

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева»**

На правах рукописи



Полякова Анастасия Сергеевна

**Экстрагент-содержащие микроэмульсии на основе
ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия**

1.4.10 (02.00.11) Коллоидная химия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Москва – 2021

Работа выполнена на кафедре наноматериалов и нанотехнологии Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Научный руководитель кандидат химических наук, доцент кафедры наноматериалов и нанотехнологии Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева **Мурашова Наталья Михайловна**

Официальные оппоненты:

Доктор химических наук, профессор **Матвеев Владимир Николаевич** ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», профессор кафедры коллоидной химии химического факультета

Доктор химических наук, доцент **Шкинев Валерий Михайлович** ФГБУН Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории концентрирования

Кандидат химических наук, доцент **Киенская Карина Игоревна** ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», доцент кафедры коллоидной химии

Защита состоится «29» марта 2022 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета РХТУ.1.4.02 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9) в конференц-зале (ауд.443).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре РХТУ им. Д.И. Менделеева и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

https://muctr.ru/university/departments/ods/inhouse/inhouse_announcements/

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета РХТУ.1.4.02
к.х.н., доцент



Мурашова Н.М.

Общая характеристика работы

Актуальность работы

Применение наноструктурированных систем в химико-технологических процессах, в том числе в процессах извлечения и разделения веществ, является многообещающим подходом при разработке энерго- и ресурсосберегающих технологий. Анализ динамики публикаций, представленных в базе данных ScienceDirect, показал, что в последние десятилетия повышается интерес научного сообщества к разработке новых методов экстракции органических и неорганических веществ с помощью самоорганизующихся наноструктур поверхностно-активных веществ (ПАВ), таких как мицеллы и микроэмульсии. Микроэмульсии (МЭ) – это термодинамически стабильные дисперсии масла и воды, содержащие домены нанометрового размера, обладающие большой межфазной поверхностью на границе масло–вода. Концентрирование молекул экстрагента на этой границе делает микроэмульсии привлекательными для применения в процессах жидкостной экстракции и микроэмульсионного выщелачивания. Последний является методом извлечения металлов из природного и техногенного твердого сырья путём его обработки экстрагент-содержащей микроэмульсией. Он был впервые предложен на кафедре наноматериалов и нанотехнологии РХТУ имени Д.И. Менделеева. Его особенностью является селективное извлечение целевых компонентов и их включение в состав МЭ уже на стадии обработки твердой фазы, что позволяет в одном процессе совместить выщелачивание и экстракцию. Для выщелачивания могут использоваться микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия (Д2ЭГФNa), содержащие в своем составе катионообменный экстрагент ди-(2-этилгексил)фосфорную кислоту (Д2ЭГФК).

Необходима также разработка других микроэмульсий для выщелачивания металлов, получаемых на основе широко распространённых в промышленности ПАВ, например, на основе додецилсульфата натрия. Эти МЭ должны существовать в широком диапазоне концентраций компонентов и температур, включать достаточно большое количество экстрагента, чтобы обеспечить высокую скорость выщелачивания и высокую степень извлечения металлов, а также сохранять свою стабильность в ходе выщелачивания.

Степень разработанности темы работы

Несмотря на большое количество работ, посвященных исследованию физико-химических свойств микроэмульсий на основе ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия, в литературе нет достаточного описания влияния экстрагентов на эти свойства. Кроме того, к настоящему моменту описывалось применение для выщелачивания металлов только микроэмульсий в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – керосин – вода. Данная диссертационная работа посвящена более широкому и систематическому исследованию свойств экстрагент-содержащих микроэмульсий и возможностей их применения для выщелачивания цветных металлов (меди, цинка) из оксидного сырья.

Цель работы

Цель настоящей работы – определить влияние экстрагентов на физико-химические свойства микроэмульсий на основе ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия и продемонстрировать возможность их применения для извлечения цветных металлов из оксидного сырья.

Для достижения данной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Определить влияние экстрагента ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты (Д2ЭГФК) на физико-химические свойства микроэмульсий в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода.

2. Определить влияние экстрагентов (Д2ЭГФК, капроновой кислоты, а также смеси трибутилфосфата (ТБФ) и уксусной кислоты) на физико-химические свойства микроэмульсий додецилсульфата натрия.

3. Выявить влияние структуры микроэмульсий в системах Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода и додецилсульфат натрия– бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода на выщелачивание меди на модельной системе с оксидом меди (II).

4. Определить составы микроэмульсий для выщелачивания цветных металлов (меди, цинка) из оксидного сырья микроэмульсиями в системе додецилсульфат натрия– бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода.

Научная новизна работы

1. Показано разнонаправленное, в зависимости от её концентрации, влияние Д2ЭГФК на следующие свойства микроэмульсии в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода: солубилизационную ёмкость по воде, удельную электропроводность, распределение воды в каплях микроэмульсии по типам ассоциатов, гидродинамический диаметр капель.

2. Определены области существования и размеры капель микроэмульсии в системе додецилсульфат натрия – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода в присутствии экстрагентов ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты, капроновой кислоты, а также смеси трибутилфосфата и уксусной кислоты.

3. Установлено влияние структуры микроэмульсии в системах Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода и додецилсульфат натрия – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода на выщелачивание меди на модельной системе с оксидом меди (II).

4. Продемонстрирована возможность применения экстрагент-содержащих микроэмульсий додецилсульфата натрия для извлечения цветных металлов из оксидного сырья.

Теоретическая значимость

Полученные результаты позволили расширить представления о влиянии экстрагентов на физико-химические свойства и возможности применения микроэмульсий ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия.

Практическая значимость

1. Предложены составы экстрагент-содержащих микроэмульсий на основе Д2ЭГФNa и додецилсульфата натрия для извлечения ионов меди и цинка из оксидного сырья.

2. Показана возможность извлечения ионов цинка из промышленного гальванического шлама микроэмульсией в системе додецилсульфат натрия – бутанол-1 – Д2ЭГФК – керосин – вода; при времени выщелачивания 15 минут степень извлечения цинка составила 97,6 %.

Положения, выносимые на защиту

1. Влияние экстрагента ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты (Д2ЭГФК) на физико-химические свойства микроэмульсий в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода.

2. Влияние структуры микроэмульсии в системах Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода и додецилсульфат натрия – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода на выщелачивание меди на модельной системе с оксидом меди (II).

3. Влияние экстрагентов (Д2ЭГФК, капроновой кислоты, а также смеси трибутилфосфата и уксусной кислоты) на физико-химические свойства микроэмульсий додецилсульфата натрия.

4. Составы микроэмульсий для выщелачивания меди и цинка из оксидного сырья.

Методология и методы исследования

Объектами исследования являлись микроэмульсии на основе таких поверхностно-активных веществ, как ди-(2-этилгексил)фосфат натрия и додецилсульфат натрия, содержащие экстрагенты: ди-(2-этилгексил)фосфорную кислоту, капроновую кислоту, смесь трибутилфосфата и уксусной кислоты.

