

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина»

На правах рукописи

Заболотных Светлана Александровна

ФАЗОВЫЕ И ЭКСТРАКЦИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМАХ  
НА ОСНОВЕ СУЛЬФОНОЛА, ДОДЕЦИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ  
ИЛИ АЛКИЛБЕНЗОЛСУЛЬФОКИСЛОТЫ

Специальность 02.00.04 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата химических наук

Екатеринбург – 2019

Работа выполнена в лаборатории органических комплексообразующих реагентов «Института технической химии Уральского отделения Российской академии наук» – филиале федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИТХ УрО РАН»)

**Научный руководитель:** доктор химических наук  
**Леснов Андрей Евгеньевич**

**Официальные оппоненты:** **Дегтев Михаил Иванович,**  
доктор химических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (г.Пермь),  
заведующий кафедрой аналитической химии и экспертизы;

**Темерев Сергей Васильевич,**  
доктор химических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет» (г. Барнаул), заведующий кафедрой техносферной безопасности и аналитической химии;

**Петрова Юлия Сергеевна,**  
кандидат химических наук,  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (г.Екатеринбург), доцент кафедры аналитической химии и химии окружающей среды.

Защита состоится «17» декабря 2019 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета УрФУ 02.01.01 по адресу: 620000, г. Екатеринбург, пр. Ленина, 51, зал диссертационных советов, комн. 248.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», <https://dissovet2.urfu.ru/mod/data/view.php?d=12&rid=338>.

Автореферат разослан «\_\_» ноября 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Кочетова Надежда Александровна



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность

Традиционные экстракционные системы, несмотря на такие преимущества, как быстрота, простота оформления, возможность автоматизации и сочетания с инструментальными методами определения веществ, обладают недостатками, основным из которых является применение легколетучих, пожароопасных и токсичных органических растворителей. Применение систем без органического растворителя позволяет повысить безопасность экстракционных процессов. Расслаивание в таких системах может являться следствием химического взаимодействия компонентов водного раствора, что наблюдается в системах на основе производных антипирина, или вследствие высаливания водорастворимых полимеров или ПАВ неорганическими солями или кислотами. Особый интерес вызывают системы на основе различных ПАВ (анионных, катионных, неионных), широко применяемых в различных отраслях промышленности и быту. Промышленно выпускаемые ПАВ, представляющие собой смесь гомологов, гораздо доступнее, дешевле и могут быть удобнее и эффективнее в процессах экстракции, чем традиционные органические растворители. Полученные при этом экстракты способны растворяться в воде, водно-спиртовых или водно-ацетоновых растворах, что позволяет устранить процесс реэкстракции и делает удобным сочетание экстракции с разнообразными инструментальным завершением анализа (фотометрия, спектроскопия и др.).

Необходимость расширения ассортимента перспективных экстракционных систем без органического растворителя за счет применения доступных технических и индивидуальных ПАВ определяет актуальность темы диссертационной работы.

### Степень разработанности темы

Ранее другими авторами были предложены экстракционные системы на основе неионных ПАВ (синтамыды, неололы, синтанолы), катионных ПАВ (катамин АБ, цетилпиридиний хлорид) и анионных ПАВ (АПАВ) (оксифос Б, додецилсульфат натрия). В связи с этим, нами предлагается исследовать промышленно-выпускаемые ПАВ сульфонол и алкилбензолсульфоокислоту в процессах разделения и концентрирования и сравнить их эффективность с индивидуальным ПАВ – додецилсульфатом натрия.

Представленная работа является обобщением результатов исследований, выполненных автором в лаборатории органических комплексобразующих реагентов «Института технической химии УрО РАН» по теме «Исследование равновесий в процессах концентрирования и разделения ионов и минералов органическими лигандами» № государственной регистрации 01201351975. Работа частично финансировалась РФФИ: грант № 14-03-96006-р\_Урал\_а.

### Цель работы

Установление концентрационных параметров расслаивания систем на основе АПАВ сульфонола, додецилсульфата натрия или алкилбензолсульфоокислоты и неорганических кислот и возможности экстракции в них ионов металлов или их комплексов с органическими комплексобразующими реагентами.

### Задачи исследования

1. Изучить фазовые равновесия в системах вода – сульфонол (или додецилсульфат натрия, или алкилбензолсульфоокислота) – неорганическая кислота и в разрезах

системы вода – сульфенол – диантипирилметан – хлороводородная кислота. Определить концентрационные интервалы существования областей расслаивания и установить оптимальные условия для проведения экстракции.

2. Изучить фазовые равновесия в системах с химическим взаимодействием вода – алкилбензолсульфо кислота – антипирин (или 1,2,3-бензотриазол). Исследовать влияние неорганических кислот и дополнительных высаливателей на фазовое состояние системы.
3. Исследовать распределение ионов металлов и их комплексов с органическими комплексообразующими реагентами в предлагаемых расслаивающихся системах.
4. Выяснить возможность сочетания экстракции в нетрадиционных системах с физико-химическими методами определения ионов металлов и разработать соответствующие методики определения ионов металлов.

#### **Научную новизну работы составляют:**

1. Впервые изучены фазовые равновесия систем, расслаивающихся в результате высаливания: вода – АПАВ (сульфенол, додецилсульфат натрия) – неорганическая кислота (хлороводородная или серная) при 75°С, вода – алкилбензолсульфо кислота – неорганическая кислота (хлороводородная или серная) при 25°С и распределение в них ионов металлов и их комплексов с органическими реагентами.
2. Впервые исследованы фазовые и экстракционные равновесия в расслаивающихся системах с химическим взаимодействием: вода – алкилбензолсульфо кислота – антипирин (или 1,2,3-бензотриазол).

#### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Установлены температурно-концентрационные границы областей расслаивания, пригодных для целей экстракции в вышеперечисленных системах.
2. Показана целесообразность введения дополнительных органических комплексообразующих реагентов для расширения перечня экстрагируемых ионов и увеличения степени их извлечения. Введение в системы производных пиразолона позволяет количественно экстрагировать железо (III), галлий (III), таллий (III), скандий (III) и олово (II). В присутствии 1,10-фенантролина наблюдается количественная экстракция ионов никеля (II), меди (II) и кобальта (II). При использовании 1,2,3-бензотриазола возможно количественное извлечение меди (II) и селективное отделение ионов палладия (II) от цветных металлов.
3. Предложены методики экстракционно-фотометрического определения Ni(II) с 1,10-фенантролином и Cu(II) с 1,2,3-бензотриазолом и экстракционного отделения Pd(II) от цветных металлов.
4. Дополнительное введение анионов комплексообразователей в систему вода – алкилбензолсульфо кислота – антипирин приводит к количественному извлечению таллия (III) из хлоридных растворов, меди (II), цинка и железа (III) из тиоцианатных растворов.
5. Результаты по растворимости в изученных системах могут служить в качестве справочных данных.

#### **Методология и методы диссертационного исследования**

Изучение фазовых равновесий в системах вода – АПАВ – неорганическая кислота, вода – сульфенол – неорганическая кислота – диантипирилметан, вода – АПАВ – серная кислота – хлорид аммония, вода – алкилбензолсульфо кислота – ан-

типириин (или 1,2,3-бензотриазол) базируется на результатах физико-химического анализа диаграмм растворимости. В работе также использованы традиционные методы изучения межфазного распределения ионов металлов, установления состава комплексов и их оптических характеристик.

#### **Степень достоверности результатов**

Достоверность полученных результатов обеспечивалась использованием современных, аттестованных приборов физико-химических методов анализа и статистической обработкой. Полученные результаты не противоречат современным концепциям физической химии.

