того, плоскость разреза должна пересечь критические ноды монотектических состояний и линию критических точек растворимости, проходящую по поверхности двухжидкофазного объема, что позволит выявить топологическую трансформацию этих фазовых состояний с изменением температуры.

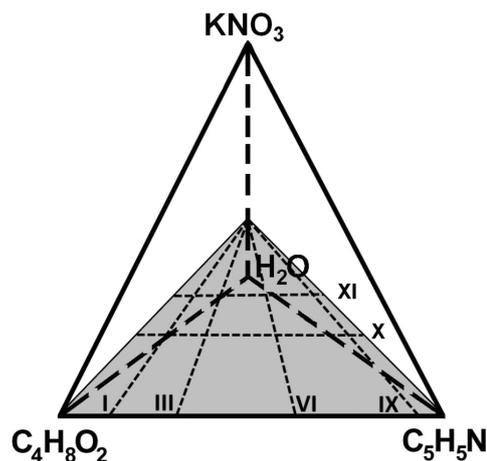


Рис. 1. Схематическое положение разреза 2 и сечений на плоскости разреза в тетраэдре состава четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота

Результаты и их обсуждение

Четырехкомпонентные смеси по сечениям I–IX изучаемого разреза (см. рис. 1) характеризовались переменным содержанием смеси соли с водой указанного состава и постоянным для каждого сечения соотношением масс пиридина и масляной кислоты: 10:90(I), 20:80(II), 35:65(III), 50:50(IV), 65:35(V), 80:20(VI), 92:8(VII), 97:3(VIII), 99:1(IX). Смеси компонентов по сечениям X и XI треугольника разреза (см. рис. 1) характеризовались переменным соотношением масс пиридина и масляной кислоты и постоянным для каждого сечения содержанием смеси нитрата калия с водой: 50.00 мас.% (X), 65.00 мас.% (XI). В смесях компонентов осуществлялись следующие фазовые состояния: монотектическое равновесие $\ell_1 + \ell_2 + S$, насыщенные растворы $\ell + S$, расслоение $\ell_1 + \ell_2$ и ненасыщенные растворы ℓ . Твердая фаза (S) при всех температурах интервала исследования отвечала по составу индивидуальной соли (нитрат калия). В качестве примера на рис. 2 представлены политермы сечений VI, VII, X и XI. На сечении VI найдена критическая точка растворимости равновесия жидкость–жидкость (обозначена большим кружком и буквой K).

Для определения зависимостей составов смесей, отвечающих критическим точкам критической ноды $K'S$ и критическим точкам растворимости K' , от температуры были исследованы смеси компонентов дополнительных сечений, характеризующиеся переменным содержанием смеси соли с водой указанного состава и постоянным для каждого сечения соотношением масс пиридина и масляной кислоты: 52.0:48.0, 58.0:42.0, 63.9:36.1, 66.5:33.5, 72.3:27.7, 73.6:26.4,

