

УДК 542.61:544.344

DOI: 10.15372/KhUR2021278

## Двухфазные водные системы на основе хлорида алкилбензилдиметиламмония и неорганических высаливателей

А. Е. ЛЕСНОВ<sup>1,2</sup>, О. С. КУДРЯШОВА<sup>2,3</sup>, Е. Ю. ЧУХЛАНЦЕВА<sup>1</sup>, С. А. ДЕНИСОВА<sup>3</sup><sup>1</sup>Институт технической химии УрО РАН,  
Пермь (Россия)

E-mail: lesnov\_ae@mail.ru

<sup>2</sup>Пермский государственный аграрно-технологический университет им. акад. Д. Н. Прянишникова,  
Пермь (Россия)<sup>3</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
Пермь (Россия)

(Поступила 18.03.20; после доработки 28.09.20)

### Аннотация

Разработка новых двухфазных водных систем на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) для целей экстракции требует выявления закономерностей расслаивания в зависимости от природы ПАВ и высаливателя. Изучены фазовые равновесия в тройных водных расслаивающихся системах, содержащих катионное ПАВ (хлорид алкилбензилдиметиламмония – катамин АБ) и неорганический высаливатель. Катамин АБ образует расслаивающиеся системы с хлоридами (KCl, NaCl, NH<sub>4</sub>Cl, LiCl, CaCl<sub>2</sub>), сульфатами (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), нитратами (KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, LiNO<sub>3</sub>, Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), а также с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, KHCO<sub>3</sub>, NaBr, KSCN, NH<sub>4</sub>F, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub>. Обсуждено влияние природы высаливателя на процесс расслаивания систем. Лучшими высаливателями для катамина АБ служат нитраты, имеющие относительно низкое значение энергии гидратации в ряду изученных анионов. Построена фазовая диаграмма системы “вода – катамин АБ – хлорид натрия”. Область расслаивания системы существует в достаточно широком интервале кислотности: до 2.4 моль/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (или HCl) и до 2.8 моль/л NH<sub>3</sub> (или 4.7 моль/л NaOH). Фазы остаются прозрачными при всех изученных концентрациях неорганических кислот и оснований. Проведена оценка экстракционной способности системы “вода – катамин АБ – хлорид натрия”. Таллий (III) количественно извлекается в интервале концентраций H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> от 0.5 до 2 моль/л. Расширить ассортимент извлекаемых металлов можно при использовании органических комплексообразующих реагентов. Количественное извлечение комплекса лантана (100 мкг) с 1 мл раствора арсената III (0.01 моль/л) наблюдается в системе, содержащей 2.2 г катамина АБ, 2.0 г хлорида натрия при общем объеме 15 мл и pH ~8.

**Ключевые слова:** фазовые равновесия, катамин АБ, двухфазные водные системы

### ВВЕДЕНИЕ

Исключить органические растворители из процесса жидкостной экстракции можно при использовании водных систем, расслаивающихся в результате химического взаимодействия между компонентами водного раствора [1], а также при

расслоении водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ) при добавлении высаливателя. Из числа анионных ПАВ этой способностью обладают алкилсульфаты, алкилсульфонаты [2, 3], оксифос Б (бис(алкилполиоксоэтилен) фосфат калия) [4]; из неионных – синтанолы (алкиловые эфиры полиэтиленгликоля) [5], син-

тамиды (полиэтиленгликолевые эфиры моноэтаноламидов синтетических жирных кислот) [6], неонолы (оксиэтилированные нонилфенолы) [7]; из катионных – хлорид цетилпиридиния [8], катамин АБ (хлорид алкилдиметилбензиламмония) [9, 10]. Смеси анионных и катионных ПАВ способны расслаиваться без введения высаливателя [11, 12]. Отличительной чертой этих систем является высокая концентрация воды в экстракте, что обеспечивает гидратацию экстрагируемых гидрофильных соединений.

Разработка новых экстракционных систем “вода – ПАВ – высаливатель” требует выявления закономерностей расслаивания в зависимости от природы ПАВ и высаливателя. На примере полиэтиленгликоля показано, что высаливающая способность солей, в первую очередь, зависит от энергии гидратации аниона [13]. Такая же закономерность наблюдается для оксиэтилированных ПАВ: синтамидов [14], неонолов [15] и оксифоса Б [16].

Цель данной работы – выяснить влияние природы высаливателя на фазовые равновесия водных растворов катионного ПАВ, не содержащего оксиэтильных групп, катамина АБ, и показать возможность его использования для экстракции.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Хлорид алкилбензилдиметиламмония,  $[C_n H_{2n+1} N^+(CH_3)_2 CH_2 C_6 H_5] Cl$ , где  $n = 10-18$ , 50 %-й водный раствор (катамин АБ), ТУ 9392-003-48482528-99. В качестве примесей может содержать до 0.5 % третичных аминов и до 1.7 % солей третичных аминов.

