

ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2024)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**

выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/KBNH3045>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,210

Импакт-фактор КазБЦ – 0,406

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомолов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажибоева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Baigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Lapuerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

***Р. В. Сапинов¹, Ж. Шошай¹, А. Б. Баева², М. Т. Тулиндинов³, Д. Р. Сапинова¹**

¹Торайгыров Университет, Республика Казахстан, г. Павлодар;

²ФРГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» санитарно-гигиеническая лаборатория по Павлодарской области КСЭЖ, Республика Казахстан, г. Павлодар;

³КГП на ПХВ «Павлодарский машиностроительный колледж»,

Республика Казахстан, г. Павлодар

e-mail: ruslan.sapinov@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ОЛОВА ИЗ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ СМАРТФОНОВ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ

При сегодняшнем уровне потребления, минеральные источники олова интенсивно истощаются, по причине широкого использования в электронной промышленности в качестве припоя. Поэтому крайне актуальным вопросом является возвращение вторичного олова в производственный цикл. В статье представлена методика гидрометаллургического извлечения олова из бывших в употреблении электронных устройств (электронных отходов) с применением ультразвуковой интенсификации. Был проведен тщательный обзор существующих и опубликованных методов извлечения олова. Была установлена потребность в комплексном методе извлечения металлов из электронных отходов. Метод должен сводить к минимуму потребление энергии и воздействие на окружающую среду. За этим последовала концептуальная разработка усовершенствованного гидрометаллургического метода извлечения олова, который был подтвержден экспериментально. При нагреве до 85 °С, без ультразвукового воздействия степень извлечения олова достигла 78,4 %, а с ультразвуковым воздействием извлечение олова достигло 91,6 %. Данный факт можно объяснить снижением энергии активации процесса выщелачивания олова с 43,96 кДж/моль в нормальных условиях до 41,98 кДж/моль под действием ультразвука и смещением лимитирующей стадии процесса из химической в промежуточную область. На основе этих результатов в статье далее предлагается изучить воздействие ультразвука на процесс цементационного осаждения олова из продуктивного раствора. Следующая статья будет посвящена процессу селективного осаждения олова из продуктивного раствора.

Ключевые слова: олово, ультразвук (УЗК), вторичная переработка, гидрометаллургия, электронные отходы.

Введение

Олово является одним из металлов, отнесенных ведущими экономическими странами к критически важным материалам [1]. Более 70 % всего производимого олова идет на изготовление припоев электронной промышленности. Количество минерального сырья для добычи олова сокращается и остро встает вопрос о возвращении вторичного олова обратно в производственный цикл [2]. Одним из наиболее перспективных видов оловосодержащего сырья являются – печатные платы смартфонов [3,4]. Содержание олова и других элементов в отходах печатных плат мобильных телефонов намного выше, чем в минеральной руде [5], а вторичная переработка этих металлов позволяет экономить большое количество энергии и снижает выброс CO_2 в атмосферу. Несмотря на множество существующих методов извлечения олова из печатных плат компьютеров, выяснилось, что тема извлечения олова из печатных плат телефонов освещена недостаточно [6].

Гидрометаллургические методы извлечения олова наиболее предпочтительны по причине экологичности и эффективности [7]. Однако несмотря на достаточно эффективные показатели, время прохождения гидрометаллургических процессов выщелачивания и цементации и довольно продолжительное (> 5 ч). Этот факт делает поиск способов интенсификации процессов цементирования и выщелачивания актуальным. Исследователями проводятся работы, посвященные интенсификации гидрометаллургических процессов с помощью ультразвуковых полей различной мощности и частоты [8]. Известно о значительном сокращении по времени процесса выщелачивания свинца из отходов свинцового производства (в 8 раз) [9] и увеличении извлечения [10] при применении ультразвука по сравнению с обычными условиями выщелачивания. Таким образом, можно предположить, что применение ультразвука может положительным образом отразиться на сокращении по времени продолжительности гидрометаллургической обработки и увеличении процента извлечения олова из электронных отходов. В подтверждение этой гипотезы был проведен эксперимент по солянокислому извлечению олова из измельченных печатных плат смартфонов с ультразвуковой интенсификацией. С целью прогнозирования оптимальных условий процесса выщелачивания были построены диаграммы Пурбе Eh-pH (Пурбэ) систем олова и элементов присутствующих в перерабатываемом сырье.