Методы исследования физико-химических свойств МЭ включают определение областей существования МЭ, современные инструментальные методы анализа: кондуктометрию, анализ размера капель методом динамического светорассеяния, ИК-Фурье спектроскопию, определение межфазного натяжения методом Вильгельми. Микроэмульсионное выщелачивание металлов (Cu, Zn) из частиц твёрдой фазы проводилось по специально разработанной методике. Реэкстракцию металлов из МЭ после выщелачивания осуществляли путем смешивания МЭ с азотной кислотой. Для определения концентраций металлов в реэкстракте использовались такие методы аналитической химии как спектрофотометрия и комплексонометрическое титрование.

Личный вклад

Поиск и анализ литературных источников, выполнение расчетов и экспериментов, обработка и интерпретация полученных результатов выполнены непосредственно автором. Обсуждение результатов и написание научных публикаций проведено совместно с научным руководителем.

Апробация работы

Основные результаты работы были представлены на XII – XIV, XVI Международном конгрессе молодых ученых по химии и химической технологии, Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2016 – 2018, 2020; VIII – X ежегодной конференции Нанотехнологического общества России, Москва, 2017 – 2019; Международной конференции со школой и мастер-классами для молодых ученых «Химическая технология функциональных наноматериалов», Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017; V International Conference on Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics, СПбГУ, Санкт-Петербург, 2018; Международной конференции «Экстракция и мембранные методы в разделении веществ», Москва, РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018; XXI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии, Санкт-Петербург, 2019; Школе-конференции для молодых ученых «Супрамолекулярные стратегии в химии, биологии и медицине: фундаментальные проблемы и перспективы» (с международным участием), Казань, 2019.

Публикации

По результатам работы опубликовано 4 статьи в журналах, входящих в международные базы данных, в том числе 3 статьи в журналах, которые индексируются в Scopus и Web of Science, и 20 тезисов докладов на всероссийских и международных конференциях.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из списка сокращений и условных обозначений, введения, 5 глав и списка литературы. Работа содержит 181 страницу, 28 таблиц, 44 рисунка. Список литературы содержит 164 наименования.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы научно-квалификационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, описаны научная новизна и практическая значимость.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации. В ней приведены общие сведения о микроэмульсиях на основе ди-(2-этилгексил)фосфата натрия (Д2ЭГФNa) и додецилсульфата натрия (ДСН), рассмотрено их применение для жидкостной экстракции и микроэмульсионного выщелачивания металлов. Показано, что используемые для извлечения металлов МЭ должны содержать в своём составе экстрагент, либо в качестве экстрагента может выступать ПАВ. Особое внимание уделено влиянию соПАВ на физико-химические свойства микроэмульсий Д2ЭГФNa и ДСН. На основании литературного обзора сформулированы цель и задачи настоящей работы.

Во второй главе описаны основные объекты и методы исследования (в автореферате они указаны в разделе «Методология и методы исследования»).

В третьей главе рассматриваются свойства экстрагент-содержащей микроэмульсии в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода и их влияние на процесс выщелачивания меди. На рисунке 1 представлена зависимость солубилизационной ёмкости данной МЭ по воде, выраженной уравнением (1), от концентрации Д2ЭГФК в смеси Д2ЭГФNa и Д2ЭГФК (в мольн. %), выраженной уравнением (2):

$$W_{\text{кр.}} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{макс.}} / n_{\text{Д2ЭГФNa}}, \quad (1)$$

$$x_{\text{Д2ЭГФК}} = \frac{C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}}{(C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} + C_{\text{Д2ЭГФNa}}^{\text{о.ф.}})} \cdot 100\% \quad (2)$$

где $n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{макс.}}$ – максимальное количество воды в МЭ (моль), $n_{\text{Д2ЭГФNa}}$ – количество Д2ЭГФNa в МЭ (моль), $C_i^{\text{о.ф.}}$ – молярная концентрация компонента в органической фазе МЭ (моль/л).

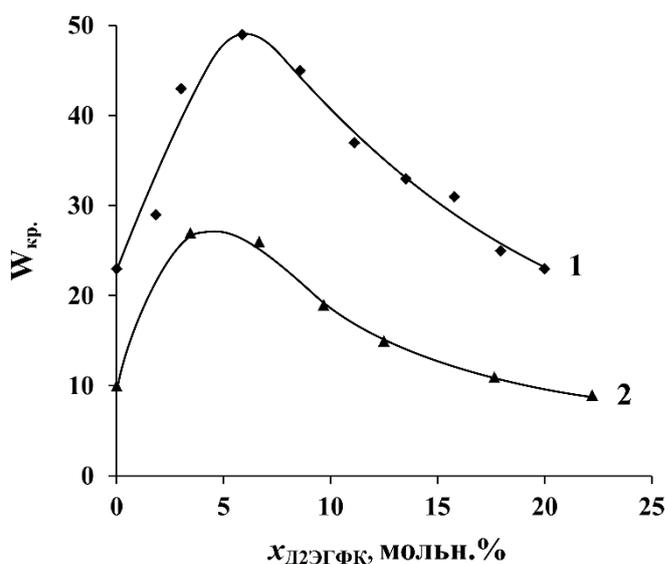


Рисунок 1 – Солубилизационная ёмкость МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода в зависимости от концентрации Д2ЭГФК.

$T = 20^\circ\text{C}$. $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$: 1 – 1,60 моль/л; 2 – 1,40 моль/л.

Максимум солубилизационной ёмкости МЭ по воде наблюдается при $x_{\text{Д2ЭГФК}} = 3,4 \div 5,9$ мольн. %.

Изучена зависимость удельной электропроводности (α) МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода от объёмной доли воды (Φ). По характеру этой зависимости определено, что с увеличением объёмной доли воды в системе происходит структурный переход от обратной МЭ с изолированными каплями к перколированной обратной МЭ (рисунок 2). При малых значениях Φ в МЭ существуют отдельные капли, которые обмениваются содержимым (в данном случае – ионами Na^+) при столкновении друг с другом на короткие промежутки времени. Увеличение количества воды приводит к тому, что по всему объёму МЭ происходит динамический процесс образования кластеров из нескольких капель (так называемых «бесконечных кластеров»). Обмен содержимым капель МЭ происходит внутри таких кластеров. Такой переход способствует облегчению переноса зарядов в обратной МЭ, следовательно, её электропроводность увеличивается. Порог объёмной перколяции в рассмотренной системе находится при $\Phi \approx 0,18$ (что соответствует $W \approx 8$) вне зависимости от $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$.