Границы областей расслаивания в системах “вода – катамин АБ – высаливатель” определены методом изотермического титрования, фазовые переходы регистрировали визуально. Система “вода – катамин АБ – хлорид натрия” при 25 °С изучена методом сечений [17]. Координаты критической точки определены по правилу Алексева. Система является условно трехкомпонентной, поскольку катамин АБ представляет собой смесь ряда гомологов с технологическими примесями. В наших исследованиях 100 %-му катамину АБ на фазовых диаграммах отвечает промышленно выпускаемый препарат – 50 % водный раствор алкилдиметилбензиламмоний хлорида (Катамин АБ, ТУ 9392-003-48482528-99).

Распределение  $1 \cdot 10^{-4}$  моль ионов металлов в системе “вода – катамин АБ – NaCl – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>”

изучали, помещая в делительную воронку раствор состава: 2.25 г NaCl, 1 мл 0.1 моль/л соли металла, 3 мл 50 %-го раствора катамина АБ; раствором серной кислоты создавали необходимую среду и доводили объем дистиллированной водой до 15 мл. Встряхивали в течение 1 мин. После расслоения экстракт количественно переносили в коническую колбу для титрования, добавляли 50 мл дистиллированной воды и определяли содержание металла комплексонометрически. Также комплексонометрическим методом проводилось определение остаточного содержания ионов металлов в рафинате. По полученным результатам рассчитывалась степень извлечения.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Катамин АБ образует расслаивающиеся системы с хлоридами (KCl, NaCl, NH<sub>4</sub>Cl, LiCl, CaCl<sub>2</sub>), сульфатами (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), нитратами (KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, NaNO<sub>3</sub>, Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, LiNO<sub>3</sub>, Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), а также с Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, KHCO<sub>3</sub>, KSCN, NaBr, NH<sub>4</sub>F, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub>. Обе фазы представляют собой подвижные прозрачные жидкости (кроме систем с карбонатами), верхний слой в которых – мутная, гелеобразная фаза.

На рис. 1 представлены границы областей расслаивания, которые образуются при введении различных нитратов в водный раствор катамина АБ. Области двухфазного жидкого равновесия расположены близко к водной вершине (до 99 мас. % воды) и существуют в достаточно широком интервале кислотности.

Величина площади области расслаивания зависит от природы соли и увеличивается в следующем ряду: KNO<sub>3</sub> < Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> < NaNO<sub>3</sub> < NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> < Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> < LiNO<sub>3</sub> < Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.

В системах с хлоридами (рис. 2) области расслаивания значительно уже и расположены дальше от водной вершины треугольника состава, концентрация воды в расслаивающихся смесях не превышает 85 мас. %. Исходя из величины области расслаивания, соли можно расположить в ряд: CaCl<sub>2</sub> > LiCl > NH<sub>4</sub>Cl > NaCl > KCl.

Помимо упомянутых солей расслаивание водных растворов катамина АБ наблюдалось в присутствии карбонатов (рис. 3). Эти системы могут быть использованы для экстракции из щелочных растворов. Границы расслаивания в системах с сульфатами (рис. 4), фторидом аммония, гидрофосфатом аммония довольно уз-