Материалы и методы

Эксперименты проводились на базе Торайгыров Университета (г. Павлодар, Казахстан) и Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан). Для определения содержания олова и других ценных компонентов спектральным методом использовали масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой ICP-MS 7500cx. Для исследования фазового состава использовали рентгеновский дифрактометр XPert PRO производства Panalitical. Для изучения морфологии поверхности материалов использовали микроскоп BX-51 (Olympus). Для фотовизуализации объектов исследования в ходе эксперимента использовался аппарат

CANON EOS 80D. Диаграммы Пурбэ построены и термодинамические параметры рассчитаны при помощи программного обеспечения HSC 9.

Печатные платы смартфонов (LG - H630D, LG - D686, Samsung SM - J100H / DS) измельчали до размера 8 мм с помощью дробилки QL-300 (рисунок 1а). Проведена магнитная сепарация черных металлов (рисунок 1в). Затем с помощью мельницы материал измельчали до размера менее 0,5 мм (рисунок 1с).



Рисунок 1 – Платы после: (а) барабанной дробилки QL-300; (б) мельницы; (с) магнитной сепарации

Выщелачивание. Измельченный материал выщелачивали без предварительной подготовки. В качестве выщелачивающего агента использовали HCl. Выщелачивание проводили в термостойком химическом сосуде. Оценено влияние температуры на процесс выщелачивания. Выщелачивание проводили с использованием следующих параметров:

1) Выщелачивание в нормальных условиях с перемешиванием на магнитной мешалке: концентрация HCl = 2 моль/л при температуре $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Время выщелачивания 300 мин.

2) Выщелачивание с перемешиванием на магнитной мешалке и ультразвуковым воздействием: концентрация HCl = 2 моль/л при температуре $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сосуд с материалом помещали в ультразвуковую ванну через 10 мин после начала процесса и далее каждые 60 мин. Время воздействия ультразвуком 5 мин. Время выщелачивания 300 мин.

Во всех тестах использовали 500 мл жидкости и 50 г твердого вещества (Т/Ж = 10/1). В течение первого часа выщелачивания через каждые 15 мин отбирали пробы для определения состава продуктивного раствора с целью изучения кинетики вымывания Sn из электронных отходов. Далее пробы отбирали каждые 1 час. Для анализа содержания Sn образец переносили в мерную колбу вместимостью 100 см³ и доводили до метки 5 % раствором азотной кислоты при перемешивании. Все испытания повторяли дважды, если разница между результатами не превышала 5 %, что требовало третьего повторения и представления среднего значения результатов.

