

УДК 542.61:547.775

Б.И. Петров, А.Е. Леснов, С.А. Денисова

Фазовые равновесия и распределение элементов в системах вода–диантипирилметан или его производное – органическая кислота

Экстракционные методы извлечения, разделения и концентрирования приобрели широкое значение в аналитической химии. Сочетание этих методов с физико-химическим определением ионов металлов позволяет существенно улучшить метрологические характеристики анализа различных природных и технических объектов. Однако традиционные экстракционные методы имеют ряд недостатков, основной из которых заключается в необходимости применения пожароопасных и токсичных органических растворителей. Проблема повышения безопасности экстракционных процессов может быть решена использованием систем без органического растворителя, причиной расслаивания которых является химическое взаимодействие компонентов водного раствора. Системы подобного типа с антипирином (Ант) и различными органическими кислотами рассмотрены в обзоре [1].

При переходе от Ант к диантипирилалканам сохраняется свойство этих оснований расслаивать водные растворы органических кислот. Что касается возможностей диантипирилалканов как экстракционных реагентов, то их способность к комплексообразованию усиливается за счет образования хелатных соединений. Низкая растворимость реагентов и их комплексов в водных растворах положительно сказывается на экстракции ионов металлов. Учитывая вышесказанное, следовало ожидать, что замена Ант на диантипирилметан (ДАМ) или его гомолог приведет к заметному расширению экстракционных возможностей расслаивающихся систем.

Изучены водные расслаивающиеся системы с диантипирилметаном (ДАМ), диантипирилэтаном, диантипирилбутаном (ДАБ) и монохлоруксусной кислотой (МХУК) [2]. Установлено, что диаграммы растворимости данных систем аналогичны. В качестве примера на рисунке 1 приведена система с ДАБ. Во всех системах обнаружены области расслоения (II). Их площади на концентрационных треугольниках почти одинаковы, несколько больше в системе с диантипирилэтаном. Ноды идут параллельно и, только приближаясь к предельной ноде, слегка расходятся. Область жидкого двухфазного равновесия граничит с полем ненасыщенных гомогенных растворов (I) и полем трехфазного равновесия двух

жидких фаз l_1 и l_2 с кристаллами реагента (VI). Кроме этого, присутствуют поля кристаллизации МХУК (III) и ДАБ (IV, V). Химических соединений реагентов с МХУК обнаружено не было.

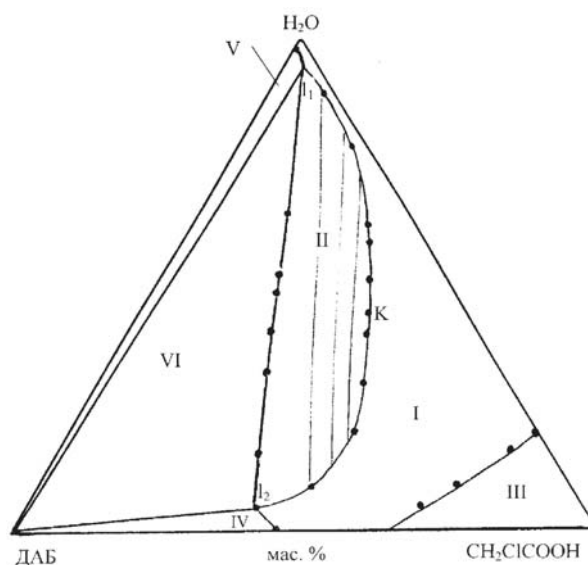


Рис. 1. Изотерма растворимости системы вода–ДАБ–МХУК при 20 °C (см. I–VI)

В работе [3] представлены результаты физико-химического исследования системы вода–ДАМ–трихлоруксусная кислота (ТХУК). На изотерме растворимости ДАМ в водных растворах ТХУК (рис. 2) отмечено девять полей: I – поле ненасыщенных растворов; II – жидкого двухфазного равновесия; III – кристаллизации ТХУК; IV – трехфазного равновесия кристаллов кислоты, химического соединения, жидкости состава M; V, VII – кристаллизации ДАМ:2ТХУК; VI – монотектического равновесия, при котором твердая фаза – химическое соединение; VIII – трехфазного равновесия кристаллов ДАМ, ДАМ:2ТХУК и жидкости состава E; IX – поле кристаллизации ДАМ. Химическое соединение ДАМ:2ТХУК, представляющее собой белое кристаллическое вещество, выделено препаративно.

Изучена экстракция титана в системе вода–ДАМ–ТХУК–НСI [4]. Титан количественно извлекается в широком интервале концентраций НСI (2–4 моль/л). Рассмотренная система предложена для экстракционно-фотометрического определения титана в сталях.