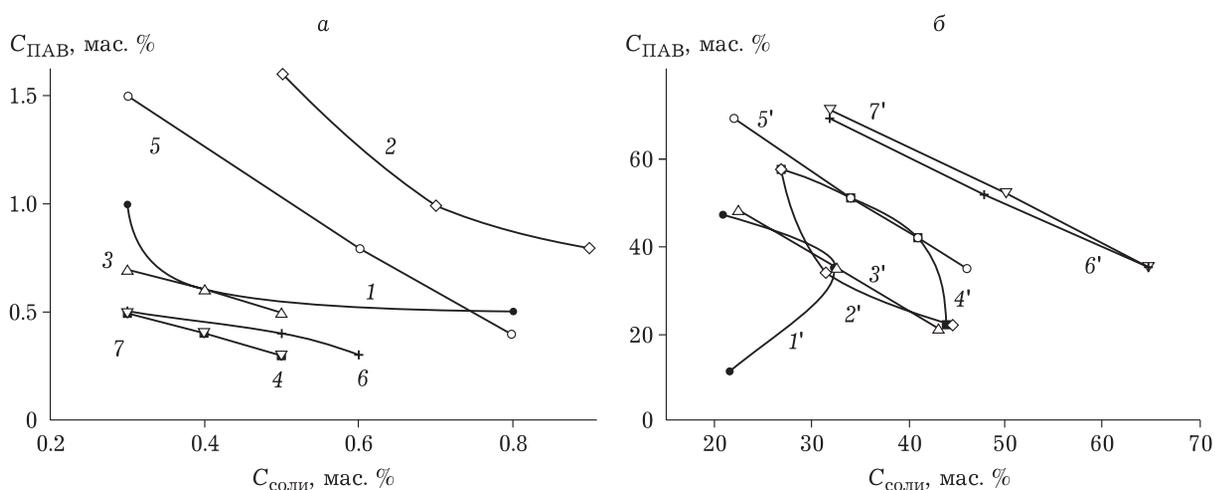


Рис. 1. Верхняя (а) и нижняя (б) границы области расслаивания в системах “вода – катамин АБ – нитрат металла”: 1, 1' –  $KNO_3$ ; 2, 2' –  $Mg(NO_3)_2$ ; 3, 3' –  $NaNO_3$ ; 4, 4' –  $NH_4NO_3$ ; 5, 5' –  $Ca(NO_3)_2$ ; 6, 6' –  $LiNO_3$ ; 7, 7' –  $Al(NO_3)_3$ . Здесь и на рис. 2–5:  $C_{ПAB}$ ,  $C_{соли}$  – концентрации катамина АБ и соли соответственно. Цифрами без штриха обозначены верхние границы, со штрихом – нижние границы расслаивания.

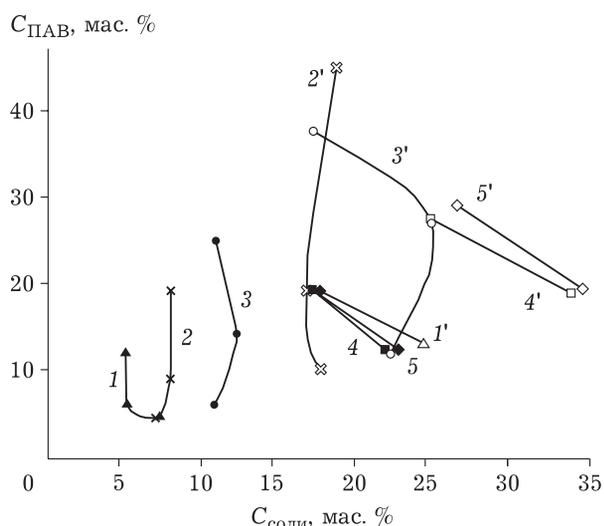


Рис. 2. Границы области расслаивания в системах “вода – катамин АБ – хлорид металла”: 1, 1' –  $NaCl$ ; 2, 2' –  $KCl$ ; 3, 3' –  $NH_4Cl$ ; 4, 4' –  $CaCl_2$ ; 5, 5' –  $LiCl$ . Обозн. см. рис. 1.

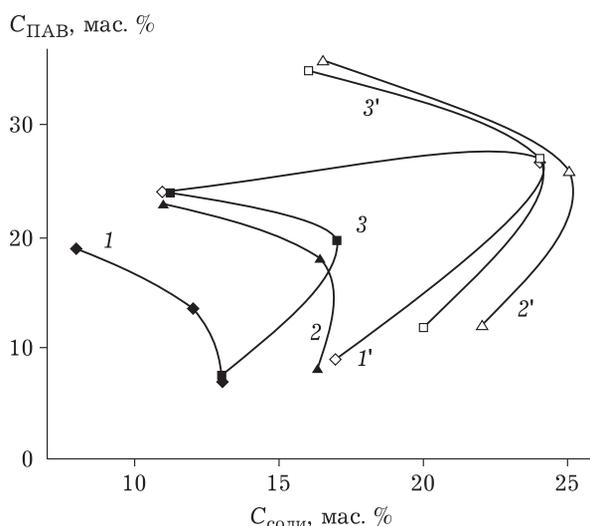


Рис. 3. Границы области расслаивания в системах “вода – катамин АБ – карбонат металла”: 1, 1' –  $Na_2CO_3$ ; 2, 2' –  $KHCO_3$ ; 3, 3' –  $K_2CO_3$ . Обозн. см. рис. 1.

кие, а концентрация воды в расслаивающихся смесях ниже, чем в нитратных и хлоридных системах. В системе с бромидом натрия расслаивание сохраняется в широком интервале концентраций (рис. 5).

Построена фазовая диаграмма системы “вода – катамин АБ – хлорид натрия” (рис. 6). На диаграмме установлены следующие фазовые области:  $L$  – гомогенная,  $L_1 + L_2$  – расслаивания,  $L_1 + L_2 + S$  – монотектического равновесия,  $L + S$  – кристаллизации хлорида натрия. Ноды области расслаивания идут практически параллельно предельной ноды. Соотношение концентраций катамин АБ/вода/ $NaCl$  в критиче-

ской точке равно 8.0 : 84.0 : 8.0 (мас. %). Область расслаивания располагается в виде узкой полосы вдоль стороны “катамин АБ – вода” и занимает 12.3 % площади концентрационного треугольника. Концентрация воды в расслаивающихся смесях не превышает 85.6 мас. %, хлорида натрия – от 4.5 до 22.0 мас. %. Обе фазы представляют собой прозрачные подвижные жидкости. Фаза ПАВ имеет слабое желтоватое окрашивание, характерное для катамина АБ.