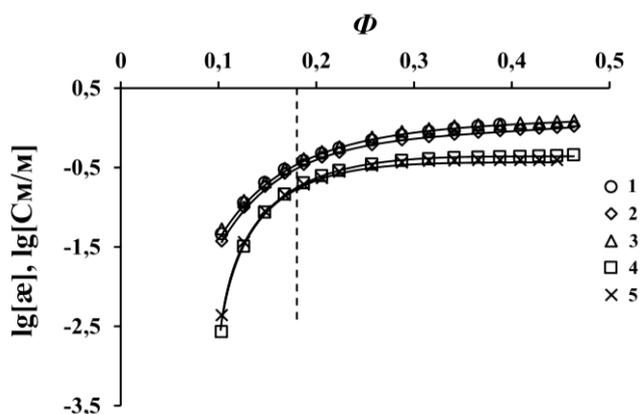


Рисунок 2 – Зависимости логарифмов удельной электропроводности обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода от Φ . $C_{\text{Д2ЭГФNa}}^{\text{о.ф.}} = 1,6$ моль/л; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$: 1 – 0,00 моль/л; 2 – 0,05 моль/л; 3 – 0,10 моль/л; 4 – 0,20 моль/л; 5 – 0,30 моль/л. $T = 20^\circ\text{C}$.

При $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} > 0,10$ моль/л наблюдается снижение удельной электропроводности МЭ, что может свидетельствовать об уменьшении количества носителей зарядов в каплях МЭ.

Методом ИК-Фурье спектроскопии изучено распределение воды по типам ассоциатов в каплях обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода в зависимости от мольного соотношения воды и Д2ЭГФNa, выраженного уравнением:

$$W = n_{\text{H}_2\text{O}} / n_{\text{Д2ЭГФNa}} \quad (3)$$

Определено, что мольный процент ионосвязанной воды, независимо от концентрации Д2ЭГФК, уменьшается с ростом W , а объёмной воды – увеличивается. Мольный процент связанной воды, находящейся между углеводородными радикалами ПАВ, не зависит от W и концентрации Д2ЭГФК, и составляет 6-8 мольн. %. При постоянном значении W зависимость мольного процента ионосвязанной воды от концентрации Д2ЭГФК проходит через максимум при $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,1$ моль/л. Этот максимум соответствует наиболее широкой области существования МЭ.

Методом динамического светорассеяния определены гидродинамические диаметры капель обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода. Показано, что диаметр капель МЭ увеличивается с ростом W (рисунок 3). Эти зависимости описываются линейными уравнениями, представленными в таблице 1.

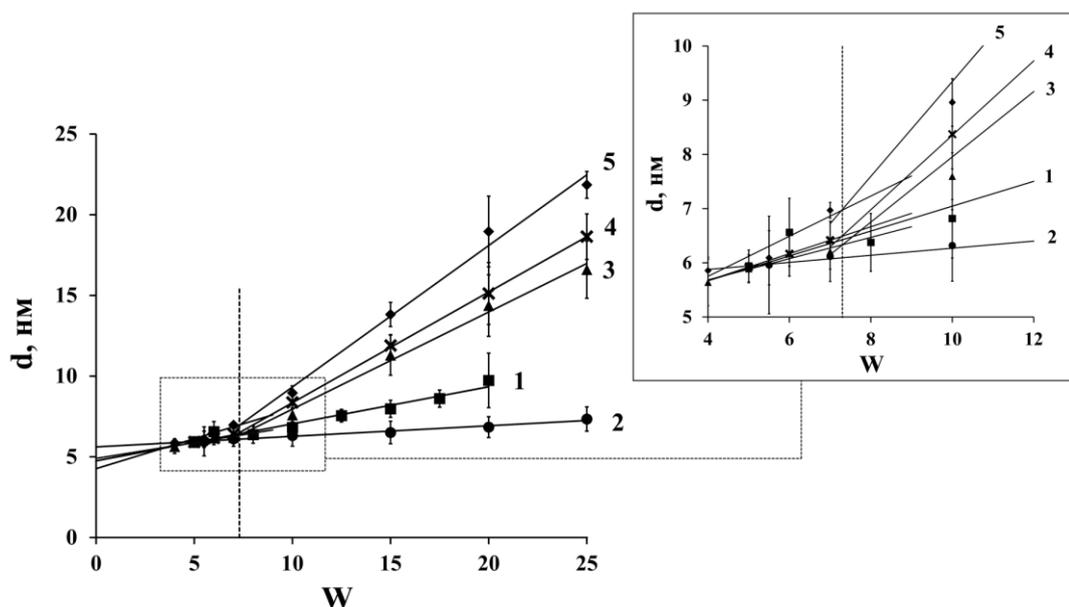


Рисунок 3 – Зависимость среднего гидродинамического диаметра капель обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода от W . $C_{\text{Д2ЭГФNa}}^{\text{о.ф.}} = 1,6$ моль/л. $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$: 1 – 0,00 моль/л; 2 – 0,05 моль/л; 3 – 0,10 моль/л; 4 – 0,15 моль/л; 5 – 0,20 моль/л. $T = 20^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1 – Эмпирические уравнения зависимости диаметра капель обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода от W

$C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$, моль/л	Уравнение	
	$W \leq 7$	$W > 7$
0,00	$d = 0,23 \cdot W + 4,8$; $R^2 = 0,95$	
0,05	$d = 0,07 \cdot W + 5,7$; $R^2 = 0,98$	
0,10	$d = 0,20 \cdot W + 4,9$; $R^2 = 0,93$	$d = 0,60 \cdot (W - 7) + 6,1$; $R^2 = 0,99$
0,15	$d = 0,25 \cdot W + 4,8$; $R^2 = 0,99$	$d = 0,69 \cdot (W - 7) + 6,3$; $R^2 = 0,99$
0,20	$d = 0,37 \cdot W + 4,3$; $R^2 = 0,90$	$d = 0,88 \cdot (W - 7) + 6,8$; $R^2 = 0,99$

R^2 – коэффициент корреляции.

Из полученных данных следует, что угловой коэффициент полученных уравнений зависит от концентрации Д2ЭГФК и структуры МЭ. Для МЭ с $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} < 0,1$ моль/л (что соответствует $x_{\text{Д2ЭГФК}} = 5,9$ мольн. %) угловой коэффициент меньше, чем для МЭ без Д2ЭГФК. При $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} \geq 0,1$ моль/л и выше обнаружено повышение углового коэффициента при переходе от обратной МЭ с изолированными каплями к перколированной обратной МЭ.

На основании проведённого исследования физико-химических свойств обратной МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода сделано предположение о разнонаправленном действии Д2ЭГФК в зависимости от её концентрации. При $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} < 0,1$ моль/л (что соответствует $x_{\text{Д2ЭГФК}} < 5,9$ мольн. %) молекулы Д2ЭГФК локализованы на межфазной границе и проявляют свойства соПАВ, что приводит к увеличению доли ионосвязанной воды в каплях МЭ и сольубилизационной ёмкости МЭ по воде, а также уменьшению углового коэффициента зависимости гидродинамического диаметра капель от W . При более высоких концентрациях

Д2ЭГФК ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} \geq 0,1$ моль/л, $x_{\text{Д2ЭГФК}} \geq 5,9$ мольн. %) преобладающим становится её действие как второго растворителя: часть молекул Д2ЭГФК переходит с межфазной границы вода/масло в объем органической фазы в виде димеров Д2ЭГФК*Д2ЭГФКNa (формирование таких соединений характерно для солей Д2ЭГФК [1]), что сопровождается уменьшением доли ионосвязанной воды в каплях МЭ, солубилизационной ёмкости МЭ по воде и удельной электропроводности МЭ, а также увеличением углового коэффициента зависимости гидродинамического диаметра капель от W .

