

— ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЯ —

Научная статья

УДК 534.344

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2023-4-21-31>

**Всаливающая-высаливающая способность нитратов и хлоридов
непереходных металлов в отношении оксиэтилированных нонилфенолов**

Дарья Олеговна Шильковская^{1,2}, Александр Михайлович Елохов¹, Юлия Валерьевна Смолина¹

¹Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

²Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Пермь, Россия

Аннотация. Изучено влияние нитратов и хлоридов непереходных металлов и аммония на высаливание неонала АФ 9-10 из водных растворов. Показано, что нитраты и хлориды одновалентных металлов обладают в основном высаливающим действием, в то время как нитраты двух- и трехвалентных катионов повышают температуру расслоения водных растворов неонала АФ 9-10. На основании изучения фазовых равновесий в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода в интервале температур 25–80°C экспериментально подтвержден вариант 5 обобщенной схемы топологической трансформации фазовых диаграмм неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода с изменением температуры.

Ключевые слова: оксиэтилированные ПАВ, высаливание, всаливание, топологическая трансформация фазовых диаграмм, жидкостная экстракция.

Для цитирования: Шильковская Д.О., Елохов А.М., Смолина Ю.В. Всаливающая-высаливающая способность нитратов и хлоридов непереходных металлов в отношении оксиэтилированных нонилфенолов // Вестник Пермского университета. Серия «Химия». 2024. Т. 14, № 1. С. 21–31. <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>.

Original Article

<http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>

**Salting-out and salting-in ability of non-transition metals nitrates and chlorides
to ethoxylated nonylphenols**

Darya O. Shilykovskaya^{1,2}, Aleksandr M. Elokhov¹, Yulia V. Smolina¹

¹Perm State University, Perm, Russia

²Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia

Abstract. The influence of nitrates and chlorides of non-transition metals and ammonium on the salting out of neonol AF 9-10 from aqueous solutions was studied. It has been shown that nitrates and chlorides of monovalent metals have a mainly salting-out effect, while nitrates of di- and trivalent cations increase the separation temperature of aqueous solutions of neonol AF 9-10. Based on the study of phase equilibria in the system ammonium nitrate – neonol AF 9-10 – water in the temperature range 25–80°C, option 5 of the generalized scheme of topological transformation of phase diagrams inorganic salt – ethoxylated surfactant – water with temperature changes was experimentally confirmed.

Keywords: ethoxylated surfactants, salting out, salting in, topological transformation of phase diagrams, liquid extraction

For citation: Shiykovskaya, D.O., Elokhov, A.M. and Smolina, Yu.V. (2024) “Salting-out and salting-in ability of non-transition metals nitrates and chlorides to ethoxylated nonylphenols”, *Bulletin of Perm University. Chemistry*, vol. 14, no. 1, pp. 21–31. (In Russ.). <http://doi.org/10.17072/2223-1838-2024-1-21-31>.



Одной из наиболее сложных задач при разработке новых экстракционных систем является выбор высаливателя и оптимальных температурно-концентрационных параметров процесса. В разы сложнее эта задача при использовании в качестве экстрагентов поверхностно-активных веществ, которые обычно представляют собой сложную смесь гомологов, а также образуют с водой мицеллярные растворы. Решение данной задачи возможно с использованием методов физико-химического анализа, в частности, метода топологической трансформации, позволяющего проследить как меняются количество и взаиморасположение фазовых областей с изменением каких-либо параметров системы [1–3]. В работах К.К. Ильина и Д.Г. Черкасова экспериментально доказаны схемы в топологической трансформации фазовых диаграмм систем бинарный растворитель – неорганическая соль, включающих двойную жидкостную систему не расслаивающуюся во всем интервале жидкого состояния [4, 5], имеющую замкнутую область расслаивания [6, 7], а также имеющих нижнюю [8, 9] или верхнюю [10, 11] критическую температуру растворения.

Для систем неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода также предложена обобщенная схема топологической трансформации [3], отвечающая случаям двойной подсистемы вода – ПАВ не расслаивающейся во всем температурном интервале жидкого состояния или характеризующейся нижней критической температурой растворимости (НКТР) [12–16]. Однако, часть предложенных вариантов пока экспериментально не доказаны. В частности, для систем, содержащих двойные системы вода – ПАВ, имеющие НКТР, и неорганические соли, обладающие высаливающим

всаливающим действием, схема топологической трансформации подтверждена лишь частично.