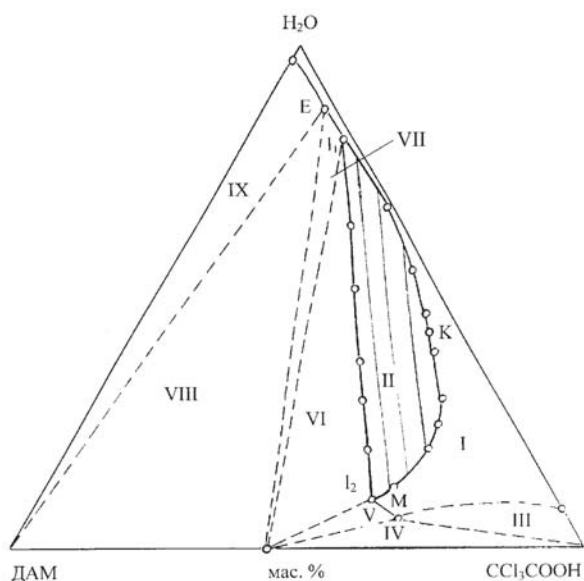


Рис. 2. Изотерма растворимости системы вода-ДАМ-ТХУК при 20 °С (см.: I-IX)

Серосодержащий аналог ДАМ – дитиопирилметан также вызывает расслаивание водных растворов галогенуксусных кислот. Замена жесткого атома кислорода легко поляризуемым атомом серы изменила перечень извлекающихся ионов металлов. Разработана методика экстракционно-фотометрического определения висмута с дитиопирилметаном [5].

На рисунке 3 представлена изотерма растворимости тройной системы вода-ДАМ-нафталин-2-сульфокислота (НСК) [6]. На концентрационном треугольнике имеется развитая область двухфазного жидкого равновесия (II), занимающая 11,3% от общей площади, окруженная полем ненасыщенных растворов (I) (17,4% площади) и областью трехфазного равновесия двух жидких фаз и кристаллов ДАМ (VIII). Ввиду особенностей системы нижнюю часть фазовой диаграммы с высоким содержанием твердых компонентов подробно исследовать не удалось, поэтому линии, разграничивающие поля кристаллизации, проведены условно. Можно предположить наличие двух полей кристаллизации ДАМ (III); кристаллизации НСК (IV) и ее кристаллогидрата (IX); кристаллизации химического соединения (VI); трехфазного равновесия кристаллов ДАМ, химического соединения и раствора состава E_1 (V); кристаллов НСК, химического соединения и раствора состава E_2 (VII); кристаллизации НСК, ее кристаллогидрата и раствора P (X). Ноды расходятся в сторону двойной системы ДАМ-НСК, что подтверждает образование химического соединения между основанием и кислотой. Химическое соединение – ДАМ-НСК – выделено препаративно. Нафталин-2-сульфонат

дитиопирилметан представляет собой порошкообразное вещество слабо розоватого цвета, без запаха ($t_{пл} = 215\text{ }^\circ\text{C}$, растворимость при 20 °С 0,262 г / 100 мл H_2O). Критическая точка области жидкого двухфазного равновесия обращена к стороне вода – НСК. Ее состав, мас.‰: ДАМ – 13,5; НСК – 25,0; вода – 61,5.

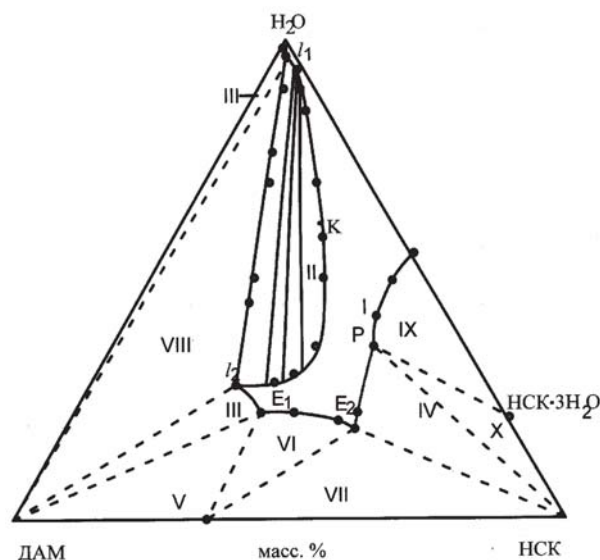


Рис. 3. Изотерма растворимости тройной системы вода-ДАМ-НСК при 22 °С (I-X см. текст)

На концентрационных треугольниках разрезов четверной системы вода-ДАМ-НСК-хлороводород (рис. 4) имеются следующие поля: I – поле гомогенных ненасыщенных растворов; II – жидкого двухфазного равновесия; III – область кристаллизации компонентов; IV – трехфазного равновесия двух жидких фаз и кристаллов НСК.

Введение в систему хлороводорода приводит к существенному изменению положения полей на концентрационных треугольниках. С увеличением концентрации HCl до 1 моль/л происходит расширение площади поля жидкого двухфазного равновесия до 27,5%, исчезает поле трехфазного равновесия двух жидких фаз и кристаллов ДАМ. Область гомогенных растворов смещается в сторону грани ДАМ-вода и полностью окружает область существования двух жидких фаз. Дальнейшее увеличение концентрации HCl приводит к уменьшению площади поля жидкого двухфазного равновесия до 23,8% (2 моль/л HCl), 21,1% (4 моль/л HCl) и 17,5% (6 моль/л HCl), появляется область трехфазного равновесия двух жидких фаз и кристаллов НСК (IV). Наблюдается существенное расширение областей кристаллизации.