Рассмотрено влияние структуры МЭ в системе Д2ЭГФКNa – Д2ЭГФК – декан – вода на извлечение меди из CuO. Ранее было показано, что процесс выщелачивания меди с помощью МЭ в системе Д2ЭГФКNa — Д2ЭГФК — декан — вода протекает в смешанном режиме. Общая скорость процесса зависит как от скорости химической реакции, так и от скорости диффузии реагентов и продуктов реакции [2]. В связи с этим, предполагается, что на общую скорость выщелачивания может влиять не только концентрация Д2ЭГФК, но и структура МЭ, от которой будет зависеть скорость диффузии компонентов. Для подтверждения этого предположения были рассмотрены кинетические кривые выщелачивания меди (рисунок 4) с помощью МЭ, составы которых приведены в таблице 2.

Получено, что разница в кривых выщелачивания 1-3, приведённых на рисунке 4, незначительна, несмотря на отличие структуры МЭ-1.1 от МЭ-1.2 и МЭ-1.3; вероятно, это связано с низкой концентрацией экстрагента. Для МЭ, соответствующих кривым 4-6, определено, что скорость выщелачивания меди в течение первого часа одинакова (8,67 – 9,72 ммоль/м³·с), а за оставшееся время скорости различаются: 1,19 ммоль/м³·с для МЭ-1.4; 3,12 и 3,49 ммоль/м³·с для МЭ-1.5 и МЭ-1.6, соответственно.

Таблица 2 – Составы МЭ в системе Д2ЭГФКNa – Д2ЭГФК – декан – вода, использованных для выщелачивания меди из CuO

№ МЭ	Тип МЭ	Действие Д2ЭГФК
МЭ-1.1	Обратная с изолированными каплями ($W = 5$)	СоПАВ ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,05$ моль/л)
МЭ-1.2	Перколированная обратная ($W = 15$)	СоПАВ ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,05$ моль/л)
МЭ-1.3		СоПАВ ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,06$ моль/л)
МЭ-1.4	Обратная с изолированными каплями ($W = 5$)	Второй растворитель ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,20$ моль/л)
МЭ-1.5	Перколированная обратная ($W = 15$)	Второй растворитель ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,20$ моль/л)
МЭ-1.6		Второй растворитель ($C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,24$ моль/л)

Данное различие можно объяснить влиянием структуры МЭ на общую скорость выщелачивания меди. Скорость диффузии экстрагируемого вещества (в данном

[1] Ягодин Г.А. Основы жидкостной экстракции / Г.А. Ягодин, С.З. Каган, В.В. Тарасов / под ред. Г.А. Ягодина. – М.: Химия, 1981.– 400с.

[2] Мурашова Н.М. Извлечение ионов меди(II) наноструктурированным реагентом – микроэмульсией ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / Н.М. Мурашова, С.Ю. Левчишин, Е.В. Юртов // Химическая технология – 2012. – Т. 13 – № 1 – С.19–25.

случае – ионов Cu^{2+}) и экстрагента в перколированной обратной МЭ должна быть выше, чем в обратной МЭ с изолированными каплями, благодаря тому, что в перколированной МЭ по всему её объёму происходит динамический процесс образования «бесконечных кластеров» из капель. Поэтому разницу в кинетических кривых выщелачивания меди для МЭ-1.4 (обратная с изолированными каплями) и МЭ-1.5 и МЭ-1.6 (обратные перколированные) можно объяснить различием в скорости переноса реагентов в объеме МЭ, что связано с их структурой.

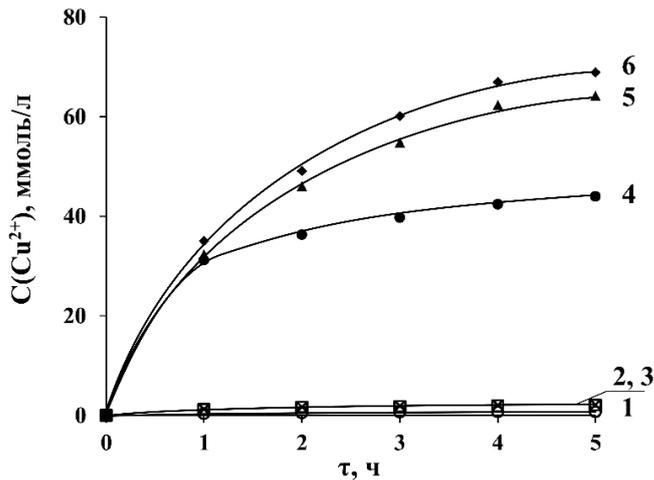


Рисунок 4 – Кинетические кривые выщелачивания меди с помощью МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода.

$$C_{\text{Д2ЭГФNa}}^{\text{о.ф.}} = 1,6 \text{ моль/л.}$$

1 – МЭ-1.1; 2 – МЭ-1.2;

3 – МЭ-1.3; 4 – МЭ-1.4;

5 – МЭ-1.5; 6 – МЭ-1.6.

Рассмотренные закономерности влияния структуры МЭ на процесс выщелачивания меди могут иметь место и для МЭ на основе других ПАВ.

В четвёртой главе рассматриваются свойства экстрагент-содержащих микроэмульсий додецилсульфата натрия (ДСН).

Изучена зависимость удельной электропроводности (κ) МЭ в системах ДСН – бутанол-1 – декан – вода и ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода от объёмной доли воды (Φ). В первой системе содержится $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,40$ моль/л, во второй – $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,40$ моль/л; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,25$ моль/л. Соотношение числа моль бутанола-1, экстрагента (в данном случае Д2ЭГФК) и ДСН в МЭ, которое выражается соотношением (4), составляет $S = 10$.

$$S = \frac{n_{\text{бутанол-1}} + n_{\text{экстрагент}}}{n_{\text{ДСН}}} \quad (4)$$

Определено, что с увеличением объёмной доли воды в системе происходит структурный переход от обратной МЭ с изолированными каплями к перколированной обратной МЭ при $\Phi \approx 0,17$ (что соответствует $W \approx 28$).