#### **Апробация работы**

Материалы диссертации были представлены на XV и XVII научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия. Экология. Биотехнология» (Пермь, 2013, 2015); V региональной школе-конференции «Химический анализ и окружающая среда» (Пермь, 2013); Научно-практической конференции «Innovations in Science and Humanities» (Пермь, 2014); IV и V Международной конференции «Техническая химия. От теории к практике» (Пермь, 2014, 2016, 2019); Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ 2015» (Москва, 2015); XXV, XXVI, XXVIII и XXIX Российской молодежной научной конференции «Проблемы теоретической и экспериментальной химии» (Екатеринбург, 2015, 2016, 2018, 2019); VI региональной молодежной конференции «Органические реагенты в практике химического анализа объектов окружающей среды» (Пермь, 2015); XVII и XX международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2016, 2019); X Всероссийской научной конференции с международным участием «Аналитика Сибири и дальнего Востока» (Барнаул, 2016); Всероссийской конференции с международным участием «Современные достижения химических наук» (Пермь, 2016); Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика» (Пермь, 2017); Всероссийской школы-конференции с международным участием «Байкальская школа-конференция по химии – 2017» (Иркутск, 2017); IV и V молодежной школе-конференции «Современные аспекты химии» (Пермь, 2017, 2018); Третьем съезде аналитиков России (Москва, 2017); VI Всероссийской конференции с международным участием «Современные проблемы химической науки и фармации» (Чебоксары, 2017); V Всероссийском симпозиуме «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии» с международным участием (Краснодар, 2018).

#### **Публикации**

Основное содержание диссертации отражено в 32 работах. Список публикаций включает 6 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК.

#### **Личный вклад соискателя**

Автор участвовал в постановке задач исследования, планировании, подготовке и проведении экспериментальной работы, обсуждении, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке основных выводов, подготовке и оформлении публикаций.

## **Структура работы**

Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, включающей три главы, выводов, списка литературы (187 наименований). Работа изложена на 155 страницах, содержит 68 рисунков и 30 таблиц.

## **Положения, выносимые на защиту:**

1. Диаграммы растворимости тройных систем вода – сульфенол – HCl (или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), вода – додецилсульфат натрия – HCl (или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), вода – алкилбензолсульфокислота – HCl (или H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), вода – алкилбензолсульфокислота – антипирин, вода – алкилбензолсульфокислота – 1,2,3-бензотриазол, разрезов четверных систем вода – сульфенол – диантипирилметан – HCl и вода – додецилсульфат натрия – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – NH<sub>4</sub>Cl.
2. Оптимальные для экстракции ионов металлов соотношения компонентов в изученных системах.
3. Результаты систематического изучения распределения ионов металлов в выше перечисленных системах; состав извлекаемых комплексов и предложенные механизмы экстракции.
4. Установленные условия экстракционного выделения таллия (III), железа (III), галлия, циркония, скандия, палладия (II) и методики экстракционно-фотометрического определения никеля, меди (II).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, определена научная новизна и практическая значимость работы.

### **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

Обобщены имеющиеся в литературе сведения по фазовым равновесиям и закономерностям распределения ионов металлов в водных расслаивающихся системах на основе анионных ПАВ. Образование второй жидкой фазы в таких системах может наблюдаться при введении неорганических высаливателей, катионных ПАВ (что приводит к образованию ионного ассоциата), неионных ПАВ, неполярного растворителя (экстракция обратными мицеллами), неорганических кислот.

Наиболее часто используемым АПАВ является додецилсульфат натрия. При этом существует широкий спектр промышленных АПАВ имеющих сходное с ним строение. Поэтому представляло интерес изучить фазовые и экстракционные равновесия в системах на основе сульфенола и алкилбензолсульфокислоты и сравнить их эффективность с системами на основе SDS.

### **2. РЕАКТИВЫ, ПРИБОРЫ, МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

Основные исследования выполнены на АПАВ:

1. Сульфенол, C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>3</sub>Na, где n = 12–18 – смесь натрий алкилбензосульфонов на основе керосина (ТУ 2481-135-07510508-2007). Состав, %: основное вещество – 80; сульфат натрия и сульфит натрия – 15; несulfифированные соединения – 3; железо – 0,05; влага – 2;
2. Алкилбензолсульфокислота (АБСК), C<sub>n</sub>H<sub>2n+1</sub>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>SO<sub>3</sub>H, где n = 10–14 (ТУ 2481-026-05766480-2006, марка А). Состав, %: основное вещество – 96,8, серной кислоты – 0,9, несulfифированные соединения – 1,8;
3. Додецилсульфат натрия (SDS), C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>OSO<sub>3</sub>Na. Основное вещество 98,5%.

В качестве высаливателей использованы неорганические кислоты – серная и хлороводородная квалификации "х.ч.". Для изучения распределения комплексов ионов металлов с органическими реагентами рассмотрены: антипирин (Ант, фарм.), диантипирилметан (ДАМ, х.ч.), диантипирилбутан (ДАБ, х.ч.), диантипирилгептан (ДАГ, х.ч.), 1,10-фенантролин (Phen, ч.д.а.), 1,2,3-бензотриазол (БТА, ч.).

В главе описаны методы построения диаграмм растворимости многокомпонентных систем, изучения влияния органических реагентов и кислотности среды на фазовые равновесия систем. На диаграммах растворимости приняты следующие условные обозначения фаз: L – жидкая фаза ( $L_1$  – водная фаза,  $L_2$  – органическая фаза), S – твердая фаза. При графическом изображении диаграмм растворимости и проведении расчетов, за вершину, отвечающую ПАВ, принят технический продукт, без пересчета на чистое вещество. За вершину кислоты принята концентрированная кислота. Все диаграммы растворимости построены в массовых процентах, температура выражена в градусах Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Изучение распределения катионов металлов осуществлялось с использованием стандартных аналитических методик.

### 3. ЖИДКОФАЗНЫЕ И ЭКСТРАКЦИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМАХ, РАССЛАИВАЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЫСАЛИВАНИЯ

#### 3.1. Фазовые равновесия в системах вода – АПАВ – неорганическая кислота

Изотермы растворимости систем вода – сульфонол (или SDS) –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (или HCl) имеют одинаковую топологию. В качестве примера на рисунке 1 приведена фазовая диаграмма системы вода – SDS –  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Во всех случаях обнаружена область расслаивания, примыкающая к вершине воды и двойной системе кислота – вода.

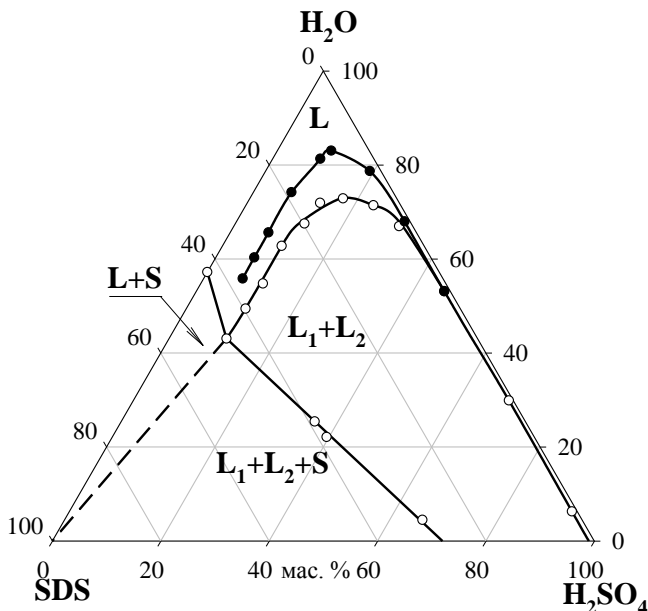


Рисунок 1 – Диаграмма растворимости системы вода – SDS –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $50^{\circ}\text{C}$  и верхняя граница области расслаивания при  $75^{\circ}\text{C}$ .

