**Экстракционное выделение Li(I), Fe(III), Al(III) и Cu(II) из водных растворов глубоким эвтектическим растворителем на основе триизобутилфосфин сульфида**

***Саломатин А.М.1,2, Зиновьева И.В. 1***

*Студент, 4 курс бакалавриата*

*1Институт общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, Москва, Россия*

*2Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,   
факультет химии, Москва, Россия*

*E-mail:* [*amsalomatin@edu.hse.ru*](mailto:amsalomatin@edu.hse.ru)

Повышение эффективности химико-технологических процессов переработки вторичного сырья является одной из ключевых задач современной науки. В качестве вторичного источника ценных металлов могут быть использованы литий-железо-фосфатные аккумуляторы (LFP), которые используются повсеместно и в то же время лишь 1 % аккумуляторов конвертируется в пригодное для повторного использования сырье [1]. Гидрометаллургический метод, наиболее релевантный для переработки источников тока [2], включает этап экстракции, то есть извлечения ионов металлов из растворов выщелачивания. Гидрофобные глубокие эвтектические растворители (HDES) представляют собой смеси, обладающие значительным понижением температуры плавления по сравнению с температурами плавления компонентов, входящих в их состав. Они являются достойной альтернативой классическим экстракционным системам за счет своей негорючести, нелетучести и широкой вариативности свойств и состава, позволяющие подбирать компоненты под конкретные задачи. Таким образом, целью данной работы является изучение экстракции ионов металлов, содержащихся в LFP аккумуляторах, с помощью HDES на основе триизобутилфосфин сульфида и тимола.

Установлены количественные характеристики экстракции Li(I), Fe(III), Al(III) и Cu(II) предложенным HDES. Проведен сравнительный анализ эффективности извлечения ионов металлов при экстракции в системе триизобутилфосфин сульфид/толуол и тимол/толуол и при экстракции HDES триизобутилфосфин сульфид /тимол. HDES эффективнее извлекает ионы металлов, чем классические экстракционные системы. Получены зависимости степени извлечения металлов от параметров процесса: концентрации кислоты, соотношения фаз и исходной концентрации металла. Результаты показали, что при увеличении концентрации HCl степень извлечения увеличивается для все металлов, кроме лития, и достигает 99.2, 25.9 и 23.7 % для Cu(II), Fe(III) и Al(III), соответственно, при 5 М HCl. Установлено, что высаливатель не оказывает влияния на степень извлечения исследуемых металлов. При увеличении объема органической фазы возрастает степень извлечения всех ионов, кроме Li(I).

Проведен сравнительный анализ экстракции металлов из смесей с различными исходными концентрациями металлов (0.01, 0.05 и 0.1 моль/л) и кислоты. При всех начальных концентрациях наблюдается сравнительно высокое извлечение Cu(II) и Fe(III) и отсутствие экстракции Li(I) и Al(III). Примечательно, что при наиболее низкой исходной концентрации степень извлечения меньше, чем при 0.1 моль/л. Так, при 5 моль/л HCl степень извлечения для Fe(III) и Cu(II) составила 63.3 и 95 % (0.01 моль/л) и 96.4 и 99.9 % (0.1 моль/л), соответственно, что в совокупности с отсутствием экстракции Li(I) и Al(III) создают перспективу для разделения ионов металлов из растворов выщелачивания отработанных LFP аккумуляторов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, проект № 23-79-10275. https://rscf.ru/project/23-79-10275/.*

**Литература**

1. Martin C. Etude, Alexander I. Ikeuba et al. Recycling lithium-ion batteries: A review of current status and future directions // Sust. Chem. One World. 2024. Vol. 4. P. 100027.

2. Cui K., Zhao M. et al. Recycling of spent lithium iron phosphate batteries: Research progress based on environmental protection and sustainable development technology // Sep. Purif. Technol. 2025. Vol. 354. P. 128982.