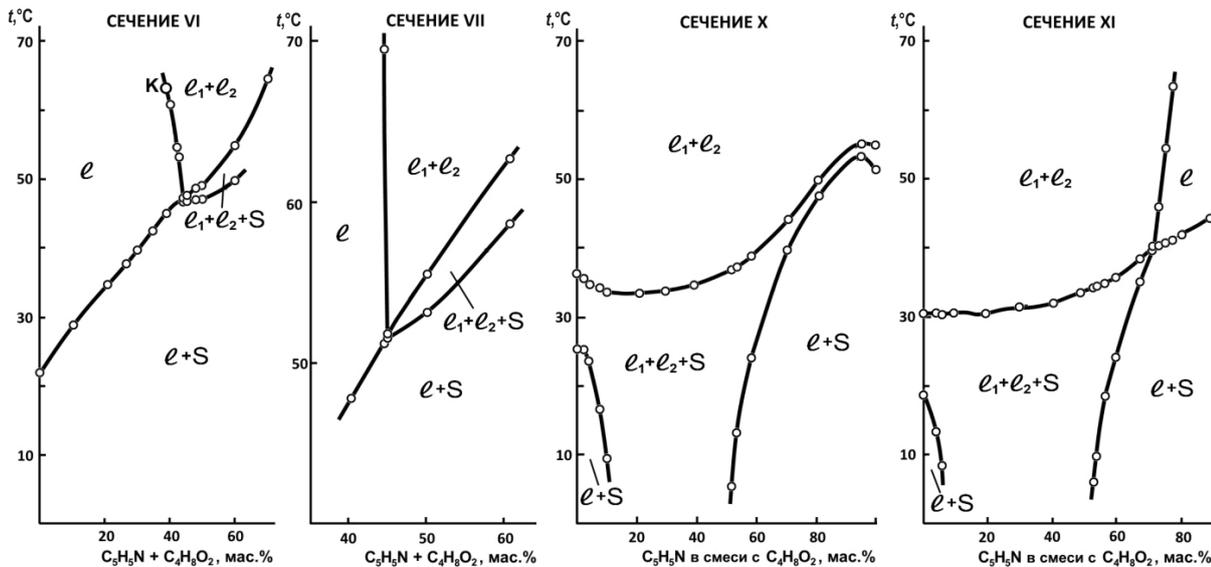


Рис. 2. Политермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота по сечениям VI, VII, X и XI разреза 2 тетраэдра состава

76.00:24.00. При политермическом изучении фазовых равновесий в смесях компонентов по сечениям II–IX и XI определяли координаты точек контакта четырех полей фазовых состояний l , $l+S$, l_1+l_2 , l_1+l_2+S (см. рис. 2). Используя полученные результаты, были построены зависимости содержания пиридина в смеси с масляной кислотой, а также смеси пиридина с масляной кислотой для четырехкомпонентных смесей (точки контакта) от температуры (рис. 3).

В этих координатах также построили зависимости содержания смеси пиридина и масляной кислоты, а также пиридина в смеси с масляной кислотой (см. рис. 3) в четырехкомпонентных смесях, отвечающих критической точке $K'S$ критической ноды объема монотектического состояния $l'_1+l'_2+S$ и критической точке растворимости K' области расслоения $l'_1+l'_2$ (см. рис. 3, кривая $K'S - K'(S) - K'$, светлые кружки), от температуры. Построенные кривые имеют точку пересечения при 43.6°C (обозначена большим черным кружком и надписью $K'(S)$), которая разделяет кривые критических точек, принадлежащих критической ноды $K'S$ (кривая $K'S - K'(S)$) и линии критических точек растворимости (кривая $K'(S) - K'$). Таким образом, в интервале $5.5\text{--}43.6^\circ\text{C}$ плоскость разреза пересекает поверхность, возникающую при движении критической ноды $K'S$ в четырехмерной температурно-концентрационной призме изучаемой четверной системы.

Образующаяся в этой же призме поверхность критических точек растворимости K' будет пересекаться плоскостью разреза в интервале $43.6\text{--}63.2^\circ\text{C}$. Следовательно, при 43.6°C плос-

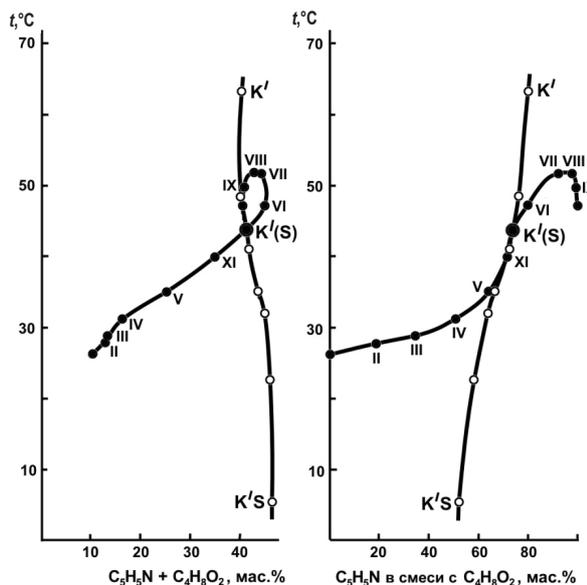


Рис. 3. Зависимости содержания смеси масляной кислоты и пиридина, а также пиридина в смеси с масляной кислотой в четырехкомпонентных смесях, отвечающих критической точке $K'S$ критической ноды объема монотектического состояния $l'_1+l'_2+S$ и критической точке растворимости K' области расслоения $l'_1+l'_2$ (кривая $K'S - K'(S) - K'$, светлые кружки), точкам контакта четырех полей фазовых состояний по сечениям II–IX (черные кружки) от температуры в разрезе 2 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота

кость разреза проходит через конечную точку критической ноды $K'S$. Построенные на рис. 3 зависимости позволили нам найти состав жидкой фазы (конечную точку) критической ноды монотектического состояния, а также температуру ее



появления в изучаемом разрезе. Таким образом, нами впервые предложена методика, позволяющая найти координаты жидкой фазы (конечную точку) критической ноды монотектического состояния в четверных системах.