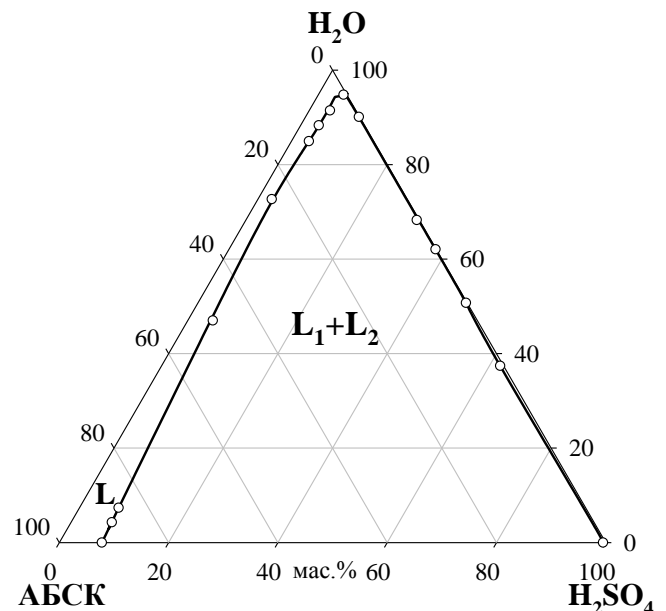


Рисунок 2 – Диаграмма растворимости системы вода – АБСК –  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при  $25^{\circ}\text{C}$ .

В системах на основе АБСК так же установлено наличие области двухфазного жидкого равновесия, примыкающей к грани кислота – вода и занимающей практи-

чески всю площадь диаграммы состояния (рисунок 2). Концентрационные границы областей расслаивания во всех системах представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Концентрационные границы существования области расслаивания

Система	Интервал концентраций компонента, мас. %		
	Вода	ПАВ	Кислота
Вода – сульфенол – $H_2SO_4$	до 96	0,5–40	>3
Вода – сульфенол – $HCl$	до 95	0,5–35	>3
Вода – SDS – $H_2SO_4$	50°C	до 70	0,5–55
	75°C	до 83	0,5–60
Вода – SDS – $HCl$	до 80	0,5–60	>2
Вода – АБСК – $H_2SO_4$	до 95	0,2–92	>3
Вода – АБСК – $HCl$	до 90	0,2–79	>4

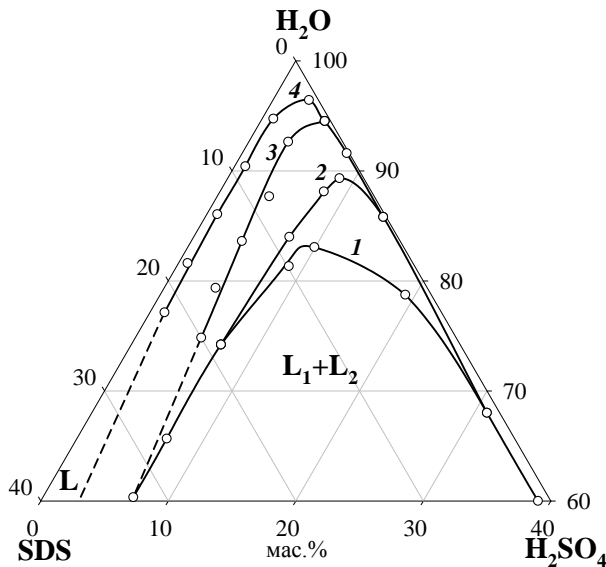


Рисунок 3 – Диаграмма растворимости системы вода – SDS –  $H_2SO_4$  при 75°C при различных содержаниях  $NH_4Cl$ , мас. %: 1 – без  $NH_4Cl$ , 2 – 5, 3 – 7,5, 4 – 10.

Введение дополнительных высаливателей, например, хлорида аммония, в систему вода – SDS –  $H_2SO_4$  расширяет область двухфазного жидкого равновесия (рисунок 3).

Во всех рассмотренных системах на основе анионных ПАВ обнаружены области, в которых системы расслаиваются на две жидкие фазы с четкой границей раздела фаз. В связи с этим представляло интерес изучить межфазное распределение ионов металлов и установить возможность их применения для экстракционных процессов концентрирования и разделения.

### 3.2. Распределение ионов металлов в системах на основе АПАВ и неорганических кислот

По результатам изучения в растворимости в системах вода – АПАВ – кислота выбраны оптимальные концентрационные параметры для изучения экстракции (таблица 2).

Таблица 2 – Концентрационные параметры экстракции

Система	$V_{\text{общ}}$ , мл	$m_{\text{ПАВ}}$ , г	$C_{\text{кислоты}}$ , моль/л	$T$ , °C	$V_{\text{ф.ПАВ}}$ , мл
Вода – сульфенол – $H_2SO_4$	20,0	1,0	3,75–8,0	25	1,0–2,4
Вода – сульфенол – $HCl$	20,0	1,0	5,0–9,0	25	1,0–5,5
Вода – SDS – $H_2SO_4$	20,0	1,5	1,0–9,0	75	1,2–2,6
Вода – SDS – $HCl$	20,0	1,5	1,0–6,5	75	1,4–6,0
Вода – АБСК – $H_2SO_4$	20,0	1,5	4,0–9,0	25	2,0–6,2
Вода – АБСК – $HCl$	20,0	1,5	5,0–8,0	25	3,2–6,2

Экстракционные возможности систем изучены на примере распределения 0,01 моль/л растворов солей  $Tl(III)$ ,  $Fe(III)$ ,  $Ga(III)$  и  $Sc(III)$  (таблица 3).



Таблица 3 – Максимальная степень извлечения ( $R$ , %) ионов металлов в системах вода – АПАВ – неорганическая кислота

Система	Sc(III)	Ga(III)	Fe(III),	Tl(III)
Вода – сульфенол – HCl	40	32	28	23
Вода – сульфенол – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	16	42	25	15
Вода – SDS – HCl	37	87	37	—*
Вода – SDS – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17	45	26	—
Вода – АБСК – HCl	42	—	63	—
Вода – АБСК – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	37	—	42	—

\*Исследования не проводились.

В связи с тем, что изученные ПАВ обладают слабыми комплексообразующими свойствами и выполняют в основном роль фазообразователей, предложено введение в системы на их основе органических комплексообразующих реагентов: диантипирилметана, его гомологов – диантипирилбутана и диантипирилгептана, 1,10-фенантролина и 1,2,3-бензотриазола. В таблице 4 приведены концентрационные параметры проведения экстракции в системах на основе АПАВ и неорганических кислот в присутствии дополнительных комплексообразующих реагентов.

Таблица 4 – Концентрационные параметры экстракции в системах вода – АПАВ – неорганическая кислота в присутствии комплексообразующих реагентов