Данные по распределению ряда ионов металлов в системе вода-ДАМ-НСК-серная кислота представлены на рисунке 5. При отсутствии

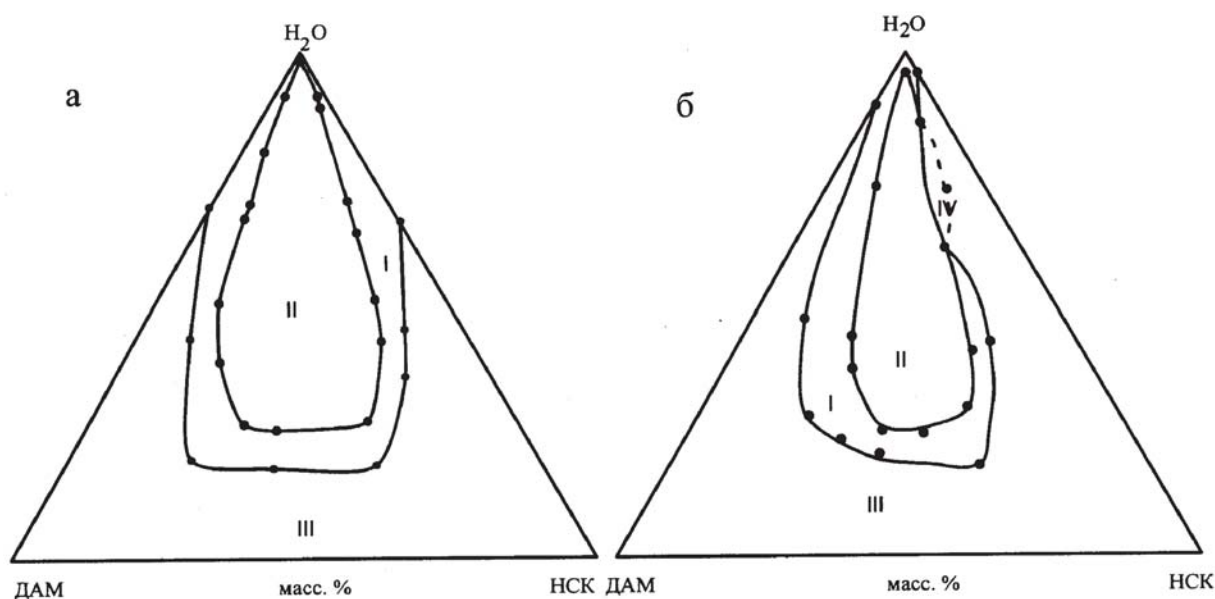
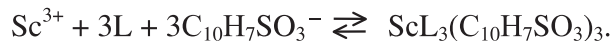


Рис. 4. Разрезы системы вода-ДАМ-НСК-хлороводород при 20 °С.
 $C_{\text{НСК}} = 1$ моль/л (а) и 6 моль/л (б) (см. I-IV)

неорганической кислоты наблюдается количественное извлечение скандия, железа (III), циркония, гафния, тория, висмута, индия, молибдена(VI), урана(VI). В этих условиях происходит образование катионных комплексов ионов металлов с ДАМ и экстракция протекает по координационному механизму, например, в случае скандия:



Введение серной кислоты подавляет экстракцию большинства ионов металлов, однако количественное извлечение скандия, циркония и гафния наблюдается вплоть до 1,5 моль/л концентрации

серной кислоты в системе. Разработана методика экстракционно-комплексометрического определения скандия с использованием системы вода-ДАМ-НСК-серная кислота.

Влияние концентрации хлороводородной кислоты на степень извлечения ионов металлов представлено на рисунке 6.

При повышении кислотности катионные комплексы разрушаются, что приводит к уменьшению экстракции ионов металлов. Для металлов, образующих хлоридные ацидокомплексы (галлий, железо(III), уран(VI), медь(I)), наблюдается