Определены зависимости гидродинамического диаметра капель обратной МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода от мольного соотношения воды и ДСН, выраженного уравнением:

$$W = n_{\text{H}_2\text{O}}/n_{\text{ДСН}} \quad (5)$$

Диаметр капель обратных МЭ додецилсульфата натрия (W от 7,5 до 30) находится в диапазоне от 3 до 10 нм и увеличивается с ростом W . Эти зависимости описываются линейными уравнениями, которые имеют вид: $d = 0,24 \cdot W + 1,1$ ($R^2 = 0,99$) для МЭ с $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,00$ моль/л и $d = 0,32 \cdot W + 1,2$ ($R^2 = 0,99$) для МЭ с $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,25$ моль/л. Коэффициенты полученных уравнений можно выразить на основе физических величин следующим образом:

$$d = \frac{6V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{M}}}{N_{\text{A}} \cdot s_{\text{ПАВ}}} \cdot W + \frac{6V_{\text{ПАВ}}^{\text{M}}}{N_{\text{A}} \cdot s_{\text{ПАВ}}}, \quad (6)$$

где $V_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{M}}$ и $V_{\text{ПАВ}}^{\text{M}}$ – молярный объём воды и ПАВ, соответственно; $s_{\text{ПАВ}}$ – площадь на межфазной границе «вода – масло», приходящаяся на одну молекулу ПАВ; N_{A} – число Авогадро.

Уравнение (6) применимо для расчета диаметра монодисперсных сферических капель обратной МЭ с изолированными каплями. Был проведён расчёт коэффициентов уравнения (6) для МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода с использованием справочных значений молярных объёмов воды и ПАВ. Величина $s_{\text{ПАВ}}$ была рассчитана по данным о предельной мономолекулярной адсорбции смеси ПАВ и соПАВ (ДСН, бутанол-1, Д2ЭГФК) на границе «вода – декан», определённой по изотерме межфазного натяжения.

Получено, что уравнение (6) принимает вид $d = 0,22 \cdot W + 1,4$ для МЭ без Д2ЭГФК и $d = 0,31 \cdot W + 2,3$ для МЭ с $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}} = 0,25$ моль/л. Значения диаметров капель МЭ, рассчитанные по этим уравнениям, отличаются от полученных экспериментально не более, чем на 1,5 нм. Это показывает возможность использования уравнения вида (6) для оценки диаметров капель обратной МЭ ДСН на основе литературных данных по молярным объёмам воды и ПАВ и значения $s_{\text{ПАВ}}$, определённого по изотерме межфазного натяжения. Аналогичный расчёт был проведён для МЭ в системе Д2ЭГФКNa – Д2ЭГФК – декан – вода. Определено, что уравнение (6) также пригодно для расчёта диаметра капель обратных МЭ с изолированными каплями на основе Д2ЭГФКNa.

Рассмотрено влияние структуры МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода на выщелачивание меди из CuO. Получены кинетические кривые выщелачивания меди (рисунок 5) с помощью МЭ, составы которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Составы МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода, использованных для выщелачивания меди из CuO

№ МЭ	Тип МЭ	Состав МЭ
МЭ-2.1	Обратная с изолированными каплями ($W = 10$)	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,37$ моль/л; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,23$ моль/л; $S = 10$
МЭ-2.2	Перколированная обратная ($W = 40$)	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,23$ моль/л; $S = 10$

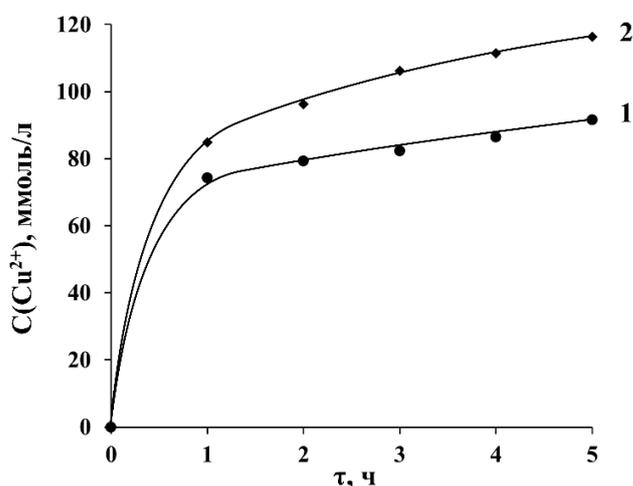


Рисунок 5 – Кинетические кривые выщелачивания меди из CuO с помощью МЭ в системе додецилсульфат натрия – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода. $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,4$ моль/л; $C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,23$ моль/л. 1 – $W = 10$ (МЭ-2.1); 2 – $W = 40$ (МЭ-2.2).

Определено, что скорость выщелачивания меди обеими МЭ в течение первого часа одинакова ($20,63 - 23,59$ ммоль/ $\text{м}^3 \cdot \text{с}$), а за оставшееся время скорости различаются: $1,11$ ммоль/ $\text{м}^3 \cdot \text{с}$ для МЭ с $W = 10$ и $2,95$ ммоль/ $\text{м}^3 \cdot \text{с}$ для МЭ с $W = 40$. Это подтверждает предположение о влиянии структуры МЭ на процесс выщелачивания, высказанное ранее для МЭ в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода. Таким образом, для выщелачивания металлов рекомендуется использовать перколированные обратные МЭ.

В технологических процессах предпочтительно использовать МЭ, которые содержат широко распространённые в промышленности экстрагенты и растворители, в связи с чем были изучены микроэмульсии в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода, где в качестве экстрагента выступали Д2ЭГФК, капроновая кислота, а также смесь ТБФ и уксусной кислоты. Для данной системы были получены фазовые диаграммы при $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}}$ от 0,20 до 0,60 моль/л, $C_{\text{экстрагента}}^{\text{о.ф.}} = 0,25$ моль/л и $S = 10$ (рисунок 6).



Рисунок 6 – Фазовая диаграмма систем ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода. $C_{\text{экстрагента}}^{\text{о.ф.}} = 0,25$ моль/л, $S = 10$. $T = 20^\circ\text{C}$.

Рассмотрено влияние концентрации экстрагентов в органической фазе на солюбилизационную ёмкость по воде ($W_{\text{кр}}$) МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода при 20°C , в которой содержится $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,40$ моль/л, $S = 10$. Для МЭ, содержащей Д2ЭГФК, $W_{\text{кр}}$ снижается от 60 до 0 при повышении $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{о.ф.}}$ от 0,00 до 1,50 моль/л. Для МЭ с капроновой кислотой $W_{\text{кр}}$ возрастает от 60 до 80 при увеличении $C_{\text{капроновой к-ты}}^{\text{о.ф.}}$ от 1,00 до 2,00 моль/л. Для МЭ с ТБФ и уксусной кислотой $W_{\text{кр}}$ уменьшается от 60 до 41 при повышении $C_{\text{ТБФ}}^{\text{о.ф.}}$ и $C_{\text{уксусной к-ты}}^{\text{о.ф.}}$ от 0,65 и 0,30 моль/л до 1,95 и 0,91 моль/л, соответственно. Повышение температуры до 80°C приводит к тому, что $W_{\text{кр}}$ для МЭ с каждым из изученных экстрагентов незначительно увеличивается, однако характер её зависимостей от концентрации экстрагентов остаётся прежним.