Система	$m_{\text{ПАВ}}$ , г	$V_{\text{общ}}$ , мл	Реагент	$m_{\text{реагента}}$ , г	$C_{\text{кислоты}}$ , моль/л	$V_{\text{ф. ПАВ}}$ , мл
Вода – сульфенол – HCl	1,2	20,0	ДАМ	0,8	0,3–7,0	1,5–2,2
			ДАБ	0,6	0,3–7,0	2,0–2,5
			ДАГ	0,6	0,3–7,0	2,0–2,5
	0,6	10,0	Phen	0,15	0,25–3,0	1,0–1,2
			БТА	0,35	0,1–4,0	1,0–1,2
Вода – сульфенол – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,2	20,0	ДАМ	0,8	0,2–5,0	1,8–2,2
			ДАБ	0,6	0,2–5,0	2,0–2,5
	0,6	10,0	Phen	0,15	0,1–5,0	1,0–1,2
			БТА	0,35	0,05–3,0	1,0–1,2
			ДАМ	0,8	0,3–6,0	2,0–2,5
Вода – SDS – HCl	1,5	20,0	ДАБ	0,6	0,5–6,0	2,0–2,5
			ДАГ	0,6	0,5–6,0	2,0–2,5
			Phen	0,3	0,5–5,0	3,0–4,0
			БТА	0,35	0,5–6,0	2,0–2,5
	0,75	10,0	ДАМ	0,8	0,2–5,0	2,0–2,5
Вода – SDS – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,5	20,0	ДАБ	0,6	0,2–5,0	2,0–2,5
			Phen	0,3	0,5–4,0	3,0–4,0
			БТА	0,35	0,5–4,0	2,0–2,5
	0,75	10,0	ДАМ	0,8	0,2–5,0	2,0–2,5
			ДАБ	0,6	0,2–5,0	2,0–2,5
Вода – АБСК – HCl	0,5	10,0	ДАМ	0,4	0,1–2,0	2,0–2,5
			ДАБ	0,35	0,2–8,0	2,0–2,5
			ДАГ	0,35	0,2–8,0	2,0–2,5
	0,5	10,0	БТА	0,35	0,0–4,0	1,0–1,2
			Ант	1,0	0,0–2,5	1,7–2,0
Вода – АБСК – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,0	20,0	ДАМ	0,4	0,1–2,0	2,0–2,5
	0,5	10,0	БТА	0,35	0,0–3,0	1,0–1,2
	0,9	10,0	Ант	1,0	0,0–2,5	1,7–2,0

Экстракция ионов металлов в системах на основе АПАВ и неорганических кислот в присутствии **диантипирилалканов** (ДАА) рассмотрена на примере извлечения ионов Fe(III), Tl(III), Cu(I), Sn(II), Ga(III), Zn(II), Cd(II), Zr(IV), In(III), La(III) и Sc(III). Для ДАА характерно образование двух видов комплексов в зависимости от кислотности среды. При низкой кислотности извлекаются координационные комплексы состава  $[MD_n] \cdot (An)_m$ , где D – диантипирилалкан, An – анион ПАВ. При высокой – ионные ассоциаты  $DH \cdot [MCl_n]$ . В первом случае ПАВ выступает в качестве источника противоионов, во втором – исключительно как фазообразователь.

В системе вода – сульфенол – HCl наблюдается количественная экстракция ионов Tl(III) (>99%) с ДАМ в широком интервале концентраций кислоты. При содержании HCl 3,0 моль/л и выше экстракция Sn(II) и Ga(III) достигает 95%. Максимальное извлечение Cu(I) составляет 81% при 0,5 моль/л HCl и падает с увеличением кислотности системы в связи с окислением до Cu(II), не экстрагирующегося ДАМ. Кривая извлечения железа (III) имеет минимум в связи со сменой механизма экстракции с координационного на анионообменный, максимально достигнутое значение степени извлечения составило 87%. Наибольшая экстракция Zn(II) составила 35% (рисунок 5). В системах вода – SDS – HCl и вода – АБСК – HCl в присутствии ДАМ кривые извлечения ионов металлов имеют похожий вид.

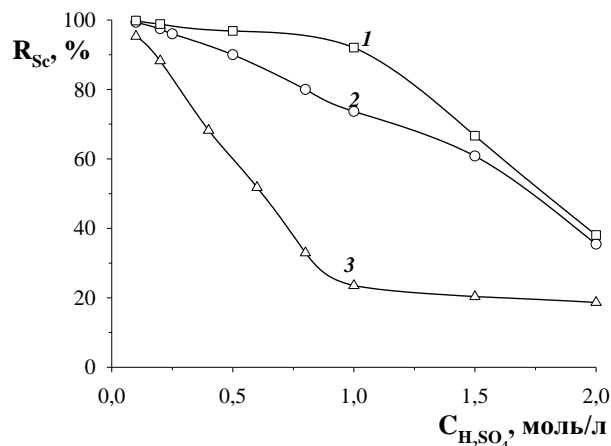
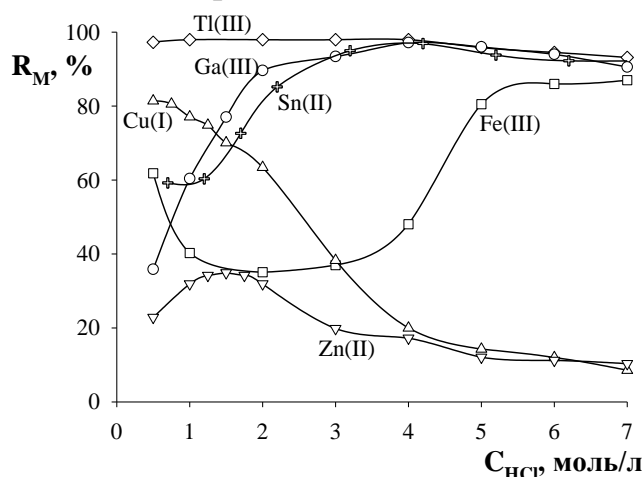


Рисунок 5 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов с ДАМ в системе вода – сульфенол – HCl ( $m_{\text{сульфенола}} = 1,2$  г,  $m_{\text{ДАМ}} = 0,8$  г,  $V_{\text{общ}} = 20,0$  мл).

Рисунок 6 – Распределение 0,01 моль/л ионов Sc(III) с ДАМ в системах вода – ПАВ –  $H_2SO_4$ : 1 – АБСК, 2 – сульфенол, 3 – SDS.

В системах с серной кислотой возможна количественная экстракция ионов Sc(III) с ДАМ. Степень извлечения скандия выше 95% при кислотности менее 1,0 моль/л в системе с АБСК и 0,5 моль/л в системе с сульфенолом. Степень извлечения скандия в системе с SDS максимальная при 0,1 моль/л серной кислоты и уменьшается с ростом кислотности (рисунок 6).

С увеличением длины радикала в реагенте уменьшается концентрация HCl, при которой начинается количественная экстракция по анионообменному механизму. На рисунке 7 представлены результаты изучения распределения ионов металлов, экстрагирующихся с ДАБ в системе вода – АБСК – HCl в виде хлоридных ацидокомплексов. Tl(III) извлекается количественно на всем интервале кислотности. Sn(II) экстрагируется количественно при концентрации кислоты более 0,5 моль/л, Fe(III) – более 3,0 моль/л. Максимальное извлечение Cd(II) составило 35%, Zn(II) – 19%. Кривые извлечения ионов металлов с ДАБ в других системах имеют похожий

вид, например, количественное извлечение Ga(III) во всех системах начинается с концентрации HCl 3,0 моль/л (рисунок 8).

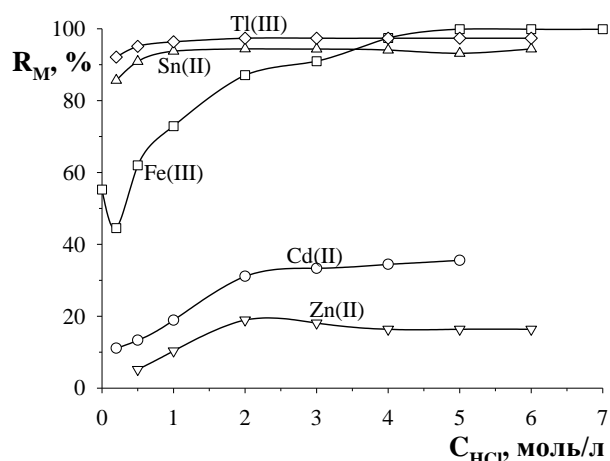


Рисунок 7 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов с ДАБ в системе вода – АБСК – HCl ( $m_{ABCK} = 0,5$  г,  $m_{DAB} = 0,35$  г,  $V_{общ} = 10,0$  мл).