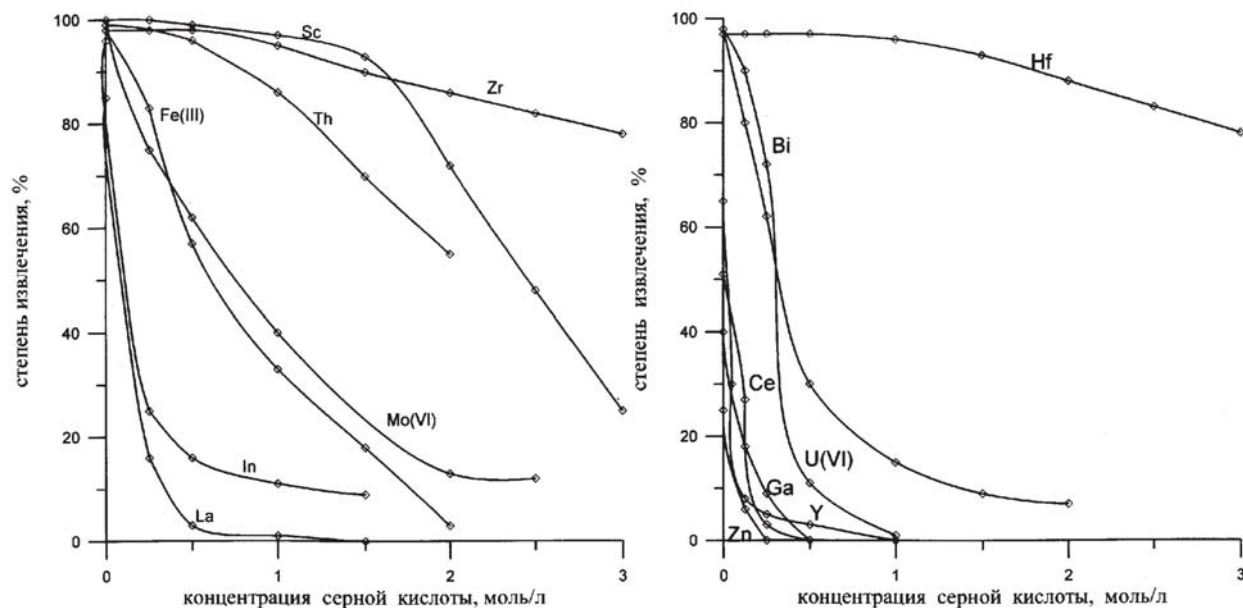


Рис. 5. Распределение $2 \cdot 10^{-4}$ моль ионов металлов в системе вода-ДАМ-НСК-серная кислота
 $(n_{\text{ДАМ}} = 0,002$ моль; $n_{\text{НСК}} = 0,003$ моль; $V_{\text{общ}} = 20$ мл)

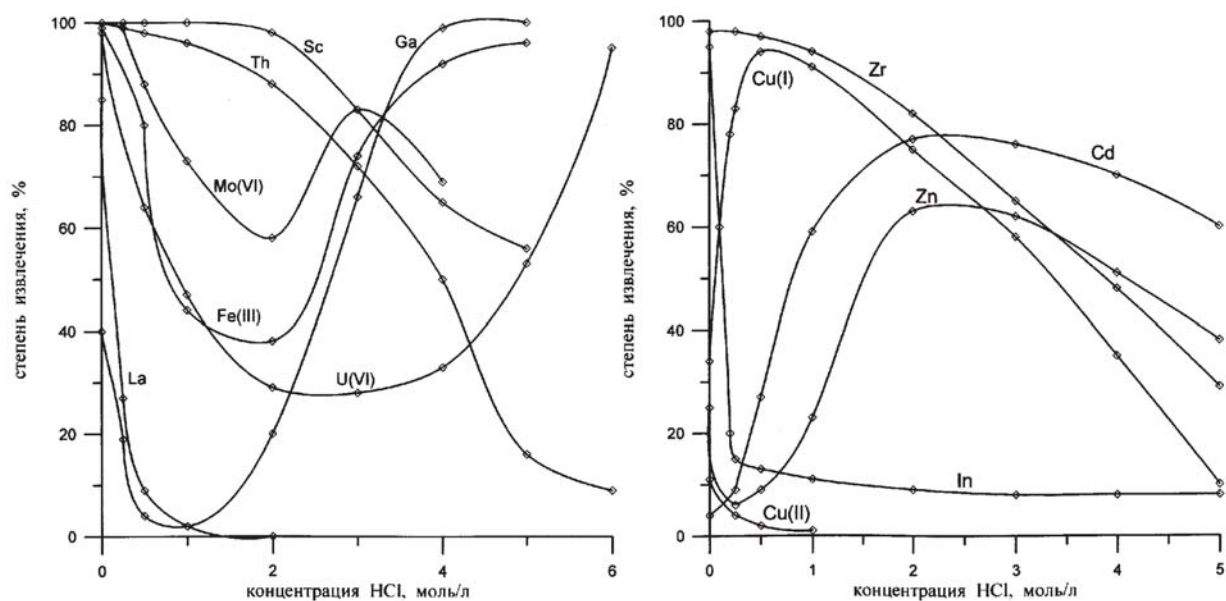


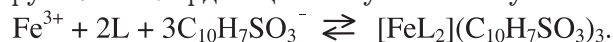
Рис. 6. Распределение $2 \cdot 10^{-4}$ моль ионов металлов в системе вода-ДАМ-НСК-хлороводород ($n_{\text{ДАМ}} = 0,002$ моль; $n_{\text{НСК}} = 0,003$ моль; $V_{\text{общ}} = 20$ мл)

второй максимум извлечения. Распределение меди(I) имеет максимум при концентрации НСl 0,5 моль/л. При дальнейшем повышении кислотности экстракция ее падает, хотя хлороформным раствором ДАМ ацидокомплекс меди(I) извлекается вплоть до 6 моль/л концентрации НСl [7].