Объекты и методы исследования

В работе использованы: неонол АФ 9-10 (оксиэтилированный алкилфенол на основе тримеров пропилена, $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}H$, ТУ 2483-077-05766801-98); неорганические соли квалификации х.ч. и ч.д.а. (нитрат аммония, гексагидрат нитрата магния, нонагидрат нитрата алюминия, нитрат калия, нитрат натрия, тетрагидрат нитрата кальция, нитрат бария, нитрат свинца, гексагидрат хлорида магния, хлорид кальция, гексагидрат хлорида алюминия, дигидрат хлорида бария, хлорид натрия); дистиллированная вода.

Границы области расслаивания определены визуально-политермическим методом [17]. Запаянные ампулы, содержащие смеси исходных компонентов известного состава, помещали в термостат и нагревали при периодическом перемешивании со скоростью $1^\circ C/5$ мин, вблизи температуры расслоения, которая отвечает появлению устойчивой опалесценции, скорость нагрева снижали. Полученные значения температур расслоения являлись средним из 2–3 измерений. По результатам исследований строили зависимости температуры расслоения от содержания одного компонента или смеси двух компонентов в определенном соотношении. На основании политермическим методом графической интерполяции строили изотермические разрезы политермической фазовой диаграммы исследуемой трехкомпонентной системы.

Изотерма растворимости при $25^\circ C$ получена методом сечений [18]. В качестве физического свойства измеряли показатель преломления жидкой фазы на рефрактометре ИРФ-454Б2М.

На основании полученных данных строили зависимости показателя преломления от концентрации одного из компонентов и по изломам на графике определяли составы, отвечающие фазовым переходам при заданной температуре.

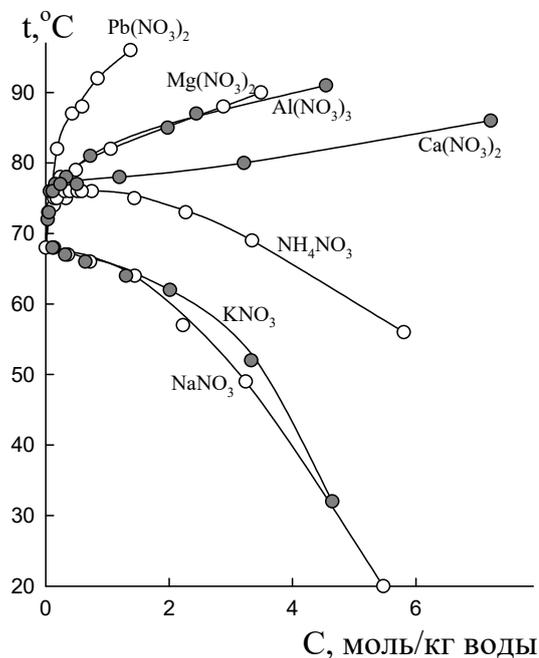
3. Результаты и их обсуждение

На первом этапе произведена оценка высаливающей способности неорганических солей по отношению к неолу АФ 9-10 путем построения политерм изоконцентрационных сечений, содержащих 5 мас.% ПАВ. Полученные политермы представлены на рис. 1.

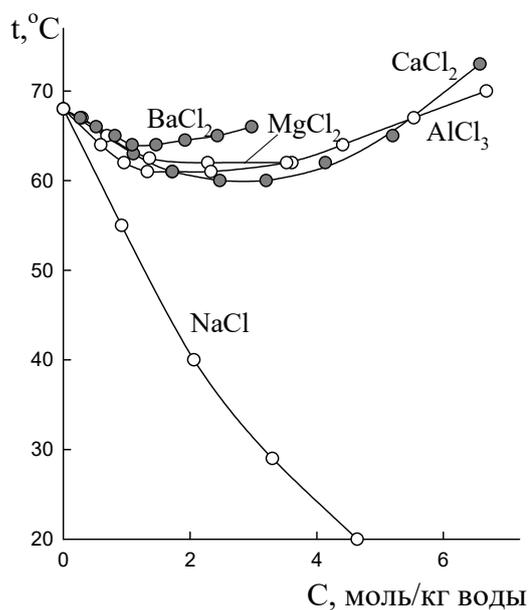
Экспериментально установлено, что нитраты двух и трехзарядных катионов (магния, кальция, бария и алюминия) приводят к росту температуры расслоения водных растворов неола АФ 9-10, что свидетельствует о их всаливающем действии, нитраты катионов щелочных металлов (калия и натрия) обладают выраженным высаливающим действием, что проявляется в снижении температуры расслоения с ростом концентрации соли. Введение нитрата аммония приводит к резкому увеличению температуры расслоения при низких концентрациях и последующему её снижению с ростом концентрации, что свидетельствует о всаливающем-высаливающем действии вводимой соли.