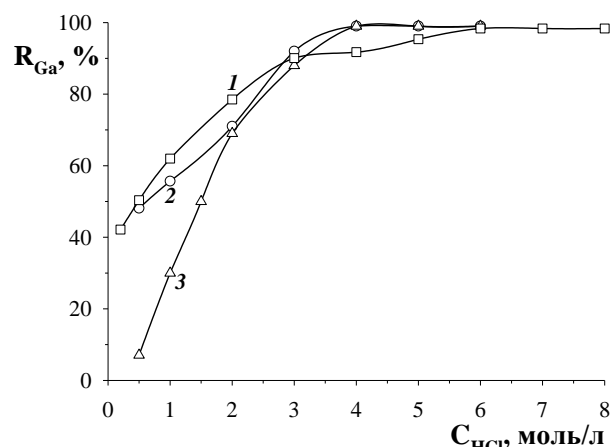


Рисунок 8 – Распределение 0,01 моль/л ионов Ga(III) с ДАБ в системах вода – АПАВ – HCl: 1 – АБСК, 2 – сульфолол, 3 – SDS.

В системе на основе SDS и HCl в присутствии ДАГ наблюдается количественная экстракция Fe(III) и Ga(III) при концентрации кислоты более 3,0 моль/л. Максимальное извлечение Cd(II) составило 72%, In(III) – 45%, Co(II) – 40% (рисунок 9). Аналогичные тенденции наблюдаются при замене SDS на сульфолол или АБСК.

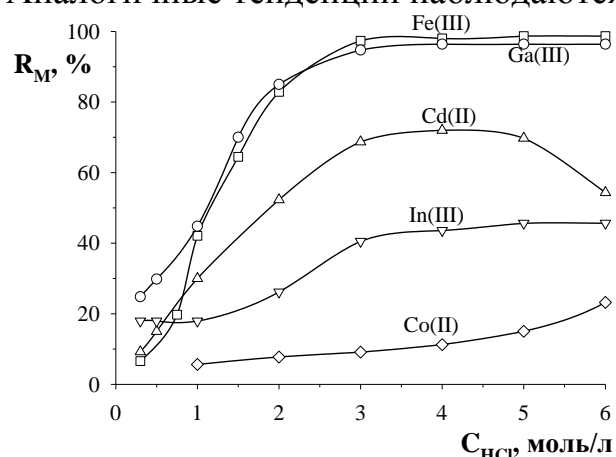


Рисунок 9 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов с ДАГ в системе вода – SDS – HCl ( $m_{SDS} = 1,5$  г,  $m_{ДАГ} = 0,6$  г,  $V_{общ} = 20,0$  мл).

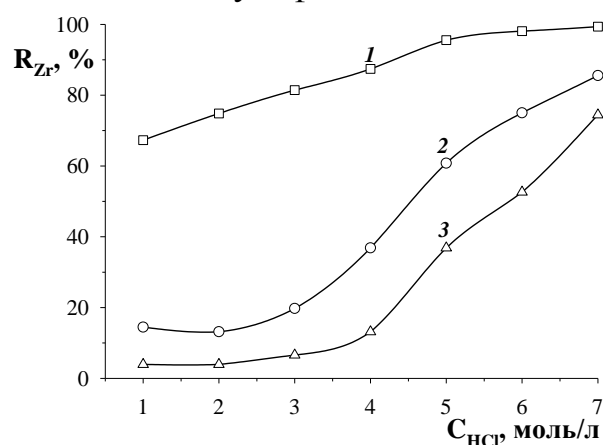


Рисунок 10 – Распределение 0,01 моль/л ионов Zr(IV) с ДАМ в системах вода – ПАВ – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: 1 – АБСК, 2 – сульфолол, 3 – SDS.

Так же во всех системах с HCl и ДАГ наблюдается увеличение экстракции Zr(IV) с ростом содержания кислоты. В системе с SDS  $R_{max}$  циркония составила 74%, сульфололом – 86%. В случае АБСК при  $C_{HCl}$  более 5,0 моль/л извлечение циркония выше 95% (рисунок 10).

Экстракционные возможности систем в присутствии **Phen** изучены на примере распределения ионов Ni(II), Cu(II), Co(II), Fe(II) и Fe(III). Вид кривых распределения металлов в системах не меняется в зависимости от использованной кислоты или ПАВ. Во всех системах наибольший интерес представляет количественное извлечение никеля (II) в широком интервале концентраций кислот (рисунок 15). В системах на основе SDS кобальт (II) до 4,0 моль/л HCl и до 2 моль/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> извлекается более чем на 90%. Медь (II) экстрагируется количественно до концентрации 1,0

моль/л HCl и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, при содержании кислот более 2,5 моль/л в системе образуются осадки. Железо (II) извлекается на 98% лишь при 0,5 моль/л концентрации кислоты. В этих же условиях экстракция железа (III) является незначительной.

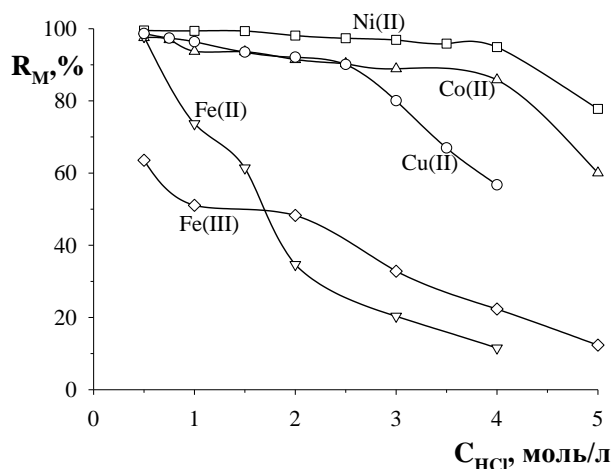


Рисунок 15 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов с Phen в системе вода – SDS – HCl ( $m_{\text{SDS}} = 1,5$  г,  $m_{\text{Phen}} = 0,3$  г,  $V_{\text{общ}} = 20,0$  мл).

степень извлечения ионов металлов уменьшается.

Разработана методика экстракционно-фотометрического определения никеля с Phen в системе вода – SDS – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Градуировочному графику ( $\lambda = 795$  нм,  $l = 1$  см, СФ-2000) соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:  $A = 0,1346 \cdot C_{\text{Ni}}$  ( $r^2 = 0,9989$ ), где  $A$  – оптическая плотность,  $C_{\text{Ni}}$  – концентрация никеля в экстракте, мг/мл. Закон Бэра выполняется в интервале содержания Ni в экстракте от 0,94 до 4,73 мг. Предел обнаружения составил 0,14 мг никеля. Определению Ni(II) не мешают 3-кратный избыток Fe(III) и 10-кратный избыток Co(II). Методика апробирована на растворе стандартного образца никеля № 91-б, образце сточной воды металлургического производства и растворе сернокислотного выщелачивания окисленных никелевых руд. Представленная методика обладает невысокой чувствительностью, но позволяет количественно отделять и определять никель в сложных смесях.

Экстракционные возможности систем в присутствии **БТА** изучены на примере распределения ионов Ni(II), Cu(II), Co(II), Zn(II), Fe(III) и Pd(II). Условий количественной экстракции вышеперечисленных ионов в системах вода – SDS – кислота обнаружить не удалось.

Кривые извлечения ионов металлов во всех изученных системах имеют похожий вид, представленный на рисунке 16 на примере системы вода – АБСК – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. До концентраций кислот 1,5 моль/л извлечение палладия больше 99%. Количественное извлечение меди (II) возможно до концентрации 0,3 моль/л HCl и 0,15 моль/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Максимальное извлечение никеля, кобальта (II), цинка и железа (III) наблюдается в отсутствие минеральных кислот.

Предположительно экстракция ионов металлов с БТА протекает по координационному механизму в виде комплекса  $M(\text{БТА})_m\text{An}_n$  (где  $\text{An}$  – анион ПАВ). Вследствие роста конкуренции с ионами водорода за реагент с увеличением кислотности систем, степень извлечения ионов металлов падает.