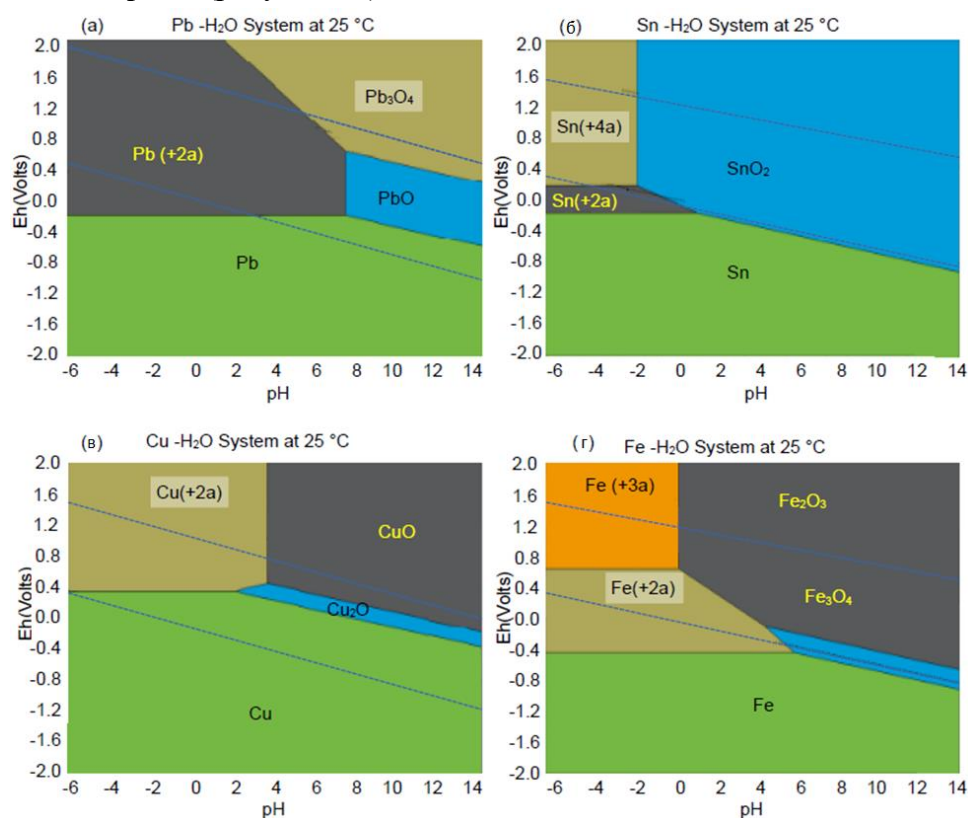
Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены средние концентрации металлов присутствующие в исследуемом объекте. Как видно по содержанию олова, меди и свинца сырье является богатым. Это говорит о перспективности направления переработки отработанных печатных плат. Изучение теории процесса выщелачивания Sn из электронных отходов должно учитывать описание термодинамических характеристик процесса. Диаграмма Пурбэ позволяет наглядно представить области существования термодинамически стабильных форм [11].

Таблица 1 – Концентрация металлов в представленном сырье (мас, %)

металл	Cu	Al	Zn	Fe	Sn	Pb	Ni	Ag	Другие
мас,(%)	31,13	4,12	2,3	2.4	2,1	0,73	0,2	0,01	57,21

На рисунке 2 изображены диаграммы Eh-pH (Пурбэ), для систем Pb-Cu и Sn-Fe соответственно. Анализ полученных данных позволяет интерпретировать отсутствие растворения Cu в водных растворах тем, что зона существования Cu^{+2} расположена выше линии водорода (рисунок 2б).



а – Pb-H₂O; б – Sn-H₂O; в – Cu-H₂O; г –Fe-H₂O

Рисунок 2 – Диаграммы Eh-pH, отображающие области существования в водном растворе форм металлов системы Pb (0,001 M)/Cu (0,24 M)-H₂O (а, б); Система Sn (0,008 M)/Fe (0,021 M)-H₂O (в, г)

Напротив, стабильное состояние ионов Sn, Pb и Fe при pH = 0; 3 и 5 соответственно, вероятно, объясняется тем, что область их существования пересекает потенциальную линию водорода. Далее были рассчитаны основные термодинамические параметры (ΔH , ΔS , ΔG , K , $\log K$) для систем Pb-Cu и Sn-Fe (таблица №2) при выщелачивании электронных отходов с HCl (при $t=75^\circ$).

Таблица 2 – Основные параметры возможных реакций при 75°C

Возможные реакции	$\Delta H(\text{кДж})$	$\Delta S(\text{Дж/К})$	$\Delta G(\text{кДж})$	K	$\text{Log}(K)$
$\text{Sn}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{SnCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	11,414	163,561	-45,530	$6,786 \times 10^6$	6,832
$\text{Cu}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{CuCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	126,345	155,035	72,369	$1,384 \times 10^{-11}$	-10,859
$\text{Pb}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{PbCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	-15,044	151,660	-67,844	$1,513 \times 10^{10}$	10,180
$\text{Fe}+2\text{HCl}(\text{a})=\text{FeCl}_2+\text{H}_2(\text{g})$	3,133	171,482	-56,568	$3,075 \times 10^8$	8,488

Отрицательные значения ΔG , говорят о возможности самопроизвольного протекания реакций между HCl и Sn, Pb и Fe при $t=75^\circ\text{C}$.