Хлориды однозарядных катионов, на примере хлорида натрия, является типичным высаливателем, при его введении температура расслоения растворов неола АФ 9-10 снижается. Для многозарядных катионов в области низких концентраций наблюдается резкое снижение температуры помутнения, обусловленное высаливающим действием соли. С ростом концентрации соли высаливающее действие соли сменяется всаливающим, обусловленным влиянием

ем катиона, что сопровождается ростом температуры помутнения. Поэтому хлориды двух- и трехзарядных катионов металлов обладают высаливающим-всаливающим действием.



а



б

Рис. 1. Политермы сечений неорганическая соль – 5,0 % неол АФ 9-10 – вода

Количественно оценить высаливающую-всаливающую способность можно следующим образом. Если построить зависимость темпера-

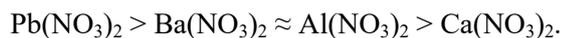
туры расслоения от моляльной концентрации неорганической соли, то концентрация соли, достаточная для образования расслаивания при фиксированной температуре характеризует ее всаливающую или высаливающую способность. Очевидно, чем меньше концентрация соли необходимая для образования расслаивания тем выше высаливающая или всаливающая способность неорганической соли.

В целом, всаливающая и высаливающая способность зависит как от концентрации соли, так и от температуры. Как видно из рис. 1 при низких концентрациях политермы расположены близко друг к другу, что свидетельствует о близости их всаливающей или высаливающей способности, с ростом концентрации соли различия увеличиваются.

В целом высаливающая способность нитратов однозарядных катионов уменьшается в ряду:



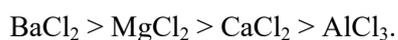
Всаливающая способность нитратов многозарядных катионов уменьшается в ряду:



Высаливающая способность хлоридов металлов и аммония уменьшается в ряду (оценка при 65°C):



Всаливающая способность хлоридов многозарядных катионов уменьшается в ряду (оценка при 65°C):



Для дальнейшего исследования был выбран нитрат аммония, так как использование данной соли позволяет проследить особенности топологической трансформации фазовых диаграмм для солей, обладающих выраженным всаливающим и высаливающим действием.

Данные по фазовым равновесиям в двойной системе NH_4NO_3 – вода взяты из справочников [19]. В системе не наблюдается образования кристаллогидратов, растворимость нитрата аммония увеличивается с ростом температуры, при этом в твердой фазе могут присутствовать различные полиморфные модификации нитрата аммония в зависимости от температуры.

Двойная система неонол АФ 9-10 – вода исследована ранее [20] и характеризуется нижней критической температурой растворения при 68°C, область расслаивания при этом существует в достаточно широком температурном интервале.

Фазовые равновесия в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода изучены по пяти сечениям. Сечения 1–4 характеризовались переменным содержанием нитрата аммония и постоянным соотношением неонол АФ 9-10 : вода равным 5,0 : 95,0; 10,0 : 90,0; 20,0 : 80,0 и 30,0 : 70,0. Сечение 5 соединяло вершину ПАВ и точку, отвечающую 2 % водному раствору нитрата аммония. Положение всех сечений на концентрационном треугольнике представлено на рис. 3.4.

Политермы сечений 1–4 подобны и представлены на примере сечения нитрат аммония – неонол АФ 9-10 : вода = 5 : 95 (рис. 2). Политерма состоит из четырех ветвей, разделяющих области ненасыщенных растворов (L), расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия ($L_1+L_2 + S$) и кристаллизации нитрата аммония ($L+S$), однако экспериментально определялось только положение линии разделяющей область ненасыщенных растворов и область расслаивания.