В системе с сульфонолом Cu(II) извлекается количественно до содержания кислот 3,0 моль/л HCl и 0,5 моль/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Количественная экстракция железа (II) наблюдается до концентраций кислот 0,5 моль/л хлороводородной и 0,25 моль/л серной. Максимальное извлечение кобальта и железа (III) наблюдается при минимальной кислотности систем.

Скорее всего, экстракция протекает по координационному механизму в виде комплексов  $[M(\text{Phen})_m]^{n+}$ . С ростом концентрации кислоты вследствие конкуренции с ионами водорода за реагент

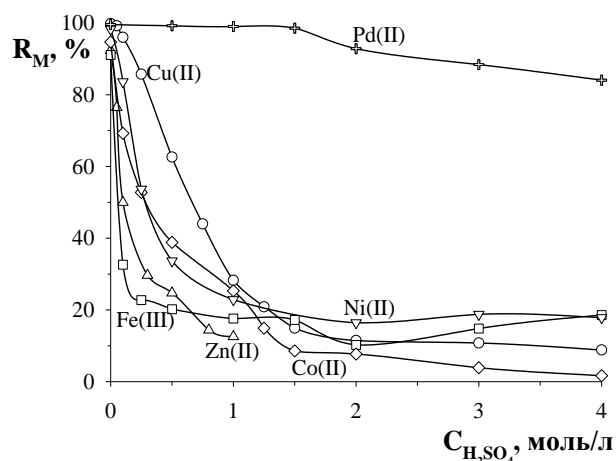


Рисунок 16 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов с БТА в системе вода – АБСК – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (m<sub>АБСК</sub> = 0,5 г, m<sub>БТА</sub> = 0,35 г, V<sub>общ</sub> = 10,0 мл).

избыток железа (III). Методика апробирована на образце сточной воды металлургического производства. Она обладает невысокой чувствительностью, но позволяет определять содержание меди в сложных растворах, а также концентрировать медь из больших объемов разбавленных растворов.

Изучение экстракции ионов Pd(II) с БТА в присутствии ионов Ni(II), Cu(II), Co(II) и Fe(III), показало, что количественному извлечению ионов палладия из растворов не мешают 500-кратный мольный избыток Cu(II), 300-кратный – Co(II), 70-кратный – Ni(II). В присутствии более 2-кратного мольного избытка ионов Fe(III) извлечение ионов палладия падает до 93%. Извлечение самих металлов при этом не превышает 7%. Максимальные коэффициенты разделения составили:  $S_{Pd/Ni} = 4060$ ,  $S_{Pd/Fe} = 1973$ ,  $S_{Pd/Cu} = 1480$ ,  $S_{Pd/Co} = 1390$ .

#### 4. ЖИДКОФАЗНЫЕ И ЭКСТРАКЦИОННЫЕ РАВНОВЕСИЯ В СИСТЕМАХ, РАССЛАИВАЮЩИХСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ ХИМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Установлены концентрационные границы областей расслаивания в системах вода – АБСК – Ант при 25°C (рисунок 17) и вода – АБСК – БТА при 75°C (рисунок 18). В системе с Ант область двухфазного жидкого равновесия расположена вблизи вершины воды, занимает значительную площадь, смещена к двойной системе АБСК – вода. Двойная система вода – БТА расслаивается при 75°C в интервале содержания БТА 5-83 мас.%. АБСК выступает в роли гомогенизатора, максимальное ее содержание в расслаивающихся смесях 56 мас.%.

Изучено распределение некоторых ионов металлов в системе вода – АБСК – Ант (рисунок 19). При отсутствии HCl наблюдается количественная экстракция (>99%) Sc(III) и Fe(III), на 92% извлекается La(III) (рисунок 20). С ростом кислотности их комплексы с Ант разрушаются вследствие протонирования реагента, что приводит к уменьшению степени извлечения. В интервале концентраций 0,1–2,5 моль/л HCl наблюдается количественная экстракция ионов Tl(III). Вид его кривой извлечения позволяет предположить, что экстракция протекает по анионообменному механизму. Кривая извлечения Cu(I) проходит через максимум (82%), что связа-

Предложена методика экстракционно-фотометрического определения меди с БТА в системе вода – АБСК – HCl. Градуировочному графику ( $\lambda = 682$  нм,  $l = 1$  см, СФ-2000) соответствует уравнение прямой, полученное методом наименьших квадратов:  $A = 0,0013 \cdot C_{Cu}$  ( $r^2 = 0,9931$ ), где  $A$  – оптическая плотность,  $C_{Cu}$  – концентрация меди (II) в экстракте, мкг/мл. Закон Бэра выполняется в интервале содержания меди в экстракте от 92 до 740 мкг. Предел обнаружения составил 27 мкг меди. Определению меди не мешают 3-кратный избыток никеля, 20-кратный избыток кобальта и 25-кратный

но с ее частичным окислением до Cu(II). Экстракция Fe(III) и Ga(III) возможна лишь по координационному механизму при отсутствии неорганической кислоты в системе. Введение в систему тиоцианат-ионов меняет перечень извлекаемых ионов металлов (рисунок 20).

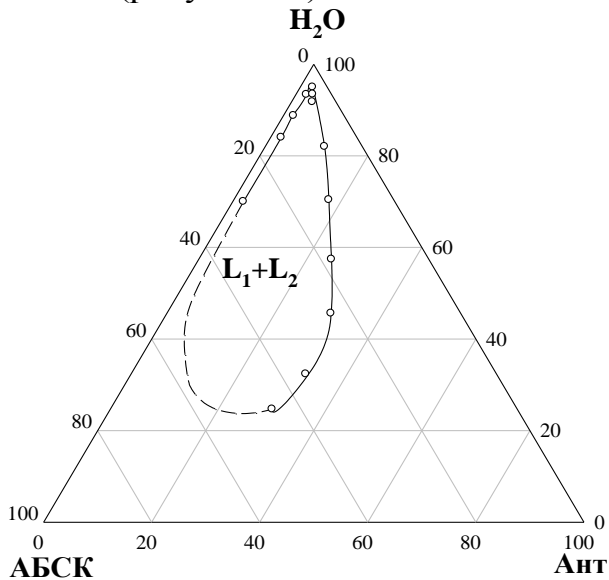


Рисунок 17 – Граница области расслаивания в системе вода – АБСК – Ант при 25°C.

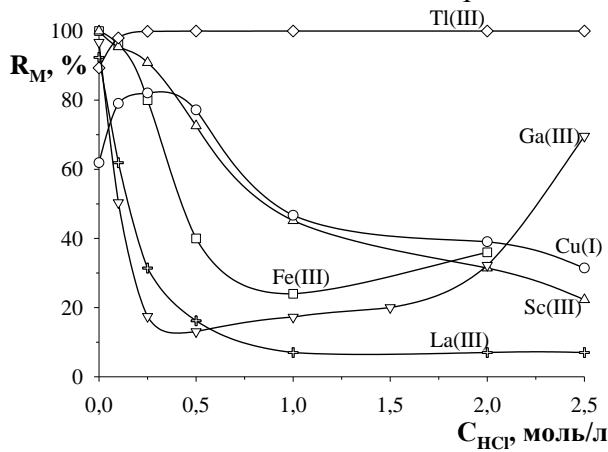


Рисунок 19 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – Ант – АБСК ( $m_{\text{АБСК}} = 0,9$  г,  $m_{\text{Ант}} = 1,0$  г,  $V_{\text{общ}} = 10,0$  мл).