Для определения зависимости составов смесей, отвечающих критическим точкам критической ноды K_1S монотектического состояния, от температуры были исследованы смеси компонентов двух дополнительных сечений, характеризующиеся переменным соотношением масс пиридина и масляной кислоты и постоянным для каждого сечения содержанием смеси нитрата калия с водой: 73.1 и 74.0 мас.%. Зависимости содержания смеси пиридина с масляной кислотой и пиридина в смеси с масляной кислотой в критических растворах, соответствующих критической ноде K_1S , от температуры представлены на рис. 4. Эти кривые начинаются при 18.0°C в точке, принадлежащей критической ноде монотектического состояния в тройной системе нитрат калия–вода–масляная кислота.

Результаты политермических исследований использовали для построения изотермических фазовых диаграмм разреза при двенадцати температурах: $5.0, 18.0, 25.0, 26.2, 30.0, 35.0, 40.0, 43.6, 47.2, 50.0, 52.0$ и 60.0°C (рис. 5–9). Топологическая трансформация фазовой диаграммы разреза 2 в интервале $5.0\text{--}22.0^\circ\text{C}$ (например, изотермы при 5.0 и 18.0°C на рис. 5) аналогична рассмотренной для разреза 1 [10], поскольку значение растворимости нитрата калия в этом интервале температур меньше 25 мас.% и разрез 2 пересекает в тетраэдре состава только объемы фазовых состояний с наличием твердой фазы ($l+S, l'_1+l'_2+S$). С повышением температуры растворимость нитрата калия в воде возрастает и выше 22.0°C она больше 25 мас.% [15].

В температурно-концентрационной призме тройной системы нитрат калия–вода–масляная кислота, как показали наши исследования, выше 18.0°C (см. рис. 5) развивается объем монотектического состояния. Поэтому на изотерме разреза, например при 25.0°C (см. рис. 5), это отражается увеличением размеров поля монотектики $l'_1+l'_2+S$, которое примыкает к стороне треугольника состава, отвечающей системе нитрат калия–вода–масляная кислота. Кроме того, появляется небольшое поле гомогенных растворов l_2 , примыкающее к вершине треугольника разреза ($\text{KNO}_3+\text{H}_2\text{O}$). С повышением температуры размеры полей монотектики $l'_1+l'_2+S$ и гомогенных растворов l_2 увеличиваются, и при 26.2°C на изотерме разреза (см. рис. 5) происходит их контакт в точке (обозначена черным кружком) на стороне

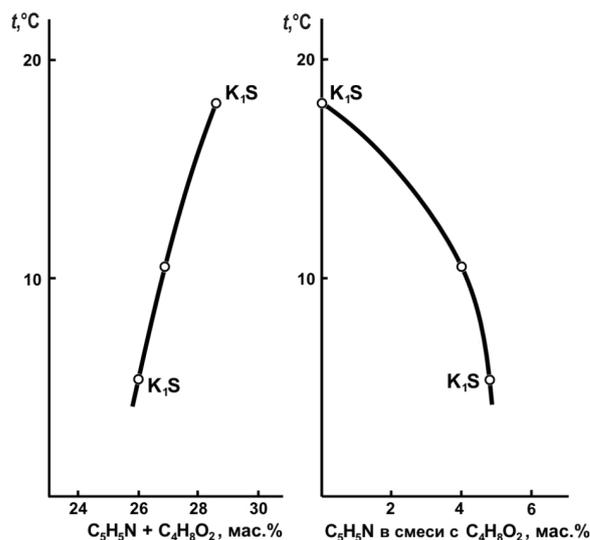


Рис. 4. Зависимости содержания смеси пиридина с масляной кислотой и пиридина в смеси с масляной кислотой в критических растворах, соответствующих критической ноде K_1S монотектического состояния, от температуры в разрезе 2 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота

треугольника разреза ($\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$) – $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$. При этой температуре в плоскость разреза входит точка, соответствующая составу жидкой фазы l_2 монотектического состояния в тройной системе нитрат калия–вода–масляная кислота. Поэтому на изотермах разреза при более высоких температурах (например, при $30.0, 35.0$ и 40.0°C , см. рис. 6 и 7) появляется поле расслоения $l'_1+l'_2$. Оно контактирует одновременно с полями монотектики $l'_1+l'_2+S$, насыщенных l_2+S и гомогенных l_2 растворов в одной точке (на изотермах обозначены зачерненным кружком).