Извлечение галлия в присутствии хлороводородной кислоты вполне согласуется с данными по извлечению его хлороформными растворами ДАМ. Известно, что галлий практически полностью экстрагируется из 6 моль/л растворов НСl при 50-кратном избытке ДАМ в хлороформ в виде соединения $\text{LH}[\text{GaCl}_4]$ [8, с. 86–91]. Полученные данные свидетельствуют о том, что при 20-кратном мольном избытке ДАМ галлий количественно извлекается в системе вода-ДАМ-НСК-НСl. При меньших избытках реагента выпадают белые хлопьевидные осадки. Химический анализ осадка показал соотношение ДАМ : Ga = 1 : 1. Для объяснения полученных результатов следует предположить, что экстракция Ga происходит за счет сольватации ацидокомплекса $\text{LH}[\text{GaCl}_4]$ молекулами ДАМ с образованием растворимого в нижней фазе соединения.

Изучено поведение железа(III) при экстракции в системе вода-ДАМ-НСК-хлороводород в зависимости от кислотности среды. Известно, что ДАМ образует с железом(III) комплексы различного состава. В слабокислой среде (рН 1–2) в хлороформ или дихлорэтан извлекаются катионные комплексы внедрения – $[\text{FeL}_2]\text{X}_3$ ($\lambda = 455$ нм; $\epsilon = 5 \cdot 10^3$) [8, с. 201]. При увеличении кислотности среды в присутствии хлорид-ионов экстрагируется ионный ассоциат – $\text{LH}[\text{FeCl}_4]$ ($\lambda = 380$ нм) [9].

Сравнительное изучение оптических характеристик хлороформных экстрактов и нижней фазы расслаивающейся системы без органического растворителя при различной кислотности среды показало, что значение λ_{max} светопоглощения водного раствора комплекса железа с ДАМ практически совпадает со значением λ_{max} экстракта, полученного при извлечении железа(III) хлороформным раствором ДАМ в присутствии НСК из слабокислых растворов. Аналогичный спектр светопоглощения имеет и экстракт, полученный при извлечении железа(III) в расслаивающейся системе без органического растворителя в отсутствие неорганической кислоты. С учетом известных из литературы сведений можно сделать вывод, что в этих условиях железо(III) экстрагируется по координационному механизму:



Близкие спектрофотометрические характеристики соединений, полученных при экстракции из растворов хлороводородной кислоты, как в традиционной экстракционной системе с хлороформом, где извлекается комплекс состава $\text{LH}[\text{FeCl}_4]$, так и в системе без органического растворителя, свидетельствуют о протекании экстракции по анионообменному механизму.



Разработана методика экстракционно-фотометрического определения железа (III) с использованием системы вода-ДАМ-НСК-хлороводород. Методика апробирована на стандартных образцах сплава на никелевой основе ХН70Ю и силумина.

Изменение мольных соотношений между ДАМ и НСК значительно расширяет возможности системы. Например, при соотношении ДАМ : НСК = 1: (1–1,5) нижняя фаза представляет собой вязкую жидкость, а при соотношении 1 : 4 в присутствии 0,5–3,0 моль/л концентрации неорганических кислот фаза является прозрачной и подвижной, что позволяет осуществлять непосредственное фотометрирование экстракта. Исключается из процесса нагревание, так как используется водный раствор ДАМ в НСК.

При распределении титана(IV) в расслаивающейся системе вода–ДАМ–НСК нижняя фаза приобретает желтую окраску, характерную для комплекса титана с ДАМ [10]. Спектрофотометрическое изучение экстракта комплекса титана в расслаивающейся системе с ДАМ и НСК в присутствии хлорида олова(II) показало, что максимальное значение оптической плотности находится при длине волны 400 нм. Молярный коэффициент светопоглощения равен 13250. Окраска развивается быстро и остается стабильной в течение 3 часов. Закон Бера соблюдается в интервале содержаний титана от 1 до 15 мкг. Разработанная методика определения апробирована на стандартных образцах легированной стали 09X16H4Б (С346) и сплава на никелевой основе ХН78Т (Н5а) [11].

Низкая растворимость ДАМ в водных растворах является причиной преобладания в нижней части диаграммы полей кристаллизации. По сравнению с хлоруксусными кислотами НСК имеет меньшую растворимость, что также увеличивает площадь полей кристаллизации компонентов. Однако размеры областей жидкого двухфазного равновесия в системах с НСК и ТХУК сопоставимы. Существенным отличием расслаивающейся системы с НСК от системы с ТХУК является различие в составе фазообразующих химических соединений: ДАМ–НСК и ДАМ–2ТХУК. Область жидкого двухфазного равновесия как в системе с НСК, так и с ТХУК, существует в широком интервале концентраций неорганических кислот, что, по-видимому, объясняется близкими значениями pK_a кислот. Преимуществом системы с НСК является ее большая безопасность за счет устранения высокотоксичной ТХУК.