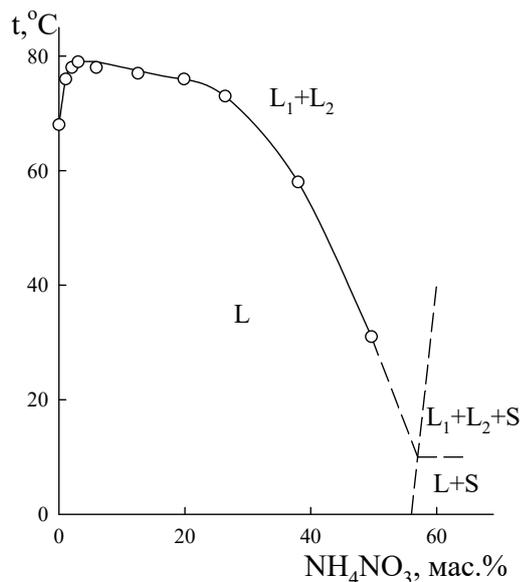


Рис. 2. Политерма сечения
нитрат аммония – неонол АФ 9-10 : вода = 5 : 95

Линия, отвечающая фазовому переходу «раствор» – «расслаивание» начинается в точке, отвечающей температуре расслоения раствора неонла АФ 9-10. С ростом концентрации всаливающего действие нитрата аммония, отвечающее росту температуры расслоения, сменяется высаливающим, вследствие чего температура расслоения смесей уменьшается с ростом концентрации соли.

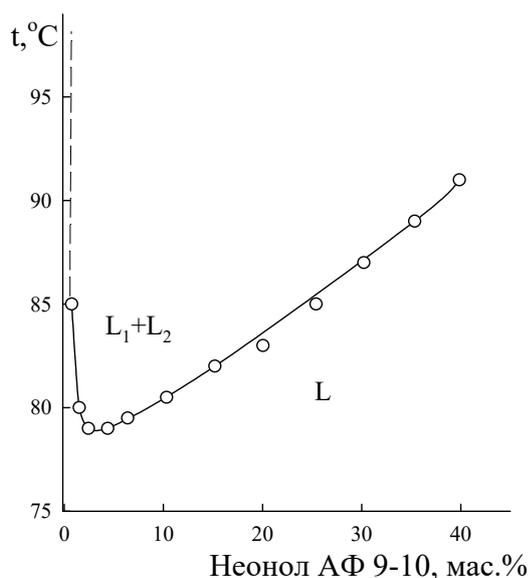


Рис. 3.6. Политерма сечения
неонол АФ 9-10 – нитрат аммония : вода = 2 : 98

Политерма сечения 5 состоит из одной ветви, разделяющей области ненасыщенных растворов (L), расслаивания (L_1+L_2). Кривая при этом характеризуется минимумом. В области низких концентраций температура помутнения резко возрастает, асимптотически приближаясь к оси ординат (рис. 3)

Полученные экспериментальные данные позволили определить закономерности топологической трансформации фазовой диаграммы системы нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода с увеличением температуры.

При температуре менее 68°C фазовая диаграмма содержит четыре области: расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации нитрата аммония ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L). Термогравиметрическими исследованиями доказано, что в твердой фазе образования новых химических соединений не происходит. Из анализа политерм 1–4 следует, что с ростом температуры размеры области расслаивания увеличиваются. В качестве примера на рис. 4а приведена фазовая диаграмма системы нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода при 25°C . Положение предельной ноды монотектического равновесия определено изотермическим методом сечений по сечениям 1–4.

При температуре 68°C в двойной системе неонол АФ 9-10 – вода появляется критическая точка, отвечающая началу образования второй области расслаивания (НКТ). Граница области расслаивания в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода при 68°C представлена на рис. 4б. Здесь и далее положение предельной ноды не устанавливалось, так как целью исследования являлось установление особенностей трансформации области расслаивания.