Методом динамического светорассеяния определены гидродинамические диаметры капель обратной МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода, содержащей $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,40$ моль/л, $S = 10$. Получены зависимости диаметра капель МЭ от концентрации экстрагентов при $W = 40$ (рисунок 7). Определено, что они являются линейными, а их наклон определяется типом экстрагента и возрастает в ряду: капроновая кислота < ТБФ < Д2ЭГФК.

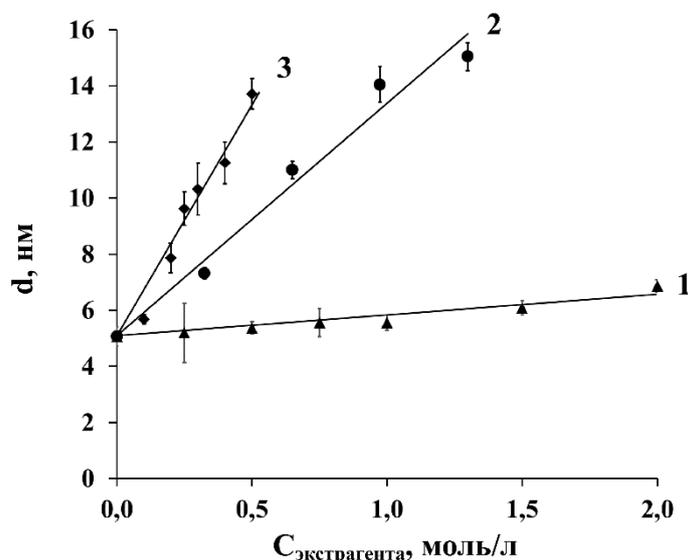


Рисунок 7 – Зависимость гидродинамического диаметра капель МЭ от $C_{\text{экстрагента}}^{\text{о.ф.}}$ в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода. $C_{\text{ДСН}}^{\text{о.ф.}} = 0,40$ моль/л, $S = 10$, $W = 40$. $T = 20^{\circ}\text{C}$. 1 – капроновая кислота; 2 – ТБФ в смеси с уксусной кислотой, 3 – Д2ЭГФК.

Таким образом, МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода обладают достаточно большой солюбилизационной ёмкостью по воде в присутствии экстрагентов: Д2ЭГФК, капроновой кислоты, а также смеси ТБФ и уксусной кислоты. Они устойчивы в интервале температур от 20 до 80°C . Повышение концентрации экстрагентов приводит к увеличению диаметра капель МЭ, тем не менее, системы остаются наноструктурированными и являются обратными МЭ. Это позволяет использовать их в процессе микроэмульсионного выщелачивания металлов.

В пятой главе рассмотрено применение МЭ додецилсульфата натрия для выщелачивания цветных металлов. Наиболее удобной для изучения кинетики выщелачивания является модельная система с оксидом меди (II), которая и была рассмотрена в данной работе. Получены кинетические кривые выщелачивания меди (рисунок 8) с помощью обратных МЭ ДСН и, для сравнения, обратной МЭ Д2ЭГФНа, составы которых приведены в таблице 4. В качестве твердой фазы для выщелачивания использовался чистый CuO (размер частиц 5 – 75 мкм), взятый в избытке по сравнению с количеством экстрагентов.

Таблица 4 – Составы МЭ, использованных для выщелачивания меди

№ МЭ	Экстрагент	Состав МЭ
МЭ-3.1	Д2ЭГФК; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,25$ моль/л	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; $S = 10$; $W = 40$
МЭ-3.2	Капроновая кислота; $C_{\text{капроновой к-ты}}^{\text{МЭ}} = 2,00$ моль/л	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; $S = 10$; $W = 40$
МЭ-3.3	ТБФ + уксусная кислота; $C_{\text{ТБФ}}^{\text{МЭ}} = 0,75$ моль/л, $C_{\text{уксусной к-ты}}^{\text{МЭ}} = 0,35$ моль/л	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; $S = 10$; $W = 40$
МЭ-3.4	Д2ЭГФК; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,25$ моль/л	$C_{\text{Д2ЭГФНа}}^{\text{МЭ}} = 1,23$ моль/л; $W = 10$

Определено, что наиболее высокие скорости извлечения меди за первый час выщелачивания достигаются при использовании МЭ ДСН, содержащей Д2ЭГФК (МЭ-3.1) – 17,58 ммоль/м³·с, или капроновую кислоту (МЭ-3.2) – 12,33 ммоль/м³·с. Эти МЭ более эффективны для извлечения меди, чем МЭ Д2ЭГФNa (МЭ-3.4). Они сохраняют свою структуру в процессе выщелачивания, а гидродинамический диаметр их капель практически не изменяется. Наименьшая скорость извлечения меди за первый час выщелачивания достигается при использовании МЭ с ТБФ и уксусной кислотой (МЭ-3.3). Увеличение концентрации ТБФ в этой МЭ до 1,00 моль/л приводит к тому, что МЭ разрушается после двух часов выщелачивания.

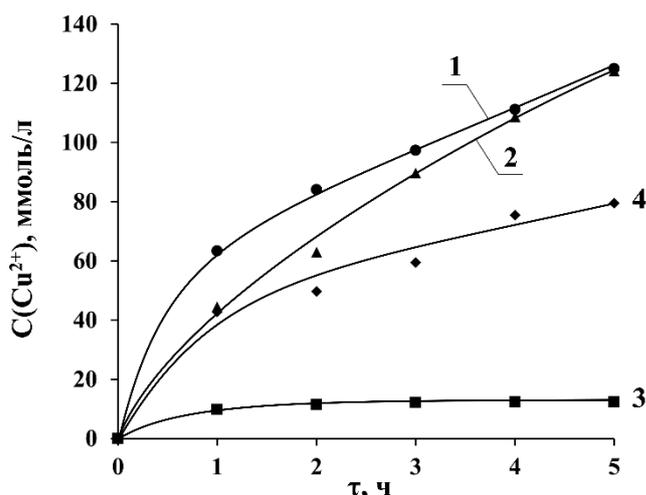


Рисунок 8 – Кинетические кривые микроэмульсионного выщелачивания меди. 1 – МЭ 3.1, 2 – МЭ-3.2, 3 – МЭ-3.3, 4 – МЭ-3.4.

Таким образом, для разработки технологических процессов выщелачивания меди из природного и техногенного сырья могут быть рекомендованы МЭ:

- ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – керосин – вода; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,25$ моль/л (МЭ-3.1);
- ДСН – бутанол-1 – капроновая кислота – керосин – вода; $C_{\text{капроновой к-ты}}^{\text{МЭ}} = 2,00$ моль/л (МЭ-3.2).