Замена Ант на ДАМ приводит к существенному расширению перечня ионов металлов, количественно извлекающихся в нижнюю фазу за счет образования хелатных соединений и более низкой растворимости реагента и его комплексов в водных растворах. В отсутствие неорганических кислот извлекаются преимущественно катионные комплексы внедрения, экстракция которых падает при повышении кислотности за

счет протонизации реагентов и разрушения комплексов. В присутствии анионных лигандов, образующих ацидокомплексы, с увеличением кислотности наблюдается второй максимум извлечения за счет экстракции ионных ассоциатов.

Сравнивая изученные экстракционные системы, содержащие Ант и ДАМ, следует особо подчеркнуть, что благодаря хорошей растворимости Ант в воде экстракт способен растворяться в водных растворах. Это свойство значительно упрощает определение ионов металлов в гибридных методах анализа, например, экстракционно-титриметрических. Кроме того, все реактивы используются в виде водных растворов. Неудобство работы с навесками ДАМ можно устранить, используя гомогенный водный раствор ДАМ и НСК при мольном соотношении НСК : ДАМ > 2:1.

Экстракция ионов металлов в традиционных экстракционных системах, содержащих НСК, систематически не изучалась. В литературе есть сведения по экстракции Sc, Zr, Th [12], Pm [13], Sm [14], U(VI) [15] с применением ДАМ. Во всех описанных случаях экстрагируются катионные хелаты по координационному механизму. Определен состав комплексов некоторых катионов с ДАМ. Отмечается аномальный, по сравнению с системами с неорганическими анионами, состав комплексов: $ScL(C_{10}H_7SO_3)_3$; $PmL_2(C_{10}H_7SO_3)_3$; $SmL_2(C_{10}H_7SO_3)_3$, $UO_2L(C_{10}H_7SO_3)_2$. При использовании неорганических анионов образуются комплексы состава $[ML_3]A_3$, где М – трехзарядный катион; А – однозарядный анион [16]. Большой объем органических анионов, по-видимому, входящих во внутреннюю координационную сферу, создает пространственные затруднения для координации второй молекулы ДАМ. В этом случае образуются внутрисферные разнолигандные комплексы.

Можно предположить, что различие в составе извлекаемых комплексов в традиционных и нетрадиционных экстракционных системах, содержащих НСК, объясняется существенно большей концентрацией ДАМ в экстракте в системе без органического растворителя.

Извлечение ионных ассоциатов ацидокомплексов металлов с протонированной формой реагента вполне согласуется с данными по их извлечению хлороформными растворами ДАМ. Следует отметить, что при высокой степени связывания реагента в комплекс выпадают осадки, поскольку для стабильного существования двух жидких фаз в системе необходим избыток нафталин-2-сульфоната диантипирилметания.

Замена ДАМ на диантипирилгептан (ДАГ) не привела к существенным изменениям вида диаграммы растворимости тройной системы. Од-

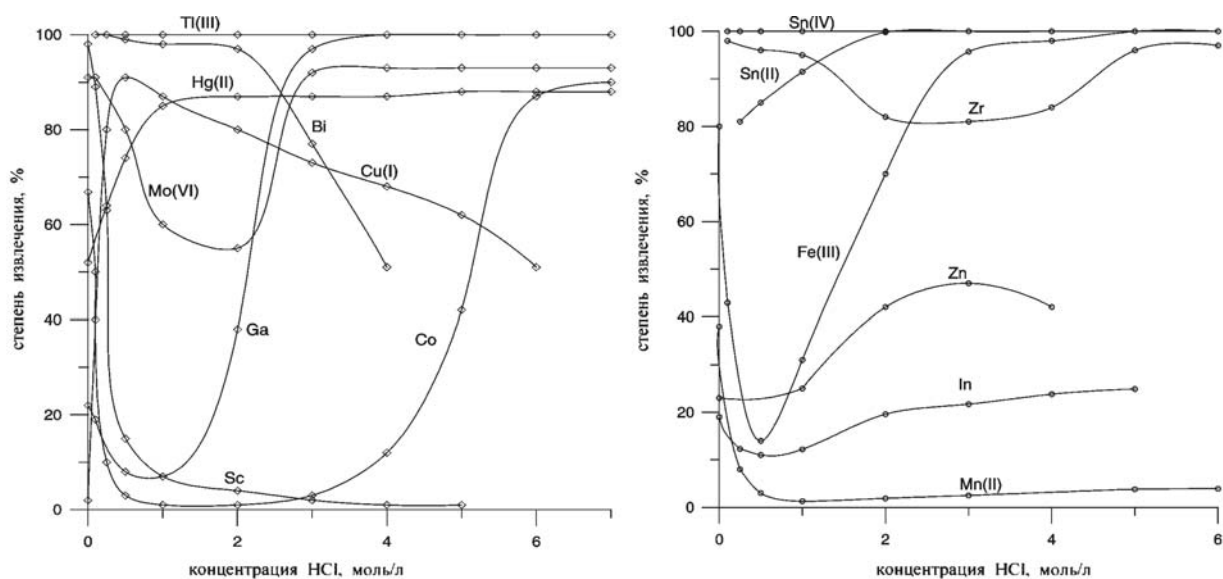


Рис. 7. Распределение $2 \cdot 10^{-4}$ моль ионов металлов в системе вода-ДАГ-НСК-хлороводород