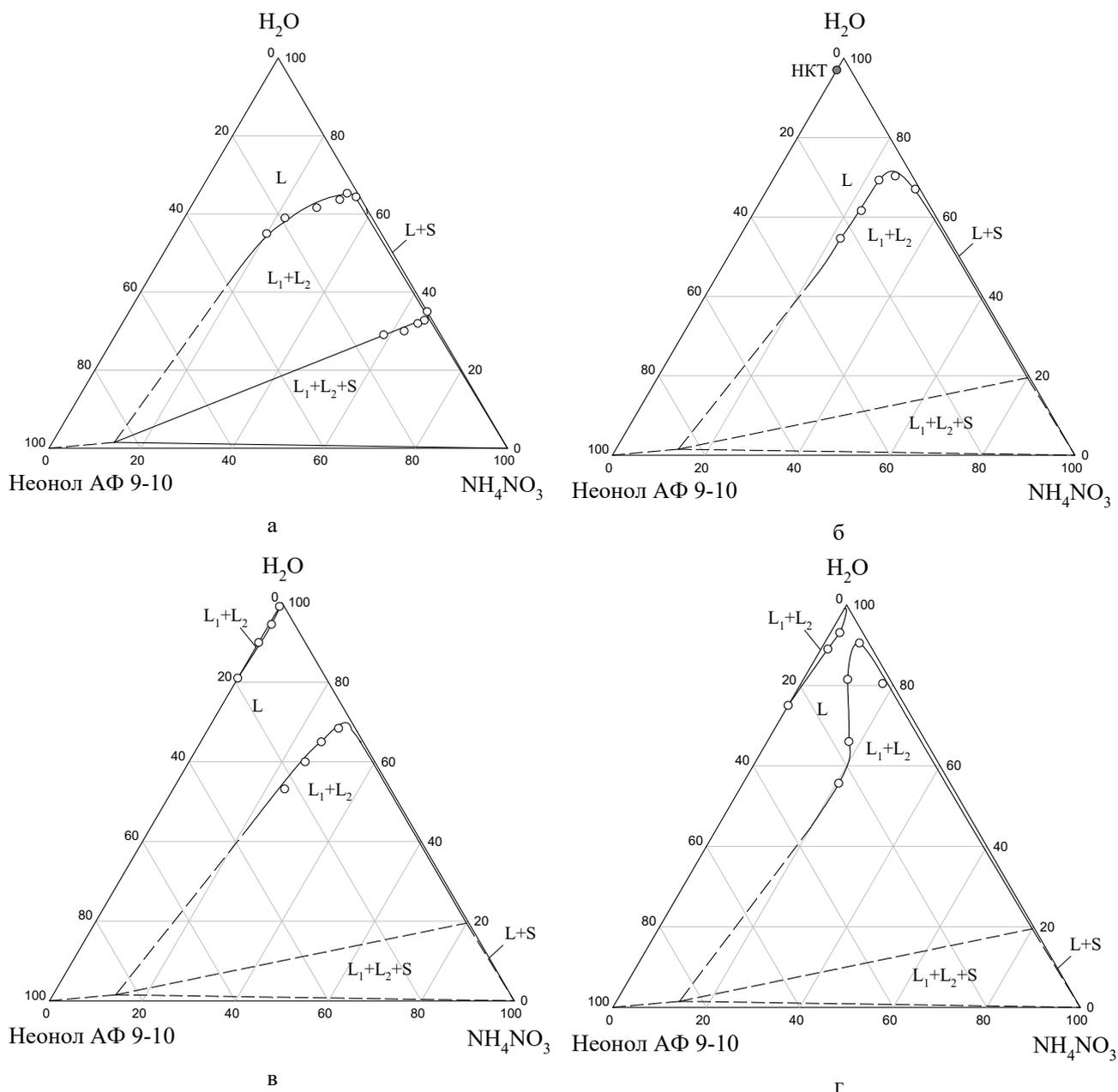
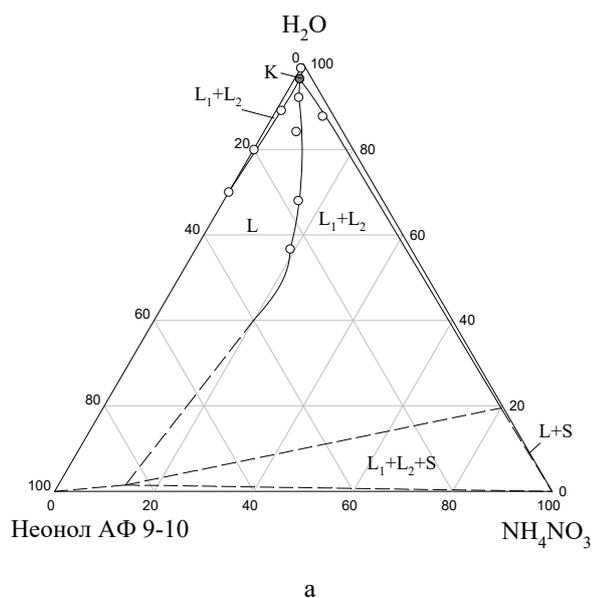


Рис. 4. Фазовая диаграмма системы NH_4NO_3 – неонол АФ 9-10 – вода при 25 (а), 68 (б), 72,5 (в) и 77,5 (г) °С