С повышением температуры (см. рис. 6 и 7) размеры полей $l'_1+l'_2$ и l_2 увеличиваются, критическая точка $K'S$ критической ноды монотектики приближается к точке контакта четырех полей (черный кружок). Из политермических данных (см. рис. 3) было установлено, что при 43.6°C плоскость разреза проходит через состав жидкой фазы (конечную точку) критической ноды $K'S$. Очевидно, при данной температуре точка контакта четырех полей фазовых состояний (черный кружок) сольется с критической точкой $K'S$ критической ноды монотектики. На изотерме разреза при 43.6°C (см. рис. 7) эта точка обозначена как $K'(S)$.

При температурах, более высоких, чем 43.6°C , плоскость разреза пересекает линию критических точек растворимости K' , проходящую по поверхности двухжидкофазного объема. Например, на изотерме разреза при 47.2°C

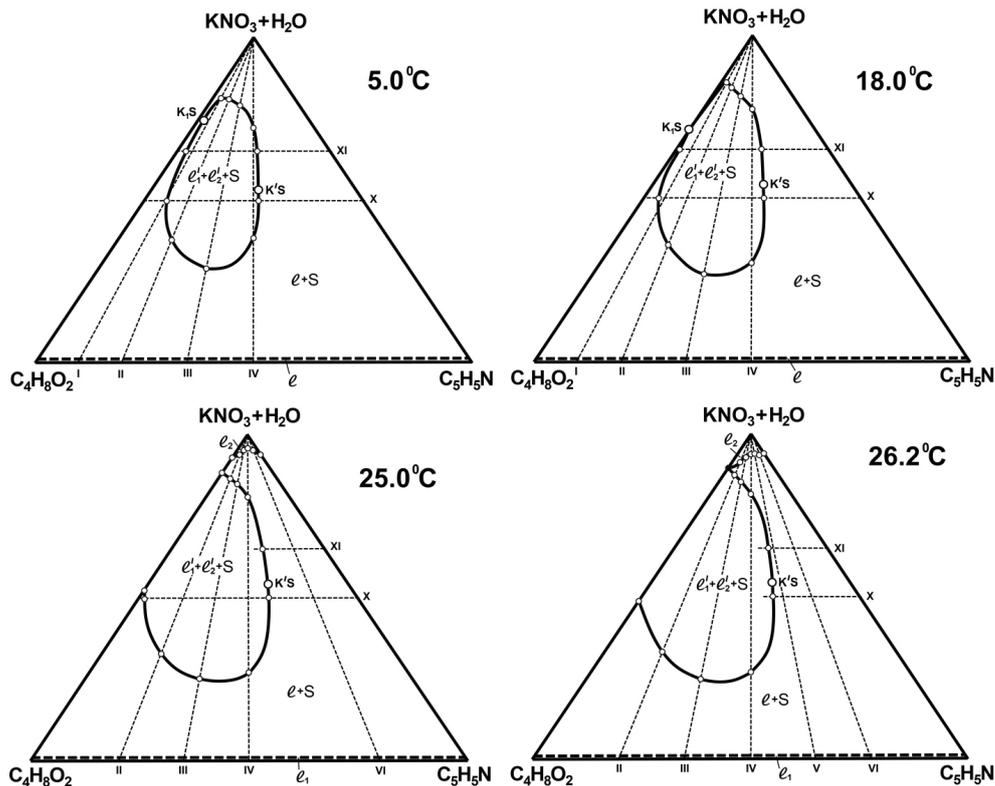


Рис. 5. Изотермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота в разрезе 2 при 5,0, 18,0, 25,0 и 26,2 °С