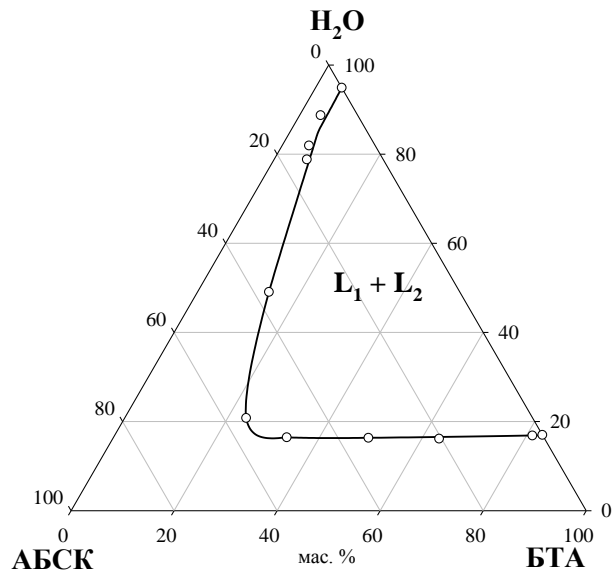


Рисунок 18 – Граница области расслаивания в системе вода – АБСК – БТА при 75°C.

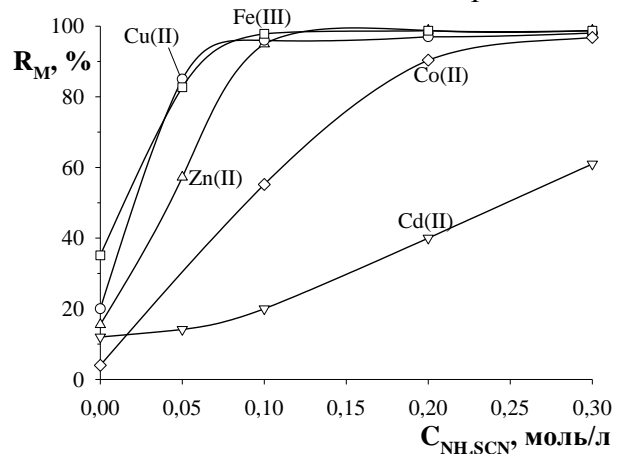


Рисунок 20 – Распределение 0,01 моль/л ионов металлов в системе вода – Ант – АБСК – 0,5 моль/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в зависимости от концентрации  $\text{NH}_4\text{SCN}$  ( $m_{\text{АБСК}} = 0,9$  г,  $m_{\text{Ант}} = 1,0$  г,  $V_{\text{общ}} = 10,0$  мл).

Введение солей: NaCl,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , KCl,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  и  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , в систему вода – АБСК – БТА уменьшает время расслаивания, а также улучшает экстракционные характеристики системы. Результаты по распределению ионов Cu(II) в данной системе при различных концентрациях высаливателя показали, что введение неорганических солей практически не влияет на экстракцию ионов меди (II), которая сохраняется в интервале 88–95%. Таким образом, эта система пригодна для экстракции ионов металлов из высокоминерализованных растворов.

### **Выводы:**

1. Построены фазовые диаграммы многокомпонентных систем вода – сульфол – HCl ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), вода – SDS – HCl ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), вода – АБСК – HCl ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Области рас-

слаивания существуют в широких интервалах концентраций компонентов. Введение высаливателя – хлорида аммония в систему вода – SDS – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, расширяет концентрационные границы существования области расслаивания.

2. Установлены концентрационные границы области жидкого двухфазного равновесия в системах с химическим взаимодействием вода – АБСК – Ант и вода – АБСК – БТА. Расслаивание сохраняется в присутствии неорганических кислот и высаливателей.
3. В вышеперечисленных системах установлены оптимальные концентрационные параметры проведения экстракции. Введение дополнительных комплексообразующих реагентов: антипирина, диантипирилметана и его гомологов, 1,10-фенантролина, 1,2,3-бензотриазола, стабилизирует соотношение фаз в системах и позволяет проводить экстракцию из менее кислых растворов.
4. В изученных системах найдены условия количественного извлечения ионов Tl(III), Ga(III), Fe(III), Sn(II) по анионообменному механизму, Sc(III), Zr(IV) по координационному механизму диантипирилметаном или его гомологами; Ni(II), Cu(II), Co(II) 1,10-фенантролином; Pd(II), Cu(II), Ni(II) 1,2,3-бензотриазолом.
5. В системе вода – АБСК – Ант в отсутствии неорганических кислот количественно извлекаются ионы Sc(III) и Fe(III) по координационному механизму, в присутствии хлорид-ионов – ионы Tl(III), тиоцианат-ионов – ионы Fe(III), Cu(II), Co(II), Zn(II) по анионообменному механизму.
6. Предложены методики экстракционно-фотометрического определения Ni(II) с Phen в системе вода – SDS – 2,0 моль/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и Cu(II) с БТА в системе вода – АБСК – 0,1 моль/л HCl. Установлена возможность селективного отделения ионов Pd(II) от ионов Ni(II), Cu(II), Co(II) и Fe(III) с БТА в системе вода – АБСК – 1,5 моль/л HCl.

**Основное содержание диссертации изложено в работах:**

***Статьи, опубликованные в рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных ВАК:***

1. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – сульфенол – HCl (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) и вода – додецилсульфат натрия – HCl (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова // Журнал физической химии. – 2016. – Т. 90. – № 10. – С. 1458–1464. 0,44 п.л. / 0,15 п.л. (Web of Science)
2. *Заболотных, С.А.* Гель-экстракция ионов металлов диантипирилалканами в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфокислоты / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова // Вода: Химия и экология. – 2017. – № 1. – С. 73–79. 0,44 п.л. / 0,15 п.л.
3. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов в расслаивающихся системах вода – сульфенол (или додецилсульфат натрия) – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – NH<sub>4</sub>Cl – диантипирилалкан / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова // Башкирский химический журнал. – 2017. – Т. 24. – № 2. – С. 36–41. 0,38 п.л. / 0,13 п.л.
4. *Заболотных, С.А.* Использование расслаивающейся системы вода – антипирин – алкилбензолсульфокислота для экстракции ионов металлов / С.А. Заболотных, В.О. Желнина, С.А. Денисова, А.М. Елохов, А.Е. Леснов // Журнал Сибирского федерального университета. Химия. – 2017. – Т. 10. – № 4. – С. 536–544. 0,56 п.л. / 0,11 п.л. (Web of Science)

5. *Заболотных, С.А.* Сравнение экстракционных возможностей систем на основе сульфонола, додецилсульфата натрия или алкилбензолсульфокислоты / С.А. Заболотных, К.О. Гилева, А.Е. Леснов, С.А. Денисова // Журнал прикладной химии. – 2019. – Т. 92. – № 4. – С. 516–522. 0,44 п.л. / 0,11 п.л. (Web of Science)
6. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов Pd(II), Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) и Zn(II) 1,2,3-бензотриазолом в системах на основе анионных ПАВ / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова, К.О. Гилева // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2019. – Т. 62. – Вып. 7. – С. 38–44. 0,44 п.л. / 0,11 п.л. (Web of Science)