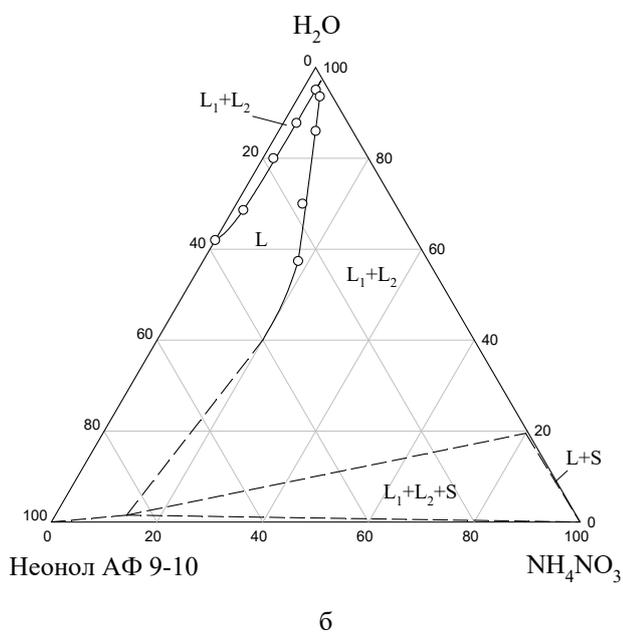
Дальнейшее увеличение температуры приводит к развитию критической точки НКТ в область расслаивания, в результате чего в интервале температур 68–79°С в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода существуют пять областей: две области расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации нитрата аммония ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L). С ростом температуры площади обеих областей расслаивания увеличиваются, и они приближаются

друг к другу. Диаграммы растворимости системы при 72,5 и 77,5°С представлены на рис. 4.

В интервале температур 79–80°С происходит слияние областей расслаивания с образованием единой области со сложной геометрией бинадальной кривой (рис. 5а). Более точно измерить температуру слияния областей расслаивания не представляется возможным вследствие наличия пересыщений, затрудняющих фиксацию фазовых переходов в мицеллярных растворах.



а



б

Рис. 5. Фазовая диаграмма системы NH_4NO_3 – неонол АФ 9-10 – вода при 79 (а) и 80 (б) °С

Дальнейший рост температуры приводит к расширению образовавшейся области расслаивания, изменения количества фазовых областей при этом не происходит (рис. 5б). Фазовая диаграмма системы содержит четыре области: расслаивания (L_1+L_2), монотектического равновесия (L_1+L_2+S), кристаллизации NaClO_4 ($L+S$) и ненасыщенных растворов (L).

Теоретически, возможна дальнейшая трансформация в тройную жидкостную систему при температуре более 170°C, отвечающей плавлению нитрата аммония.

Заключение

Изучение влияния нитратов и хлоридов переходных металлов и аммония на высаливание неонла АФ 9-10 из водных растворов показало, что нитраты многозарядных катионов являются всаливателями, нитраты и хлориды однозарядных катионов – высаливателями, а хлориды многозарядных катионов обладают высаливающим-всаливающим действием.

На примере фазовых равновесий в системе нитрат аммония – неонол АФ 9-10 – вода, исследованных в интервале температур 25–90°C, экспериментально подтвержден вариант 5 обобщенной схемы топологической трансформации фазовых диаграмм неорганическая соль – оксиэтилированное ПАВ – вода с изменением температуры [3].

Список источников

1. Валяшко В.М. Фазовые равновесия и свойства гидротермальных систем. М.: Наука, 1990.
2. Черкасов Д.Г., Ильин К.К. Топология фазовых диаграмм тройных конденсированных систем соль – бинарный растворитель с всаливанием-высаливанием // X международное курнаковское совещание по физико-химическому анализу. Саратов: Издательство СГУ, 2013. С. 58–62.
3. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Топологическая трансформация фазовых диаграмм систем неорганическая соль – оксиэтилированный ПАВ – вода с изменением температуры // Журнал неорганической химии. 2018. Т. 63, № 12. С. 1622–1629.