Состав равновесных жидких фаз, соответствующих ноды области расслаивания, представлен в табл. 1. В фазе, обогащенной ПАВ, содержится значительное количество соли и

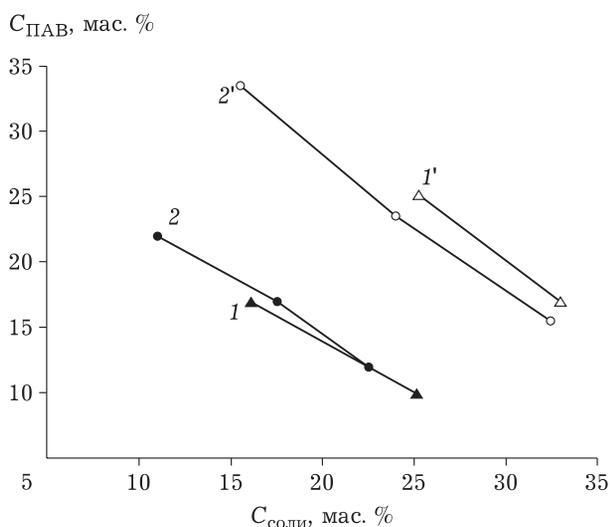


Рис. 4. Границы области расслаивания в системах “вода – катамин АВ – сульфат металла”: 1, 1' –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ; 2, 2' –  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Обозн. см. рис. 1.

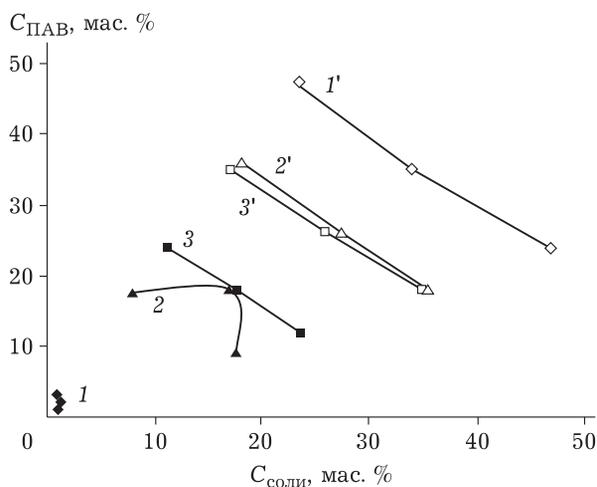


Рис. 5. Границы области расслаивания в системах “вода – катамин АВ – соли металла”: 1, 1' –  $\text{NaBr}$ ; 2, 2' –  $\text{NH}_4\text{F}$ ; 3, 3' –  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ . Обозн. см. рис. 1.

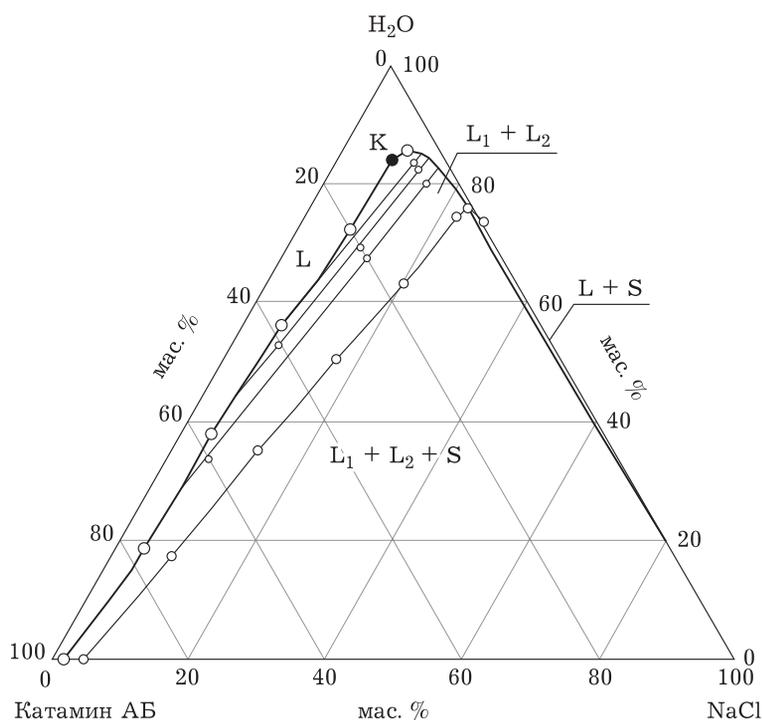


Рис. 6. Фазовая диаграмма системы “вода – катамин АВ –  $\text{NaCl}$ ” при 25 °С.