Выщелачивание. На первом этапе Sn извлекали раствором HCl с концентрацией 2 моль/л при перемешивании на магнитной мешалке при изменении температуры раствора от $t = 25^\circ\text{C}$ до 50, 75 и 85°C при нормальных условиях (без УЗК). Наряду с влиянием температуры среды исследовано влияние ультразвукового поля на процесс в том же диапазоне температур. Полученные данные представлены на рисунке 3. Показано, что степень выщелачивания Sn из электронных отходов при нормальных условиях и комнатной температуре составляет 40 % (рисунок 3а) и линейно возрастает с повышением температуры до 60 % при 50°C с максимальным значением 78 % при температуре 75°C . Воздействие ультразвуком приводит к пропорциональному увеличению степени выщелачивания олова на $\sim 10\%$ для всех диапазонов температур (рисунок 3б).

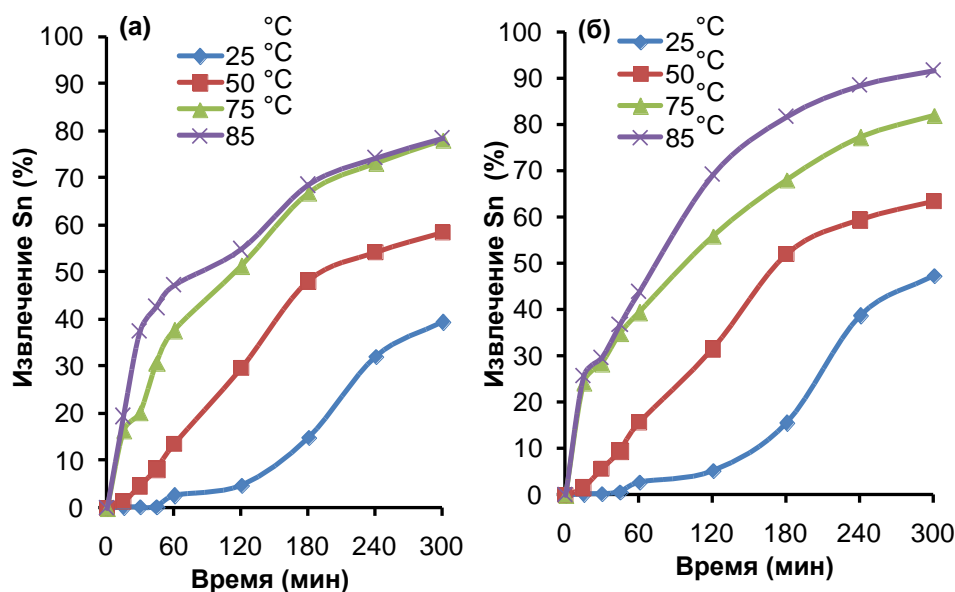


Рисунок 3 – Кинетика выщелачивания Sn из электронных отходов (в нормальных условиях – 3а, и при обработке каждый час в ультразвуковом поле – 3б)

Эффективность выщелачивания Sn при комнатной температуре составила 39,4 % соответственно в нормальных условиях и увеличилась до 47,2 % при ультразвуковом воздействии. Максимальное повышение температуры до 85 °C обеспечило извлечение Sn до 78,4 %, которое под действием ультразвука составило 91,6 %. На следующем этапе изучалось влияние ультразвука на величину энергии активации процесса. Расчеты процесса проводились по формуле Аррениуса. Для этого полученные эмпирические графики были оптимизированы методом наименьших квадратов. Затем методом регрессии были построены графики зависимости $\lg\tau$ от $1000/T$ (K^{-1}) (рисунок 4) с процентами извлечения металлов 20 %, 40 % и 60 %. Коэффициенты наклона прямых $\lg\tau = f(1/T)$ связаны со значением кажущейся энергии активации соотношением $d(\lg\tau)/d(1/T) = E/(2,3R)$. Показано, что энергия активации выщелачивания олова в нормальных условиях составляет 43,96 кДж/моль. Энергия активации выщелачивания Sn под действием ультразвука уменьшилась до 41,98 кДж/моль. Можно предположить, что при выщелачивании Sn в нормальных условиях лимитирующей стадией процесса было химическое взаимодействие, так как энергия активации превышала 40 кДж/моль.