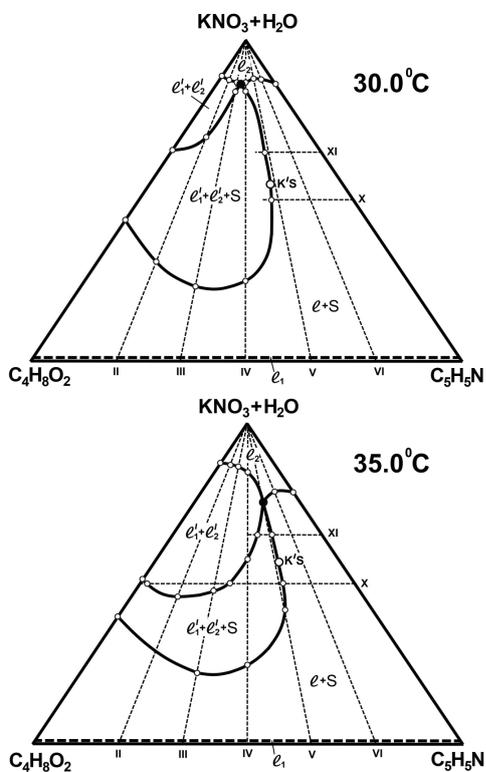


Рис. 6. Изотермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота в разрезе 2 при 30,0 и 35,0 °С

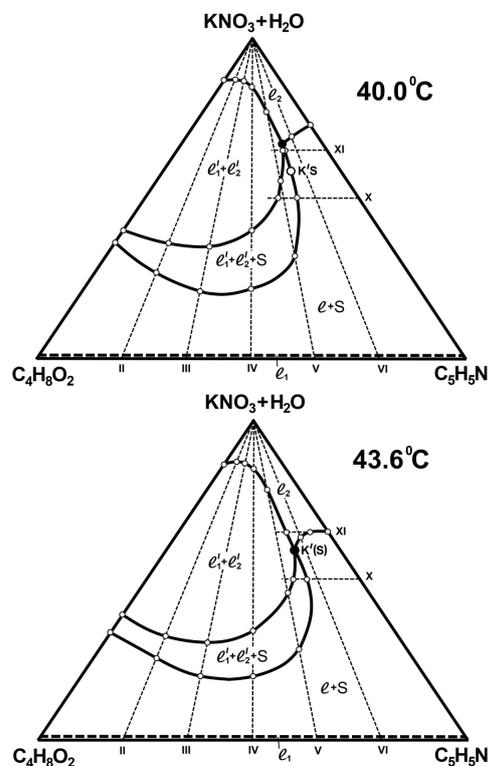


Рис. 7. Изотермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота в разрезе 2 при 40,0 и 43,6 °С

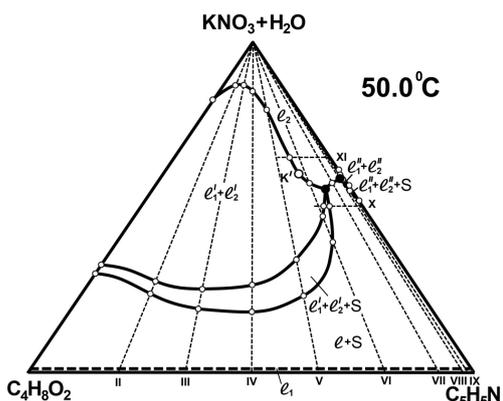
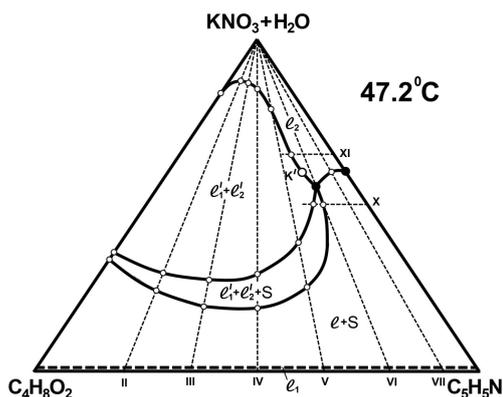


Рис. 8. Изотермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота в разрезе 2 при 47.2 и 50.0°C