воды, что обуславливает процессы гидратации экстрагируемых гидрофильных соединений в отличие от традиционной экстракции.

Для использования системы в экстракции большое значение имеет интервал кислотности (рН), в котором сохраняется расслаивание. Изучение соотношения объемов фаз при разном количестве неорганических кислот и щелочей проводили в градуированных пробирках с притертыми пробками. Общий объем системы под-

держивали равным 15 мл при содержании катамина АВ и  $\text{NaCl}$  – 1.5 и 2.25 г соответственно. В этих условиях объем фазы ПАВ составляет 1.2 мл, что достаточно для практических целей. Растворы катамина АВ в отсутствие высаливателей и неорганических кислот и щелочей имеют рН ~6. Фаза ПАВ представляет собой прозрачную, подвижную жидкость бледно-желтого цвета, которая находится над водной фазой. Область расслаивания системы существует в до-

ТАБЛИЦА 1

Состав равновесных жидких фаз (мас. %) в системе “вода – катамин АБ – хлорид натрия”

№	Нижняя фаза (водная)			Верхняя фаза (фаза ПАВ)		
	Катамин АБ*	NaCl	Вода	Катамин АБ*	NaCl	Вода
1	1.8	11.4	86.8	18.4	6.0	75.6
2	1.3	12.6	86.1	25.3	4.8	69.9
3	0.9	14.4	84.7	33.1	4.8	62.1

\* В пересчете на 100 % вещества.

статочном широком интервале кислотности до 2.4 моль/л  $H_2SO_4$  (HCl). Фазы системы остаются прозрачными при всех изученных концентрациях неорганических кислот. Следует отметить, что объем фазы ПАВ при увеличении концентрации  $H_2SO_4$  практически не меняется. В присутствии HCl небольшое уменьшение объема фазы ПАВ (до 0.8 мл) наблюдается при концентрациях кислоты больше, чем 1.6 моль/л.

Расслаивание сохраняется в щелочной среде. При введении  $NH_3$  объем фазы ПАВ практически не изменяется, обе фазы остаются прозрачными. Система становится гомогенной при достижении концентрации  $NH_3$  2.8 моль/л. При добавлении щелочи область расслаивания сохраняется еще в более широком интервале pH. При этом наблюдается небольшое уменьшение объема фазы ПАВ от 1.2 до 0.8 мл. Установлено, что введение NaOH до концентрации 4.7 моль/л не нарушает двухфазное жидкое равновесие. Более щелочные среды не изучались.

Возможная область применения изученных расслаивающихся систем – жидкостная экстракция, налагает ряд особых требований:

- минимально возможное содержание ПАВ и соли;
- достаточный для практических целей объем экстракта;
- прозрачность фаз (при использовании систем в экстракционно-фотометрических методах анализа);
- возможность варьирования концентрации воды при сохранении расслаивания;
- широкий интервал кислотности существования области расслаивания.

На основании этих требований для систем, представляющих наибольший интерес для экстракции, установлены конкретные соотношения компонентов (табл. 2).

По величине площади области расслаивания оценена высаливающая способность соли:  $LiNO_3 > KSCN > NH_4NO_3 > Al(NO_3)_3 > Ca(NO_3)_2 > NaNO_3 > HNO_3 > CaCl_2 > LiCl > KCl > NH_4Cl >$

NaCl. Лучшими высаливателями для катамина АБ служат нитраты, имеющие минимальное значение энергии гидратации в ряду изученных анионов. Наблюдаемую зависимость можно объяснить образованием ионного ассоциата положительно заряженной мицеллы ПАВ с анионом высаливателя. Чем меньше абсолютное значение энергии гидратации аниона, тем он менее гидратирован. При этом образовавшийся ассоциат имеет большую гидрофобность и легче формирует самостоятельную фазу.

Катамин АБ проявляет катионоактивный характер, следовательно существует возможность экстракции по анионообменному механизму металлов, способных к образованию ацидокомплексов. В системе “вода – катамин АБ – хлорид натрия” изучено распределение 0.01 моль/л ионов металлов в зависимости от концентраций серной кислоты (рис. 7). Степень извлечения (R) макроколичеств элементов определяли по их содержанию в водной фазе и экстракте. Преимущество систем подобного типа заключается в способности экстракта растворяться в воде. Поэтому для определения содержания иона металла в экстракт, последний количественно переносили в колбу для титрования, добавляли 50–70 мл дистиллированной воды, устанавливали необходимое значение pH, добавляли соответствующий индикатор и находили количество извлеченного металла комплексометрическим методом.