4. *Il'in K.K., Cherkasov D.G.* Solid–Liquid and Solid–Liquid–Liquid Equilibria in the KI + H₂O + i-C₃H₇OH Ternary System within 10–120° C // *Chemical Engineering Communications*. 2016. Vol. 203, №. 5. P. 642–648.
5. *Синегубова С.И., Ильин К.К., Черкасов Д.Г., и др.* Высаливание изопропилового спирта из водных растворов нитратом калия // *Журнал прикладной химии*. 2004. Т.77, № 12. С. 1945–1949.
6. *Черкасов Д.Г., Смотров М.П., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат калия – вода – н-бутоксигэтанол // *Журнал физической химии*. 2010. Т. 84, № 6. С. 1030–1035.
7. *Смотров М.П., Черкасов Д.Г., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы формиат калия – вода – н-бутоксигэтанол // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Химия, биология, экология*. 2010. Т. 10, № 2. С. 7–13.
8. *Ильин К.К., Курский В.Ф., Черкасов Д.Г., и др.* Фазовые равновесия и критические явления в тройной системе нитрат калия – вода – диэтиламин // *Журнал физической химии*. 2008. Т. 82, № 3. С. 421–425
9. *Ильин К.К., Черкасов Д.Г.* Фазовые равновесия и эффекты высаливания в системе цезий нитрат – триэтиламин – вода при 5–25°С // *Журнал физической химии*. 2013. Т. 87, № 4. С. 621–625.
10. *Черкасов Д.Г., Курский В.Ф., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат цезия – вода – ацетонитрил // *Журнал неорганической химии*. 2008. Т. 53, № 1. С. 146–152.
11. *Курский В.Ф., Черкасов Д.Г., Ильин К.К.* Топологическая трансформация фазовой диаграммы тройной системы нитрат натрия – вода – ацетонитрил // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Химия, биология, экология*. 2006. Т.6, № 1. С. 9–13.
12. *Elokhov A.M., Stankova A.V., Kudryashova O.S., et al.* Topological transformation of phase diagrams water – ethoxylated nonylphenols – sodium chloride systems // *Вестник Карагандинского университета*. 2018. V. 92, № 4. P. 35–39.
13. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Закономерности всаливания в системах неорганическая кислота – оксиэтилированное ПАВ – вода // *Журнал физической химии*. 2019. Т. 93, № 9. С. 1415–1419.
14. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Топологическая трансформация фазовых диаграмм псевдотрехкомпонентных систем КВг – оксиэтилированное ПАВ – вода // *Журнал неорганической химии*. 2017. Т. 62, № 5. С. 586–591.
15. *Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Возможность использования систем соль магния – моноалкилполиэтиленгликоль – вода в мицеллярной экстракции // *Журнал неорганической химии*. 2016. Т. 61, № 2. С. 256–262.
16. *Станкова А.В., Елохов А.М., Кудряшова О.С., Леснов А.Е.* Температурная трансформация фазовых диаграмм систем вода – оксиэтилированный нонилфенол – MgCl₂ // *Журнал неорганической химии*. 2020. Т. 65, № 12. С. 1691–1696.

17. Елохов А.М., Леснов А.Е., Кудряшова О.С. Влияние природы аниона высаливателя на расслаивание в системах соль калия – бис(алкилполиоксиэтилен)фосфат калия – вода // Журнал физической химии. 2016. Т. 90, № 10. Р. 1491–1496.
18. Никурашина Н.И., Мерцлин Р.В. Метод сечений. Приложение к изучению многофазного состояния многокомпонентных систем. Саратов: Саратовск. ун-т, 1969. 122 с.
19. Кургинцев А.Н. Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. Л.: Химия, 1972. 248 с.
20. Шильковская Д.О., Елохов А.М., Денисова С.А., и др. Фазовые равновесия и экстракция ионов металлов в системах на основе смесей оксипропилированных нонилфенолов// Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 79, № 9. С. 2036–2040.

Информация об авторах

Дарья Олеговна Шильковская, ассистент, кафедра аналитической химии и экспертизы, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15); аспирант, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, 3), dasha_03_12@vk.com.

Александр Михайлович Елохов, кандидат химических наук, доцент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15), elhalex@yandex.ru.

Юлия Валерьевна Смолина, студент, кафедра неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет (614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Поступила 5 марта 2024 г.; принята к публикации 12 марта 2024 г.

References

1. Valyashko, V.M. (1990) *Fazovye ravnovesiya i svoystva gidrotermal'nyh system* [Phase equilibria and properties of hydrothermal systems], Nauka, Moscow.
2. Cherkasov, D.G. and Il'in, K.K. (2013) Topology of phase diagrams of ternary condensed systems salt - binary solvent with salting in - salting out, *In X International Kurnakov Meeting on Physicochemical Analysis*, Saratov, pp. 58–62.
3. Elokho, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova, O.S. (2018) Topologic Transformation of Inorganic Salt – Oxyethylated Surfactant – Water Phase Diagrams in Response to Changing Temperature, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 63, no. 12, pp. 1636–1643.
4. Il'in, K.K. and Cherkasov, D.G. (2016) Solid–Liquid and Solid–Liquid–Liquid Equilibria in the KI + H₂O + i-C₃H₇OH Ternary System within 10–120°C, *Chemical Engineering Communications*, vol. 203, no. 5, pp. 642–648.