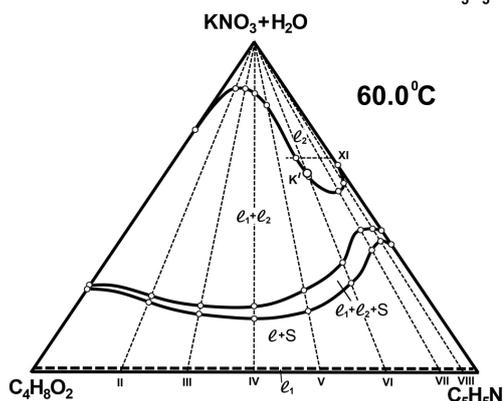
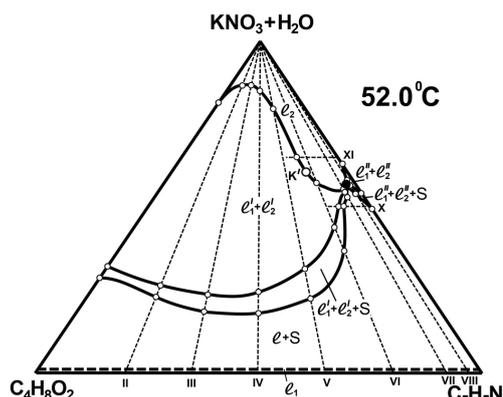


Рис. 9. Изотермы фазовых состояний четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота в разрезе 2 при 52.0 и 60.0°C

(см. рис. 8), на линии фазового перехода $l_1'+l_2'Dl_2$ существует критическая точка растворимости K' . При этой температуре на диаграмме изученной нами тройной системы нитрат калия–вода–пиридин существует монотектический треугольник l_1+l_2+S с примыкающими к нему полями насыщенных растворов $l+S$ и двухжидкофазного состояния l_1+l_2 .

При 47.2°C в плоскость исследуемого разреза входит точка контакта четырех полей фазовых состояний (гомогенного, насыщенного, расслоения и монотектики), которая обозначена черным кружком на стороне треугольника разреза ($KNO_3 + H_2O$) – C_5H_5N . С повышением температуры на фазовой диаграмме этой тройной системы увеличиваются размеры полей расслоения и монотектики вследствие возрастания высаливающего действия нитрата калия на водные растворы пиридина. В результате на изотерме разреза при 50.0°C (см. рис. 8) появляются небольшие поля двух новых фазовых состояний – двухжидкофазного $l_1''+l_2''$ и монотектического $l_1''+l_2''+S$.

С дальнейшим повышением температуры объемы монотектики и двухжидкофазного состоя-

ния, примыкающие к грани тетраэдра состава нитрат калия–вода–пиридин, продвигаются вглубь тетраэдра. В результате увеличиваются размеры полей фазовых состояний $l_1''+l_2''$ и $l_1''+l_2''+S$ на плоскости разреза (изотерма при 52.0°C, см. рис. 9), и две точки контакта четырех полей фазовых состояний сливаются в единую точку (обозначена черным кружком).

С повышением температуры объемы монотектик $l_1'+l_2'+S$ и $l_1''+l_2''+S$, а также двухжидкофазных состояний $l_1'+l_2'$ и $l_1''+l_2''$ объединяются внутри тетраэдра состава, что отражается на изотермической диаграмме разреза при 60.0°C образованием полей l_1+l_2+S и l_1+l_2 (см. рис. 9).

Таким образом, анализ и обобщение полученных результатов позволили выявить картину топологической трансформации фазовой диаграммы изученного разреза четверной системы нитрат калия–вода–пиридин–масляная кислота при изменении температуры, а также подтвердить фрагмент варианта ранее предложенной схемы топологической трансформации фазовых диаграмм четверных систем соль–три растворителя, включающей тройную жидкостную систему с замкнутой областью расслоения.