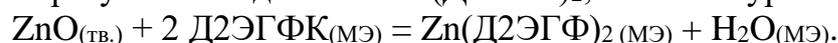
Возможность применения обратных МЭ в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода для извлечения цинка была рассмотрена на модельной системе с оксидом цинка. В качестве твердой фазы для выщелачивания использовался чистый ZnO (размер частиц 2 – 40 мкм), взятый в избытке по сравнению с количеством экстрагентов. Получены кинетические кривые выщелачивания цинка (рисунок 9) с помощью обратных МЭ ДСН и, для сравнения, обратной МЭ Д2ЭГФNa, составы которых приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Составы МЭ, использованных для выщелачивания цинка

№ МЭ	Экстрагент	Состав МЭ
МЭ-4.1	Д2ЭГФК; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,25$ моль/л	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; S = 10; W = 20
МЭ-4.2	Д2ЭГФК; $C_{\text{Д2ЭГФК}}^{\text{МЭ}} = 0,25$ моль/л	$C_{\text{Д2ЭГФNa}}^{\text{МЭ}} = 1,23$ моль/л; W = 10
МЭ-4.3	ТБФ + уксусная кислота; $C_{\text{ТБФ}}^{\text{МЭ}} = 0,75$ моль/л, $C_{\text{уксусной к-ты}}^{\text{МЭ}} = 0,35$ моль/л	$C_{\text{ДСН}}^{\text{МЭ}} = 0,32$ моль/л; S = 10; W = 20

Наиболее высокая скорость извлечения цинка достигается при использовании МЭ ДСН, содержащей Д2ЭГФК (МЭ-4.1) – 166,33 ммоль/м³·с уже в первые 10 минут

выщелачивания. Процесс выщелачивания выходит на равновесие через 2 часа, при этом молярное соотношение числа моль ионов Zn^{2+} и числа моль Д2ЭГФК в МЭ достигает $n_{Zn^{2+}} : n_{Д2ЭГФК} = 1:2$. Это позволяет предположить, что в результате выщелачивания образуются соединения $Zn(Д2ЭГФ)_2$, согласно уравнению реакции:



Выщелачивание цинка МЭ Д2ЭГФNa (МЭ-4.2) и МЭ ДСН с ТБФ и уксусной кислотой (МЭ-4.3) характеризуется значительно меньшей скоростью, по сравнению с МЭ-4.1. Тем не менее, все рассмотренные МЭ сохраняют свою структуру в процессе выщелачивания, а гидродинамический диаметр их капель практически не изменяется.

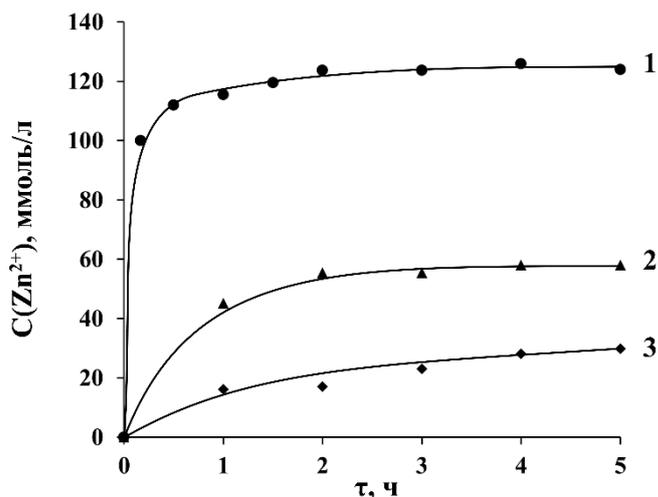


Рисунок 9 – Кинетические кривые микроэмульсионного выщелачивания цинка. 1 – МЭ 4.1, 2 – МЭ-4.2, 3 – МЭ-4.3.

Таким образом, для разработки технологических процессов выщелачивания цинка из природного и техногенного сырья может быть рекомендована МЭ в системе:

- ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – керосин – вода; $C_{Д2ЭГФК}^{МЭ} = 0,25$ моль/л (МЭ-4.1).

Микроэмульсия в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – керосин – вода была испытана в процессе выщелачивания цинка из образцов цинкового гальванического шлама, полученного из электролита цинкования, предоставленного НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха. Цинк в шламе находился в виде $Zn(OH)_2$. Массовая доля цинка в шламе составляла 31 масс.%, влажность шлама – 19,2%. МЭ, использованная для выщелачивания, содержала $C_{Д2ЭГФК}^{МЭ} = 0,25$ моль/л, $C_{ДСН}^{МЭ} = 0,32$ моль/л; $S = 10$; $W = 10$.

Определено, что степень извлечения цинка из данного шлама составляет 97,60 % уже через 15 минут выщелачивания. Таким образом, продемонстрировано, что разработанная микроэмульсия в системе ДСН – бутанол-1 – Д2ЭГФК – керосин – вода пригодна для выщелачивания цинка из промышленных гальванических шламов.

Заключение

По итогам проведённого исследования были сделаны следующие выводы:

1. Показано разнонаправленное влияние ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты (Д2ЭГФК) в зависимости от её концентрации на физико-химические свойства микроэмульсий в системе Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода: на солюбилизационную ёмкость по воде, удельную электропроводность, распределение воды в каплях микроэмульсии по типам ассоциатов, гидродинамический диаметр капель.

2. На модельной системе с оксидом меди (II) определено, что скорость выщелачивания меди перколированными обратными микроэмульсиями в системах

Д2ЭГФNa – Д2ЭГФК – декан – вода и додецилсульфат натрия – бутанол-1 – Д2ЭГФК – декан – вода выше, чем обратными микроэмульсиями с изолированными каплями.

3. На фазовых диаграммах систем ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода, содержащих экстрагенты Д2ЭГФК, капроновую кислоту, а также смесь трибутилфосфата и уксусной кислоты определены области существования микроэмульсий.

4. Показано, что при повышении концентрации экстрагентов в системе ДСН – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода солубилизационная емкость МЭ по воде увеличивается для капроновой кислоты и снижается для Д2ЭГФК и смеси трибутилфосфата и уксусной кислоты, а гидродинамический диаметр капель микроэмульсии линейно возрастает, наклон линий увеличивается в ряду капроновая кислота < трибутилфосфат < Д2ЭГФК.

5. На модельных системах с оксидом меди (II) и оксидом цинка показана возможность выщелачивания цветных металлов из оксидного сырья микроэмульсиями в системе додецилсульфат натрия – бутанол-1 – экстрагент – керосин – вода, определены составы микроэмульсий для выщелачивания меди и цинка из оксидного сырья; показана возможность выщелачивания цинка из гальванического шлама разработанной микроэмульсией.

Полученные результаты можно использовать в дальнейшем для разработки новых технологий для гидрометаллургической переработки рудного и вторичного техногенного сырья, в том числе отходов гальванического производства.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Мурашова Н.М. Анализ динамики научных публикаций в областях, связанных с нанотехнологией и экстракцией / Н.М. Мурашова, А.С. Полякова, Е.В. Юртов // Наноиндустрия. – 2017. – №3 (73). – С. 46-55.