В отсутствие неорганической кислоты в данной системе экстракция ионов металлов – незначительная. Введение  $H_2SO_4$  приводит к увеличению степени извлечения большинства ионов металлов, за исключением Cu, Zn, Cd. Наибольший интерес в этой системе представляет извлечение Tl (III). Для количественного извлечения весьма устойчивого тетрахлороталлата достаточно концентрации  $H_2SO_4$  0.5 моль/л. При концентрации серной кислоты 2 моль/л наблюдается максимальная степень извлечения ионов металлов, %: Fe (III) – 80, Mo (VI) – 76,

ТАБЛИЦА 2

Характеристика области расслаивания систем\* “вода – катамин АБ – высаливатель”

Высаливатель	$m_{\text{ПАВ}}, \text{ г}$	$m_{\text{соли}}, \text{ г}$	$V_{\text{ПАВ}}, \text{ мл}$	$\text{pH}_{\text{равн.}}$	$C_{\text{мин}}, \%$	$S_{\text{рас}}, \%$	Интервал кислотности существования области расслаивания
NaCl	1.25	2.5	1.0	6.3	10.9	12.3	от 2.4 моль/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ (HCl) до 2.8 моль/л $\text{NH}_3$ (до $> 4.7$ моль/л NaOH)
KCl [9]	1.5	1.3	3.0	6.0	9.4	21.6	от 3.5 моль/л HCl (3.0 моль/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) до 4.0 моль/л $\text{NH}_3$ (0.47 моль/л NaOH)
LiCl [9]	–	–	–	–	13.6	26.5	–
$\text{CaCl}_2$ [9]	–	–	–	–	17.5	27.4	–
$\text{NH}_4\text{Cl}$ [9]	0.95	2.45	2.4	5.0	12.8	20.6	от 2.8 моль/л HCl (1.4 моль/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) до 0.4 моль/л NaOH
$\text{NH}_4\text{NO}_3$ [10]	0.9	1.0	1.0	5.6	1.5	76.3	от 8 моль/л HCl (11.5 моль/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) до 7.9 моль/л NaOH (4.5 моль/л $\text{NH}_3$ )
$\text{HNO}_3$ [10]	–	–	–	–	2.0	32.5	–
$\text{LiNO}_3$ [10]	–	–	–	–	1.5	81.2	–
$\text{NaNO}_3$ [10]	–	–	–	–	1.7	57.7	–
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ [21]	–	–	–	–	0.6	64.5	–
$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ [22]	–	–	–	–	1.3	73.3	–
KSCN [22]	0.9	0.6	–	–	3.5	76.4	до 6.0 моль/л $\text{H}_2\text{SO}_4$ (HCl)

\* Общий объем системы 15 мл.

Примечание. 1.  $m_{\text{ПАВ}}, V_{\text{ПАВ}}$  – масса и объем фазы ПАВ (Катамин АБ);  $m_{\text{соли}}$  – масса высаливателя;  $C_{\text{мин}}$  – минимальная концентрация высаливателя, при которой наблюдается расслаивание;  $\text{pH}_{\text{равн.}}$  – равновесное значение pH при указанных количествах компонентов системы;  $S_{\text{рас}}$  – площадь области расслаивания в % от площади треугольника состава. 2. Прочерк – нет данных.

Ga – 51, Sc – 18. Дальнейшее увеличение концентрации кислоты невозможно, так как происходит гомогенизация системы. Ионы металлов извлекаются по анионообменному механизму в виде хлоридных ацидокомплексов. Предпола-

гаемый механизм экстракции  $\text{Ti}^{3+}$  можно представить уравнением:

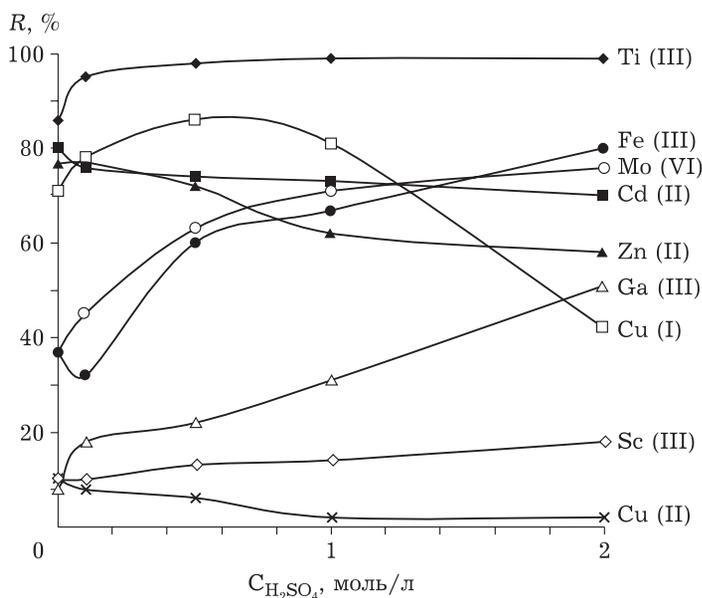
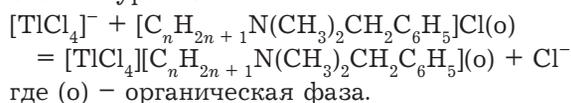