5. Sinigubova, S.I., Il'in, K.K., Cherkasov, D.G., Kurskii, V.F. and Tkachenko, N.V. (2004) Salting-out of isopropyl alcohol from aqueous solutions with potassium nitrate, *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 77, no. 12, pp. 1924–1928.
6. Cherkasov, D.G., Smotrov, M.P. and Il'in, K.K. (2010) Topological transformation of the phase diagram of the potassium nitrate – water – n-butoxyethanol ternary system, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 84, no. 6, pp. 922–927.
7. Smotrov, M.P., Cherkasov, D.G. and Il'in, K.K. (2010) Topological transformation of the phase diagram of the ternary system potassium formate – water – n-butoxyethanol, *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, vol. 10, no. 2, pp. 7–13.
8. Il'in, K.K., Kurskii, V.F., Cherkasov, D.G. and Sinigubova, S.I. (2008) Phase equilibria and critical phenomena in the potassium nitrate – water – diethylamine ternary system, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 82, no. 3, pp. 343–347.
9. Il'in, K.K. and Cherkasov, D.G. (2013) Phase equilibria and salting-out effects in a cesium nitrate-triethylamine- water system at 5–25°C, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 87, no. 4, pp. 598–602.
10. Cherkasov, D.G., Kurskii, V.F. and Il'in, K.K. (2008) Topological transformation of the phase diagram for the ternary system cesium nitrate – water – acetonitrile, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 53, no. 1, pp. 139–145.
11. Kurskii, V.F., Cherkasov, D.G., Il'in, K.K. (2006) Topological transformation of the phase diagram of the ternary system sodium nitrate – water – acetonitrile, *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, vol. 6, no. 1, pp. 9–13.
12. Elokhov, A.M., Stankova, A.V., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2018) Topological transformation of phase diagrams water – ethoxylated nonylphenols – sodium chloride systems, *Bulletin of the Karaganda University. Chemistry*, vol. 92, no. 4, pp. 35–39.
13. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S., Lesnov, A.E. (2019) Salting-in Effects in Inorganic Acid – Ethoxylated Surfactant – Water Systems, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 93, no. 9, pp. 1822–1826.
14. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2017) Topological Transformation of Phase Diagrams in KBr – Oxyethylated Surfactant – Water Pseudo-Ternary Systems, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 62, no. 5, pp. 585–590.
15. Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2016) Potential of Magnesium Salt – Monoalkylpolyethylene Glycol – Water Systems for Use in Micellar Extraction, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 61, no. 2, pp. 243–249.
16. Stankova, A.V., Elokhov, A.M., Kudryashova, O.S. and Lesnov, A.E. (2020) Temperature-Induced Transformation of Phase Diagrams for Water – Oxyethylated Nonylphenol – MgCl₂ Systems, *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 65, no. 12, pp. 1922–1927.
17. Elokhov, A.M., Lesnov, A.E. and Kudryashova O.S. (2016) Effect of the Nature of a Salting-Out Agent Anion on the Phase Separation of a Potassium Salt–Potassium Bis(alkyl polyoxyethylene)phosphate–Water Systems, *Russian Journal of Physical Chemistry A*, vol. 90, no. 10, pp. 1972–1977.

18. Nikurashina, N.I. and Mertslin, R.V. (1969) *Metod sechenij. Prilozhenie ego k izucheniyu mnogofaznogo sostoyaniya mnogokomponentnyh sistem* [The method of sections. Application to the study of his state multiphase multicomponent systems], Saratov University, Saratov (in Russian).

19. Kirgintsev, A.N. (1972) *Rastvorimost' neorganicheskikh veshchestv v vode* [Solubility of inorganic substances in water], Khimiya, Leningrad.

20. Shilykovskaya, D.O., Elokhov, A.M., Denisova, S.A. and Lesnov, A.E. (2023) Phase equilibria and extraction of metal ions in systems based on mixtures of oxyethylated nonylphenols, *Russian Chemical Bulletin*, vol. 72, no. 9, pp. 2036–2040.

Information about the authors

Daria O. Shilykovskaya, Assistant, Department of analytical chemistry and expertise, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068); Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (3, Academic Korolev st., Perm, Russia, 614013), dasha_03_12@vk.com.

Aleksandr M. Elokhov, Candidate of Chemistry Sciences, Associate professor, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068), elhalex@yandex.ru.

Yulia V. Smolina, Student, Department of inorganic chemistry, chemical technology and technosphere safety, Perm State University (15, Bukirev st., Perm, Russia, 614068).

Conflicts of interests

The authors declare no conflicts of interests.

Submitted 5 March 2024; accepted 12 March 2024