2. Мурашова Н.М. Влияние ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты на свойства микроэмульсии в системе ди(2-этилгексил)фосфат натрия–ди(2-этилгексил)фосфорная кислота–декан–вода / Н.М. Мурашова, А.С. Полякова, Е.В. Юртов // Коллоидный журнал. – 2018. – Т. 80, № 5. – С. 541–550.

3. Полякова А.С. Микроэмульсии в системах додецилсульфат натрия–бутанол-1–экстрагент–керосин–вода для извлечения цветных металлов из оксидного сырья / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Журнал прикладной химии. – 2020. – Т. 93, вып. 2. – С. 249–256.

4. Полякова А.С. Диаметр капель обратных микроэмульсий ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия: экспериментальные данные и методы расчета / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2021. – Т. 64, вып. 2. – С. 66-72.

Тезисы докладов на международных и российских конференциях:

5. Полякова А.С. Влияние ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты на свойства экстрагент-содержащих микроэмульсий / А.С. Полякова, С.Ю. Левчишин, Н.М. Мурашова // Химическая технология функциональных наноматериалов. Сб. трудов всероссийской молодёжной конференции с международным участием (РХТУ им. Д.И. Менделеева, 26-27 ноября 2015 года) – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. – С. 162–164.

6. Полякова А.С. Влияние ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты на свойства микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия в декане / А.С. Полякова, С.Ю.

Левчишин, Н.М. Мурашова // V международная конференция-школа по химической технологии ХТ'16 Сб. тезисов докладов сателлитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. Волгоград, 2016. – Т. 3. – С. 328-330.

7. Полякова А.С. Влияние ди-(2-этилгексил)фосфорной кислоты на размер капель микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / А.С. Полякова, С.Ю. Левчишин, Н.М. Мурашова // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXX, №12 (181). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2016. – С. 37-39.

8. Полякова А.С. Функциональный наноматериал для извлечения металлов на основе микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Сборник тезисов VIII ежегодной конференции Нанотехнологического общества России. – М., 2017. – С. 104-107.

9. Полякова А.С. Влияние ди-(2-этилгексил) фосфорной кислоты на свойства экстрагент-содержащей микроэмульсии на основе ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия «Химия и материаловедение». – 2017. – №5 (8). – С. 140-143.

10. Полякова А.С. Распределение воды в каплях микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / А.С. Полякова, С.Ю. Левчишин, Н.М. Мурашова // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXXI, №13 (194). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. – С. 19-21.

11. Полякова А.С. Экстрагент-содержащие микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Химическая технология функциональных наноматериалов. Сборник материалов международной конференции со школой и мастер-классами для молодых ученых (РХТУ им. Д.И. Менделеева, 30 ноября – 1 декабря 2017 года). Под ред. чл.-корр. РАН Е.В. Юртова. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2017. – С. 210-211.

12. Полякова А.С. Микроэмульсия додецилсульфата натрия как функциональный наноматериал для извлечения металлов / А.С. Полякова, П.Е. Тюлягин, Д.А. Федоров, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Сборник тезисов IX ежегодной конференции Нанотехнологического общества России. – М., 2018. – С. 59-60.

13. Polyakova A.S. Effect of bis-(2-ethylhexyl)phosphoric acid on properties of sodium bis-(2-ethylhexyl)phosphate microemulsion in decane / A.S. Polyakova, N.M. Murashova, E.V. Yurtov // Book of Abstracts of the V International Conference on Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics – Saint Petersburg, 2018. – P. 202.

14. Полякова А.С. Микроэмульсии додецилсульфата натрия как наноструктурированные среды для извлечения металлов / А.С. Полякова, П.Е. Тюлягин, Д.А. Фёдоров, Е.Н. Назарова, Н.М. Мурашова // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXXII, №10 (206). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. – С. 41-43.

15. Полякова А.С. Экстрагент-содержащая микроэмульсия додецилсульфата натрия как функциональный наноматериал для извлечения металлов / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии». Москва. 27-30 ноября 2018 г. Сборник материалов. Том I – М: ООО «Буки Веди», 2018. – С. 441-445.

16. Купцова М.Ю. Экстрагент-содержащие микроэмульсии додецилсульфата натрия для извлечения цинка из оксидного сырья / М.Ю. Купцова, А.С. Полякова, Н.М.

Мурашова // Экстракция и мембранные методы в разделении веществ: тезисы докладов международной конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения академика Б. А. Пурина. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2018. – С. 46-47.

17. Полякова А.С. Экстрагент-содержащие микроэмульсии додецилсульфата натрия для извлечения металлов / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Экстракция и мембранные методы в разделении веществ: тезисы докладов международной конференции, посвящённой 90-летию со дня рождения академика Б. А. Пурина. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2018. – С. 52-54.

18. Купцова М.Ю. Применение экстрагент-содержащих микроэмульсий для выщелачивания цинка из оксидного сырья / М.Ю. Купцова, А.С. Полякова, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Сборник тезисов X ежегодной конференции Нанотехнологического общества России. – М., 2019. – С. 47.

19. Мурашова Н.М. Выщелачивание цветных металлов с помощью экстрагент-содержащих микроэмульсий / Н.М. Мурашова, А.С. Полякова, С.Ю. Левчишин, Е.В. Юртов // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXXIII, №1 (211). – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2019. – С. 79-80.

20. Полякова А.С. Выщелачивание цветных металлов с помощью экстрагент-содержащих микроэмульсий / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова, С.Ю. Левчишин, Е.В. Юртов // XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. В 6 т. Т. 3: тез. докл. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 120.

21. Полякова А.С. Разработка состава экстрагент-содержащей микроэмульсии на основе додецилсульфата натрия для выщелачивания цветных металлов из вторичного техногенного сырья / А.С. Полякова, М.Ю. Купцова, Н.М. Мурашова, Е.В. Юртов // Труды Кольского научного центра РАН. Серия «Химия и материаловедение». – 2019. – №1 (10). С. 279-285.

22. Полякова А.С. Экстрагент-содержащие микроэмульсии ди-(2-этилгексил)фосфата натрия и додецилсульфата натрия / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Школа-конференция для молодых ученых «Супрамолекулярные стратегии в химии, биологии и медицине: фундаментальные проблемы и перспективы» (с международным участием) (Казань, 2019): тез. докладов. – Казань: ИОФХ им. А.Е. Арбузова ФИЦ КазНЦ РАН, 2019. – С. 36.

23. Полякова А.С. Гидродинамический диаметр капель обратной микроэмульсии в системе ди-(2-этилгексил)фосфат натрия – ди-(2-этилгексил)фосфорная кислота – декан – вода / А.С. Полякова, Н.М. Мурашова // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Т. XXXIV, № 8 (231). – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2020. – С. 101-103.

24. Полякова А.С. Выщелачивание цветных металлов экстрагент-содержащими микроэмульсиями додецилсульфата натрия / А.С. Полякова // Актуальные проблемы недропользования. XIX всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов: тезисы докладов. Том 2. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 204-207.