Рис. 7. Экстракция ионов металлов ( $1 \cdot 10^{-4}$  моль) в системе “вода – катамин АБ – NaCl –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ”. R, % – степень извлечения ионов металлов;  $C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  – концентрация серной кислоты, моль/л; масса  $m_{\text{катамина АБ}} = 1.5$  г;  $m_{\text{NaCl}} = 2.25$  г; общий объем  $V = 15$  мл.

Данные по извлечению ионов металлов из растворов HCl опубликованы ранее [18].

Расширить ряд извлекаемых металлов можно при использовании органических комплексообразующих реагентов. Например, известный фотометрический реагент арсеназо I в системе “вода – катамин АБ – хлорид натрия” экстрагируется с коэффициентом распределения 470 [19]. Определены условия количественного извлечения ионов лантана в виде внутрикомплексного соединения с этим реагентом. Экстракцию лантана проводили в делительных воронках, помещая в них 2.2 г катамина АБ, 2.0 г хлорида натрия, 1 мл 0.01 моль/л раствора арсеназо I, раствор нитрата лантана, содержащий 100 мкг металла, добавляли раствор аммиака до pH 8 (оптимальные условия образования комплексного соединения) и доводили общий объем системы до 15 мл дистиллированной водой. Объем фазы ПАВ составил 2.8 мл. Содержание лантана в экстракте определяли фотометрически [20]. Для этого экстракт количественно переносили в мерную колбу на 25 мл, доводили до метки дистиллированной водой и измеряли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-2000 (Россия) при 540 нм на фоне раствора экстракта холостого опыта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что водные растворы катамина АБ способны расслаиваться на две жидкие фазы под действием неорганических солей. Наибольшей высаливающей способностью обладают анионы с относительно низкой энергией гидратации. Полученные двухфазные водные системы пригодны для извлечения ионов металлов. Экстракция ацидокомплексов происходит в виде ионных ассоциатов по анионообменному механизму, при этом катамин АБ составляет катионную часть. В присутствии дополнительных органических реагентов-комплексобразователей возможна экстракция внутрикомплексных соединений.