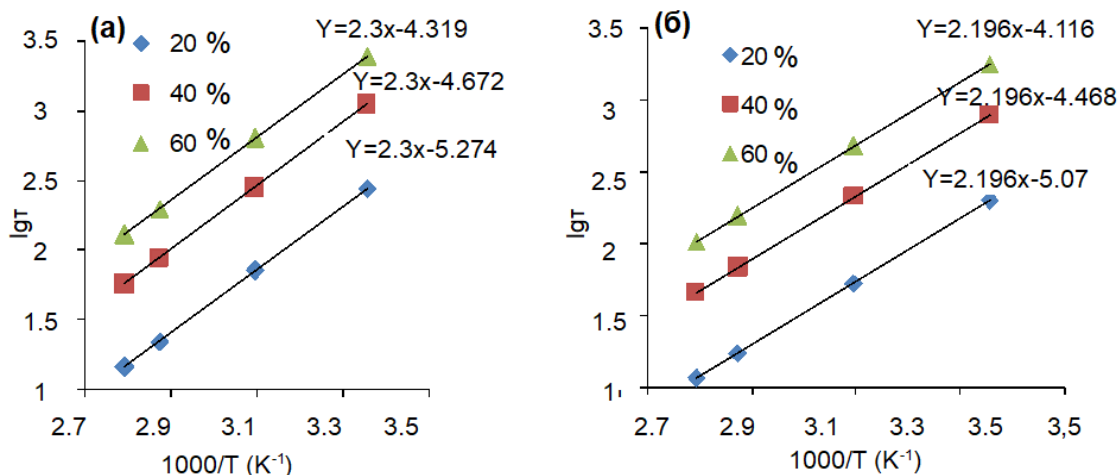


Рисунок 4 – Кинетика выщелачивания Sn из электронных отходов (при нормальных условиях – 4а, и при обработке каждый час в ультразвуковом поле – 4б)

Уменьшение значения энергии активации под влиянием периодического воздействия ультразвука, вероятно, объясняется смещением равновесия реакции и переходом лимитирующей стадии в промежуточную область.

Выводы

Экспериментально установлено, что использование ультразвука обеспечивает извлечение олова из раствора на 10 % и больше во всех исследованных температурных диапазонах. Данный факт можно объяснить снижением энергии активации процесса выщелачивания олова с 43,96 кДж/моль в нормальных условиях до 41,98 кДж/моль под действием ультразвука и смещением лимитирующей стадии процесса из химической в промежуточную область.

В следующей работе авторы планируют провести оценку воздействия ультразвуковой интенсификации на процесс цементации – осаждения олова из продуктивного раствора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Официальный сайт Геологической службы США // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023. – [Электронный ресурс]. –

<https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>

2 E-waste tin recovery success for EnviroLeach / ИТА – 2021. – [Электронный ресурс]. – <https://www.internationaltin.org/e-waste-tin-recovery-success-for>.

3 Oleinikova, N. V. Status and prospects of metallurgical processing of electronic waste in Kazakhstan. // НАУКА И ТЕХНИКА КАЗАХСТАНА. – ISSN 2788-8770. – № 3. – 2022. – <https://doi.org/10.48081/DLCT7165>

4 Gu F., Summers P.A., Hall P. Recovering materials from waste mobile phones: Recent technological developments // Journal of Cleaner Production. – 2019. – Vol. 237. – P. – 117657.