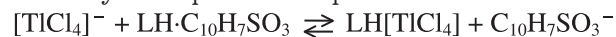
нако из-за меньшей склонности ДАГ к кристаллизации площади полей жидкого двухфазного равновесия и гомогенных ненасыщенных растворов несколько увеличились: соответственно, с 11,3 до 15,1% и с 17,4 до 21,5% от общей площади [17]. Нафталин-2-сульфонат диантипирилгептания, выделенный препаративно, представляет собой порошкообразное вещество слабо розового цвета (т. пл. 82 °С). Основание и кислота входят в состав соли в мольном отношении 1 : 1. Область расслаивания системы существует в широком интервале кислотности. Объем нижней фазы практически не изменяется при введении HCl до 8 моль/л, HNO₃ до 7 моль/л и H₂SO₄ до 5 моль/л.

При отсутствии неорганической кислоты степень извлечения в нижнюю фазу составляет (%): скандий – 98, молибден(VI) – 91, железо(III) – 80, торий – 73, кобальт – 67, ртуть(II) – 52, марганец(II) – 39, цинк – 25, галлий – 22, титан(IV) – 21, индий – 19, медь(I) – 1,5. Введение серной кислоты подавляет экстракцию ионов металлов.

Влияние концентрации хлороводородной кислоты на степень извлечения некоторых ионов металлов представлено на рисунке 7. Извлечение ионов металлов в отсутствие неорганических кислот можно объяснить образованием катионных комплексов с ДАГ, которые при повышении кислотности разрушаются из-за протонизации реагента, что приводит к резкому уменьшению экстракции. Ионы металлов, образующие хлоридные ацидокомплексы, имеют второй максимум извлечения.

Весьма устойчивый тетрахлорталлат образуется при малых концентрациях хлорид-ионов,

поэтому количественное извлечение таллия(III) наблюдается в широком интервале концентраций хлороводородной кислоты, вплоть до 8 моль/л. В присутствии избытка хлорид-ионов экстракция протекает по анионообменному механизму в широком интервале кислотности:



Для повышения избирательности выделения таллия(III) представляло интерес его поведение в системе с серной кислотой в присутствии малых количеств хлорид-ионов. Золото(III) и таллий(III) образуют хлоридные комплексы, имеющие максимальную по сравнению с комплексами других элементов устойчивость [18], поэтому в условиях дефицита хлорид-ионов и высокой кислотности по серной кислоте следовало ожидать избирательной экстракции золота(III) и таллия(III).

Полученные данные (рис. 8) позволяют выделить область достаточно селективного извлечения Tl(III), лежащую в интервале от 0,05 до 0,2 моль/л по HCl. В этих условиях не извлекаются железо(III), галлий, цинк, скандий, РЗЭ, медь(II), извлечение молибдена(VI) не превышает 16%, урана(VI) – 3%.

В отсутствие дополнительных анионных лигандов (экстракция из растворов серной кислоты) максимальной экстракционной способностью обладает система с ДАМ. Для ряда жестких, по классификации Пирсона, катионов (Zr⁴⁺, Hf⁴⁺, Sc³⁺, Th⁴⁺) наблюдается достаточно широкое плато количественной экстракции. В случае ДАГ количественное извлечение наблюдается только в отсутствие серной кислоты. Обратная картина наблюдается при экстракции ионных ассоциатов хлоридных ацидокомплексов

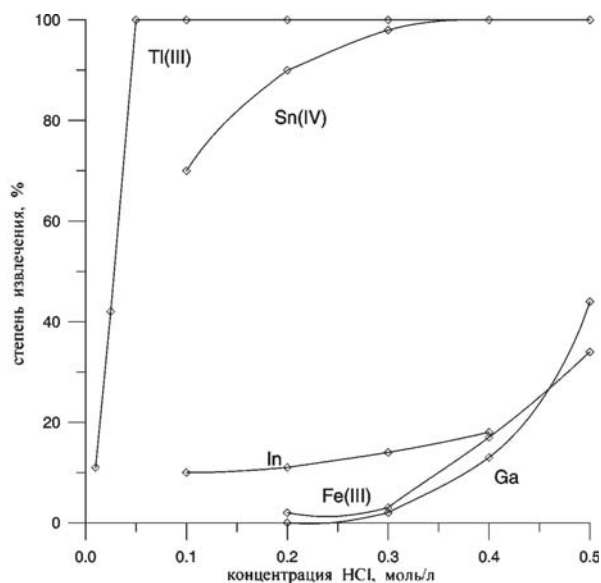


Рис. 8. Зависимость степени извлечения ионов металлов от концентрации HCl в системе вода-ДАГ-НСК-2,5 моль/л серная кислота

металлов с протонированными формами реагентов. Максимальной эффективностью при

экстракции ионов металлов по анионообменному механизму обладает ДАГ. Полученные данные находятся в полном соответствии с представлением об экстракционном поведении реагентов группы ДАМ в традиционных экстракционных системах с органическими растворителями [19].