***Другие публикации:***

7. *Заболотных, С.А.* Изучение водных расслаивающихся систем на основе сульфонола / С.А. Заболотных, С.А. Денисова // Вестник Пермского университета. Серия Химия. – 2014. – Вып. 1(13). – С. 50–57; 0,50 п.л. / 0,25 п.л.
8. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов диантипирилалканами в системах вода – сульфонол (или додецилсульфат натрия) – неорганическая кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова // Вестник Пермского университета. Серия Химия. – 2016. – Вып. 1(21). – С. 7–15; 0,56 п.л. / 0,28 п.л.
9. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов Ni(II), Co(II), Cu(II), Fe(III) и Fe(II) с 1,10-фенантролином в системах на основе сульфонола или додецилсульфата натрия / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов С.А. Денисова // Вестник Пермского университета. Серия Химия. – 2018. – Т. 8. – Вып. 1. – С. 29–38; 0,63 п.л. / 0,21 п.л.
10. *Заболотных, С.А.* Экстракционно-фотометрическое определение меди (II) с 1,2,3-бензотриазолом в система вода – алкилбензолсульфокислота – хлороводородная кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова, К.О. Манылова // Вестник Пермского университета. Серия Химия. – 2018. – Т. 8. – Вып. 3 – С. 292–299; 0,50 п.л. / 0,17 п.л.
11. *Заболотных, С.А.* Изучение фазовых равновесий в системе вода – сульфонол – диантипирилметан – хлороводородная кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова / Химия. Экология. Биотехнология-2013: тезисы докладов XV научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Пермь. – 2013. – С. 126–127; 0,13 п.л. / 0,06 п.л.
12. *Заболотных, С.А.* Фазовые равновесия в системе вода – сульфонол – диантипирилметан – хлороводородная кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова / Химический анализ и окружающая среда. Материалы V региональной школы-конференции. – Пермь. – 2013. – С. 30–33; 0,25 п.л. / 0,13 п.л.
13. *Заболотных, С.А.* Metal ions extraction in stratifying systems based on anionic surfactant sulphonol / С.А. Заболотных, С.А. Денисова / Innovations in Science and Humanities: материалы научно-практической конференции. – Пермь. – 2014. – Вып. 7. – С. 36–38; 0,19 п.л. / 0,09 п.л.
14. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов в системах вода – сульфонол – диантипирилметан – неорганическая кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова, А.Е. Леснов / Техническая химия. От теории к практике: тезисы докладов IV Международной конференции. – Пермь. – 2014. – С. 187; 0,06 п.л. / 0,02 п.л.
15. *Заболотных, С.А.* Gel-extraction of metal ions in water stratifying systems based on sulphonol and inorganic acids [Электронный ресурс] / С.А. Заболотных, С.А. Дени-



- сова, А.Е. Леснов / Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2015». – Москва. – 2015. – Режим доступа: [https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2015/data/section\\_32\\_7109.htm](https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2015/data/section_32_7109.htm); 0,06 п.л. / 0,02 п.л.
16. *Заболотных, С.А.* Гель-экстракция ионов металлов в водных расслаивающихся системах на основе сульфонола и неорганической кислоты / С.А. Заболотных, С.А. Денисова, А.Е. Леснов / Химия. Экология. Биотехнология-2015: тезисы докладов XVII научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Пермь. – 2015. – С. 104–105; 0,13 п.л. / 0,04 п.л.
17. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – анионогенный ПАВ – неорганическая кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова, А.Е. Леснов / Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тезисы докладов XXV Российской молодежной научной конференции. – Екатеринбург. – 2015. – С. 178–180; 0,19 п.л. / 0,06 п.л.
18. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в системе вода – додецилсульфат натрия – неорганическая кислота / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова / Органические реагенты в практике химического анализа объектов окружающей среды: материалы VI региональной молодежной конференции. – Пермь. – 2015. – С. 40–43; 0,25 п.л. / 0,08 п.л.
19. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов в расслаивающихся системах на основе додецилсульфата натрия / С.А. Заболотных / Проблемы теоретической и экспериментальной химии: тезисы докладов XXVI Российской молодежной научной конференции. – Екатеринбург. – 2016. – С. 127–128; 0,13 п.л. / 0,13 п.л.
20. *Заболотных, С.А.* Гель-экстракция ацидокомплексов металлов диантипирилалканами в расслаивающихся системах на основе сульфонола и додецилсульфата натрия / С.А. Заболотных / Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Томск. – 2016. – С. 231–232; 0,13 п.л. / 0,13 п.л.
21. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в системах вода – алкилбензолсульфоокислота – неорганическая кислота / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов / Аналитика Сибири и дальнего Востока: материалы X Всероссийской научной конференции с международным участием. – Барнаул. – 2016. – С. 184; 0,06 п.л. / 0,03 п.л.
22. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфоокислоты и неорганической кислоты / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, С.А. Денисова / Техническая химия. От теории к практике: Сборник тезисов докладов V Международной конференции. – Пермь. – 2016. – С. 144; 0,06 п.л. / 0,02 п.л.
23. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов в водных расслаивающихся системах на основе алкилбензолсульфоокислоты/ С.А. Заболотных, С.А. Денисова / Современные достижения химических наук: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Пермь. – 2016. – С. 85–88; 0,25 п.л. / 0,13 п.л.
24. *Заболотных, С.А.* Фазовые и экстракционные равновесия в системе вода – антипирин – алкилбензолсульфоокислота/ С.А. Заболотных, В.О.Желнина, С.А. Денисова, А.М.Елохов / Химия. Экология. Урбанистика. Материалы Всероссийской

- научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников (с международным участием). – Пермь. – 2017. – С. 502–505; 0,25 п.л. / 0,06 п.л.
25. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов *o*-фенантролином в расслаивающихся системах на основе АПАВ и неорганических кислот / С.А. Заболотных / Байкальская школа-конференция по химии – 2017. Сборник научных трудов Всероссийской школы-конференции с международным участием. – Иркутск. – 2017. – С. 301–303; 0,19 п.л. / 0,19 п.л.
26. *Заболотных, С.А.* Экстракционные возможности системы вода – антипирин – алкилбензолсульфо кислота / С.А. Заболотных, В.О. Желнина, С.А. Денисова, А.М.Елохов / Современные аспекты химии: материалы IV молодежной школы-конференции. – Пермь. – 2017. – С 24–25; 0,13 п.л. / 0,03 п.л.
27. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов металлов бензотриазолом в расслаивающихся системах вода – анионный ПАВ – неорганическая кислота [Электронный ресурс] / С.А. Заболотных / Тезисы докладов Третьего съезда аналитиков России. – Москва. – 2017. – С. 61. – Режим доступа: <http://www.rusanalytchem.org/car2017/Publications/2017-Abstracts.pdf>; 0,06 п.л. / 0,06 п.л.
28. *Заболотных, С.А.* Экстракция ионов палладия (II) с бензотриазолом в расслаивающейся системе вода – алкилбензолсульфо кислота – хлороводородная кислота / С.А. Заболотных / Современные проблемы химической науки и фармации: сборник материалов VI Всероссийской конференции с международным участием. – Чебоксары. – 2017. – С. 39; 0,06 п.л. / 0,06 п.л.
29. *Заболотных, С.А.* Влияние HCl на фазовые и экстракционные равновесия системы «вода – диантипириметан – алкилбензолсульфо кислота» / С.А. Заболотных, В.О. Желнина, С.А. Денисова / Проблемы теоретической и экспериментальной химии. Тезисы докладов XXVIII Российской молодежной научной конференции с международным участием. – Екатеринбург. – 2018. – С. 96; 0,06 п.л. / 0,02 п.л.
30. *Заболотных, С.А.* Система «вода – алкилбензолсульфо кислота – HCl» для экстракционно-фотометрического определения меди (II) с 1,2,3-бензотриазолом / С.А. Заболотных, К.О. Манылова / Проблемы теоретической и экспериментальной химии. Тезисы докладов XXVIII Российской молодежной научной конференции с международным участием. – Екатеринбург. – 2018. – С. 98; 0,06 п.л. / 0,03 п.л.
31. *Заболотных, С.А.* Экстракционно-фотометрическое определение никеля с 1,10-фенантролином в системе вода – додецилсульфат натрия – серная кислота / С.А. Заболотных, С.А. Денисова, К.О. Манылова / Современные аспекты химии: материалы V молодежной школы-конференции. – Пермь. – 2018. – С. 29–32; 0,25 п.л. / 0,08 п.л.
32. *Заболотных, С.А.* Системы для экстракции ионов металлов на основе анионных ПАВ / С.А. Заболотных, А.Е. Леснов, К.О. Манылова / Материалы V Всероссийского симпозиума «Разделение и концентрирование в аналитической химии и радиохимии» с международным участием. – Краснодар. – 2018. – С. 67. 0,06 п.л. / 0,02 п.л.