Список литературы

1. Яковлева Т. П., Леснов А. Е., Петров Б. И., Денисова С. А. Жидкофазные и экстракционные равновесия в нетрадиционных экстракционных системах, содержащих производные пиразолона // Избранные главы физико-химического анализа : в 2 ч. Пермь : Перм. ун-т, 2003. Ч. 1. С. 135–171.
2. Петров Б. И., Афендикова Г. Ю. Об устранении основного недостатка процессов жидкостной экстракции неорганических соединений // Журн. прикл. химии. 1985. Т. 85, № 10. С. 2194–2199.
3. Петров Б. И., Яковлева Т. П., Чукин В. М., Егорова Л. С. Образование новых экстракционных систем при протолитическом взаимодействии и высаливании органических соединений // Журн. прикл. химии. 1993. Т. 66, № 8. С. 1751–1756.
4. Петров Б. И., Пригожин С. И. Аналитическое использование экстракции элементов в расслаивающейся системе вода–антипирин–монохлоруксусная кислота // Журн. аналит. химии. 1985. Т. 40, № 2. С. 247–251.
5. Мерцлин Р. В. О системах с верхней тройной критической точкой // Журн. общ. химии. 1936. Т. 6, № 12. С. 1828–1840.
6. Журавлев Е. Ф. О системах с нижней тройной критической точкой // Журн. общ. химии. 1959. Т. 29, № 10. С. 3178–3183.
7. Крупаткин И. Л., Роженцова П. О. О поведении двойных скрытно-расслаивающихся систем в тройных системах // Журн. физ. химии. 1970. Т. 44, № 4. С. 1036–1039.
8. Сергеева В. Ф., Матюшинская Л. Б. Равновесие жидкость–жидкость в системах вода–изомасляная кислота–пиридин (2-метилпиридин, 2,4-диметилпиридин, 2,4,6-триметилпиридин) // Журн. общ. химии. 1977. Т. 47, № 6. С. 1215–1218.
9. Черкасов Д. Г. Фазовые равновесия и критические явления в разрезе 1 четверной системы вода – пиридин – масляная кислота – хлорид калия // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2008. Т. 8, вып. 2. С. 28–36.
10. Черкасов Д. Г., Чепурина З. В., Курский В. Ф., Ильин К. К. Топологическая трансформация фазовой диаграммы разреза 1 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5–60°C // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 262–269.
11. Черкасов Д. Г., Смотров М. П., Ильин К. К. Равновесие двух жидких фаз и критические явления в тройной системе вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5–55°C // Журн. прикл. химии. 2008. Т. 81, № 2. С. 229–233.
12. Химическая энциклопедия : в 5 т. / ред. И. Л. Кнунянц. М. : Сов. энцикл., 1988–1998.
13. Аносов В. Я., Озерова М. И., Фиалков Ю. Я. Основы физико-химического анализа М. : Наука, 1976. 504 с.
14. Трейбал Р. Жидкостная экстракция : пер. с англ. / под ред. С. З. Кагана. М. : Химия, 1966. 724 с.
15. Справочник по растворимости : бинарные системы : в 2 т. / под ред. В. В. Кафарова. Т. 1 : в 2 кн. Кн. 1. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1961. 860 с.

Topological Transformation of Phase Diagram for Cut 2 of the Composition Tetrahedron of the Quaternary Potassium Nitrate – Water – Pyridine – Butyric Acid System within 5–60°C

D. G. Cherkasov, Z. V. Chepurina, K. K. Il'in

Dmitry G. Cherkasov, ORCID 0000-0002-6862-1917, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ilinkk@info.sgu.ru

Zinaida V. Chepurina, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ilinkk@info.sgu.ru

Konstantin K. Il'in, ORCID 0000-0002-8359-8874, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, ilinkk@info.sgu.ru

Phase equilibria and critical phenomena in component mixtures of the cut 2 of the composition tetrahedron of the quaternary system potassium nitrate + water + pyridine + butyric acid whose constituent ternary liquid system had a closed binodal curve were studied by means of the visual-polythermal method within 5–60°C. We first proposed a method to find the coordinates of the end point of the critical tie line of monotectic state in quaternary systems salt + three solvents. Phase state isotherms constructed on the triangles of the cut for twelve temperatures have allowed the topological transformation of the phase diagram for the examined cut of the composition tetrahedron with temperature changes to be revealed.

Key words: quaternary system salt + three solvent, potassium nitrate, pyridine, butyric acid, topological transformation of phase diagram, equilibrium liquid–liquid–solid, equilibrium liquid–liquid, visual-polythermal method, salting-out, critical tie line of monotectic.

Образец для цитирования:

Черкасов Д. Г., Чепурина З. В., Ильин К. К. Топологическая трансформация фазовой диаграммы разреза 2 тетраэдра состава четверной системы нитрат калия – вода – пиридин – масляная кислота в интервале 5–60°C // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 3. С. 278–284. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-278-284

Cite this article as:

Cherkasov D. G., Chepurina Z. V., Il'in K. K. Topological Transformation of Phase Diagram for Cut 2 of the Composition Tetrahedron of the Quaternary Potassium Nitrate – Water – Pyridine – Butyric Acid System within 5–60°C. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 3, pp. 278–284 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-3-278-284