Помимо МХУК, ТХУК и НСК, расслаивание с диантипирилалканами обеспечивает бензойная кислота [20].

Сравнение извлечения ионов металлов производными ДАМ в традиционных системах и в системах без органического растворителя позволяет сделать вывод о наличии их сходства. Привлекая большой массив опубликованных экспериментальных данных по экстракции реагентами группы ДАМ, можно с высокой степенью достоверности прогнозировать поведение ионов металлов в предложенных расслаивающихся системах, что создает благоприятные условия для разработки безопасных (из-за отсутствия токсичных компонентов) методик выделения и разделения ионов металлов с последующим аналитическим определением.

Литература

- Петров Б.И., Леснов А.Е., Денисова С.А. Фазовые равновесия и распределение элементов в системах вода-антипиририн-органическая кислота // Известия АГУ. 2003. №3(29).
- Яковлева Т.П., Петров Б.И., Гордеева Н.П. Взаимодействие диантипирилметанов с хлоруксусной кислотой в водных средах // Термический анализ и фазовые равновесия: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1988.
- Яковлева Т.П., Дружинина Л.Н., Рогожников С.И. Взаимодействие диантипирилметана в водных растворах трихлоруксусной кислоты при 20 °С // Термический анализ и фазовые равновесия: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1987.
- Рогожников С.И. Экстракция титана в расслаивающейся системе, образованной водой, диантипирилметаном, трихлоруксусной и соляной кислотами // Органические реагенты в неорганическом анализе: Тез. докл. Пермь, 1987.
- Чукин В.М. Экстракция висмута в водной расслаивающейся системе с диантипирилметаном // Конф. молодых ученых Иркутск. ун-та: Тез. докл. 1990.
- Петров Б.И., Денисова С.А., Леснов А.Е., Яковлева Т.П. Применение водной расслаивающейся системы, содержащей диантипирилметан и нафталин-2-сульфокислоту, для экстракции ионов некоторых металлов // Журн. аналит. химии. 1998. Т. 53. №3.
- Живописцев В.П., Аитова В.Х. Количественное определение меди с диантипирилметаном // Уч. зап-ки Пермск. ун-та. 1963. Т. 25. №2.
- Диантипирилметан и его гомологи как аналитические реагенты // Уч. зап-ки Пермск. ун-та. / Под ред. С.И. Гусева. 1974. №324.
- Живописцев В.П., Аитова В.Х., Селезнева Е.А. Последовательное разделение и определение некоторых элементов с помощью диантипирилметана. II. Разделение и определение железа, меди и кобальта // Изв. вузов: Химия и хим. технология. 1963. Т. 6. №6.
- Минин А.А. Колориметрическое определение титана с помощью диантипирилметана // Уч. зап-ки Пермск. ун-та. 1955. Т. 9. №4.
- Денисова С.А., Леснов А.Е., Петров Б.И. Экстракционно-фотометрическое определение титана в сплавах с использованием водной расслаивающейся системы вода-нафталин-2-сульфокислота-диантипирилметан // Заводская лаборатория. 1998. Т. 64. №8.
- Петров Б.И., Рогожников С.И., Леснов А.Е., Афендикова Г.Ю. Экстракция скандия, циркония, тория из нафталинсульфонатных растворов диантипирилметаном // Журн. неорг. химии. 1984. Т. 29. №1.
- Кислицын И.А., Петров Б.И., Живописцев В.П. Экстракция прометия-147 1,1'-диантипирилалканами из нафталин-2-сульфонатных растворов // Радиохимия. 1983. Т. 25. №4.
- Кислицын И.А., Живописцев В.П. Влияние анионного фона на извлечение самария(III) диантипирилметаном // Журн. неорг. химии. 1983. Т. 28. №10.
- Петров Б.И., Шестакова Г.Е., Леснов А.Е., Денисова С.А., Брызгалова Н.В. Влияние природы аниона на экстракцию катионных комплексов урана(VI) с диантипирилметаном // Радиохимия. 1995. Т. 37. №1.
- Живописцев В.П., Калмыкова И.С. Комплексообразование в системе скандий-диантипирилметан-йодид // Журн. неорг. химии. 1965. Т. 10. №5.

17. Петров Б.И., Денисова С.А., Леснов А.Е. Межфазные равновесия и распределение комплексов металлов в системе вода-диантипирилгептан-нафталин-2-сульфо кислота // Журн. неорг. химии. 1999. Т. 44. №1.

18. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М., 1979.

19. Петров Б.И. Диантипирилметаны как экстрак-

ционные реагенты // Журн. аналит. химии. 1983. Т. 38. №11.

20. Дегтев М.И., Денисова С.А., Порошина Н.В. Экстракционные возможности новой расслаивающейся системы вода-гексилдиантипирилметан-бензойная кислота-неорганическая кислота // Химия, технология и промышленная экология неорганических материалов. Пермь, 2003. №6.