Работа выполнена по теме государственного задания № АААА-А18-118032790022-7 с использованием оборудования ЦКП “Исследования материалов и вещества” ПФИЦ УрО РАН (Пермь).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров Б. И., Леснов А. Е., Денисова С. А. Фазовые и экстракционные равновесия в водных расслаивающихся системах с протолитическим взаимодействием // Журн. аналит. химии. 2015. Т. 70, № 6. С. 563–576.
- Tagashira S., Ichimaru T., Nozaki K., Murakami Y. Surfactant gel extraction of metal ammine complexes using SDS and KCl at room temperature, and a small-angle X-ray diffraction study of the surfactant phase // Solvent Extraction Research and Development. Japan. 2013. Vol. 20. P. 39–52.
- Заболотных С. А., Гилева К. О., Леснов А. Е., Денисова С. А. Сравнение экстракционных возможностей систем на основе сульфанола, додецилсульфата натрия или алкилбензолсульфокислоты // Журн. приклад. химии. 2019. Т. 92, № 4. С. 516–522.
- Леснов А. Е., Денисова С. А., Чухланцева Е. Ю., Заболотных С. А., Останина Н. Н. Гель-экстракция тиоцианатных комплексов металлов в расслаивающихся системах “вода – катамин АБ – хлорид калия” и “вода – оксифос Б – сульфат аммония” // Химия уст. разв. 2015. Т. 23, № 4. С. 361–366.
- Кудряшова О. С., Денисова С. А., Попова М. А., Леснов А. Е. Фазовые равновесия в системах “вода – сульфаты щелочных металлов или аммония – синтанол” // Журн. неорган. химии. 2013. Т. 58, № 2. С. 286–289.
- Леснов А. Е., Головкина А. В., Кудряшова О. С., Денисова С. А. Двухфазные водные системы на основе полиэтиленгликолевых эфиров моноэтаноламидов синтетических жирных кислот и неорганических высаливателей // Химия уст. разв. 2016. Т. 24, № 1. С. 29–33.
- Станкова А. В., Елохов А. М., Леснов А. Е. Экстракция галогенидных и тиоцианатных ацидокомплексов металлов в системе “вода – оксиэтилированный нонилфенол – сульфат аммония” // Журн. СФУ. Серия Химия. 2019. Т. 12, № 3. С. 328–335.
- Murakami Y., Dobashi Y., Sasaki Y., Fujiwara I., Abe N., Tagashira S. The separation of platinum (II), palladium (II) and rhodium (III) by surfactant gel extraction and an abnormal dependence of metal concentrations on the extractability of chloro-complexes into the cationic surfactant phase // Solvent Extraction Research and Development. Japan. 2008. Vol. 15. P. 121–126.
- Кудряшова О. С., Бортник К. А., Чухланцева Е. Ю., Денисова С. А., Леснов А. Е. Растворимость в системах “вода – катамин-АБ – хлориды щелочных металлов или аммония” // Журн. неорган. химии. 2013. Т. 58, № 2. С. 290–293.
- Леснов А. Е., Кудряшова О. С., Денисова С. А., Чухланцева Е. Ю. Фазовые и экстракционные равновесия в системах “вода – алкилбензилдиметиламмоний хлорид – азотная кислота или ее соли” // Журн. физ. химии. 2019. Т. 93, № 5. С. 668–672.
- Dai C., Liu Y., Wang Sh., Du M., Peng D., Wang K., Yang Zh., Zhao M. Investigation on the phase behaviors of aqueous surfactant two-phase systems in a mixture of N-dodecyl-N-methylpiperidinium bromide (C<sub>12</sub>MDB) and sodium dodecyl sulfate (SDS) // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2015. Vol. 468. P. 322–326.
- Денисова С. А., Исаева Ю. И., Елохов А. М., Леснов А. Е. Экстракция тиоцианатных комплексов металлов в системах на основе бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия и хлорида алкилбензилдиметиламмония // Химия уст. разв. 2019. Т. 27, № 4. С. 353–357.
- Нифантьева Т. И., Матоушова В., Адамцова З., Шкинев В. М. Двухфазные водные системы на основе полиэтиленгликоля и неорганических солей // Высокомолекулярные соединения. Серия А. 1989. Т. 31, № 10. С. 2131–2135.
- Леснов А. Е., Головкина А. В., Кудряшова О. С., Денисова С. А. Фазовые и экстракционные равновесия в системах “вода – полиэтиленгликолевые эфиры моноэтанола-

- мидов синтетических жирных кислот – хлорид аммония” // Журн. физ. химии. 2016. Т. 90, № 8. С. 1200–1204.
- 15 Станкова А. В., Елохов А. М., Кудряшова О. С. Высаливающая способность неорганических солей в растворах оксиэтилированных нонилфенолов // Журн. физ. химии. 2018. Т. 92, № 7. С. 1144–1149.
- 16 Елохов А. М., Леснов А. Е., Кудряшова О. С. Закономерности высаливания анионного оксиэтилированного поверхностно-активного вещества калий бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата неорганическими солями // Журн. неорган. химии. 2017. Т. 62, № 9. С. 1274–1280.
- 17 Кудряшова О. С., Елохов А. М. Изучение тройных расслаивающихся систем методом сечений // Вестн. Перм. ун-та. Серия Химия. 2019. Т. 9. Вып. 4. С. 320–330.
- 18 Леснов А. Е., Денисова С. А., Кудряшова О. С., Чепкасова А. В., Катаева Е. Ю., Мохнаткина Н. Н. Применение расслаивающихся систем “вода – поверхностно-активное вещество – высаливатель” для целей экстракции // Журн. прикл. химии. 2010. Т. 83, № 8. С. 1379–1382.
- 19 Денисова С. А., Леснов А. Е., Чухланцева Е. Ю. Экстракция фотометрических реагентов в системе “вода – катамин АБ – хлорид натрия” // Вестн. Перм. ун-та. Серия Химия. 2013. Вып. 1 (9). С. 47–54.
- 20 Шарло Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений. М.: Химия, 1965. 976 с.
- 21 Кудряшова О. С., Леснов А. Е., Чухланцева Е. Ю., Бортник К. А., Денисова С. А. Фазовые равновесия в системах “вода – катамин АБ – нитрат или хлорид кальция” // Вестн. Перм. ун-та. Серия Химия. 2017. Т. 7. Вып. 2. С. 126–136.
- 22 Денисова С. А., Кудряшова О. С., Елохов А. М., Леснов А. Е. Растворимость и экстракция ионов металлов в системах “бис(алкилполиоксиэтилен)фосфата калия (или хлорид алкилбензилдиметиламмония) – тиоцианат калия (или аммония) – вода” при 25 °С // Журн. неорган. химии. 2019. Т. 64, № 6. С. 655–659.