- 5 **Wansi E., D'Ans P., Gonda L. et al.** Waste Management of Discarded Cell Phones and Proposal of Material Recovery Techniques // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 69. – P. 974–979.
- 6 China faces mobile phone recycling challenge. – [Электронный ресурс]. <https://www.ecns.cn/2017/02-15/245496.shtml>.
- 7 The Global E-Waste Statistics Partnership: Country and Regional Sheets. – 2021. – [Электронный ресурс]. – <https://globalewaste.org/statistics/country>.
- 8 **Jeon, S., Ito, M., Tabelin, C. B. et al.** A physical separation scheme to improve ammonium thiosulfate leaching of gold by separation of base metals in crushed mobile phones // *Minerals Engineering*. – 2019. – Vol. 138. – P. 168–177.
- 9 **Kasper, A. C., Veit, H. M.** Gold recovery from printed circuit boards of mobile phones scraps using a leaching solution alternative to cyanide // *Braz. J. Chem. Eng.* – 2018. – Vol. 35. – Issue 3. – P. 931–942.
- 10 **Xie, H., Zhang, L., Li, H. et al.** Ultrasonic enhanced replacement of lead in lead hydrometallurgy process from lead leaching solution // *R. Soc. Open Sci.* – 2019. – Vol. 6. – Issue 7. – P. 1–10.
- 11 **Shishkin, A., Mironovs, V., Vu, H. et al.** Cavitation-Dispersion Method for Copper Cementation from Wastewater by Iron Powder // *Metals*. – 2018. – Vol. 8(11). – P. 1–11.

REFERENCES

- 1 US Geological Survey official website // U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2023. – [Electronic resource]. – <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>
- 2 E-waste tin recovery success for EnviroLeach // ITA – 2021. – [Electronic resource]. – <https://www.internationaltin.org/e-waste-tin-recovery-success-for>.
- 3 **Oleinikova, N. V.** Status and prospects of metallurgical processing of electronic waste in Kazakhstan. // *NAUKA I TEKHNIKA KAZAHSTANA*. – ISSN 2788-8770. – № 3. – 2022 – [Electronic resource]. – <https://doi.org/10.48081/DLCT7165>
- 4 **Gu, F., Summers P. A., Hall, P.** Recovering materials from waste mobile phones: Recent technological developments // *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 237. – P. 117657.
- 5 **Wansi, E., D'Ans, P., Gonda, L. et al.** Waste Management of Discarded Cell Phones and Proposal of Material Recovery Techniques // *Procedia CIRP*. – 2018. – Vol. 69. – P. 974–979.
- 6 China faces mobile phone recycling challenge. – [Electronic resource]. <https://www.ecns.cn/2017/02-15/245496.shtml>.
- 7 The Global E-Waste Statistics Partnership: Country and Regional Sheets. – 2021 – [Electronic resource]. – <https://globalewaste.org/statistics/country>.
- 8 **Jeon, S., Ito, M., Tabelin, C. B. et al.** A physical separation scheme to improve ammonium thiosulfate leaching of gold by separation of base metals in crushed mobile phones // *Minerals Engineering*. – 2019. – Vol. 138. – P. 168–177.

9 Kasper, A. C., Veit, H. M. Gold recovery from printed circuit boards of mobile phones scraps using a leaching solution alternative to cyanide // Braz. J. Chem. Eng. – 2018. – Vol. 35. – Issue 3. – P. 931–942.

10 Xie, H., Zhang, L., Li, H. et al. Ultrasonic enhanced replacement of lead in lead hydrometallurgy process from lead leaching solution // R. Soc. Open Sci. – 2019. – Vol. 6. Issue 7. – P. 1–10.

11 Shishkin A., Mironovs V., Vu H. et al. Cavitation-Dispersion Method for Copper Cementation from Wastewater by Iron Powder // Metals. – 2018. – Vol. 8(11). – P. 1–11.

Поступило в редакцию 25.02.24.

Поступило с исправлениями 14.03.24.

Принято в печать 14.03.24.

*Р. В. Сапинов¹, Ж. Шошай¹, А. Б. Баева², М. Т. Тулиндинов³, Д. Р. Сапинова¹

¹Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

²Ұлттық сараптама орталығының филиалдары ШЖҚ РМК,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.;

³«Павлодар машина жасауколледжі» ШЖҚКМК,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

25.02.24 ж. баспаға түсті.

14.03.24 ж. түзетулерімен түсті.

14.03.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

УЛЬТРАДЫБЫСТЫҚ ИНТЕНСИФИКАЦИЯСЫ БАР СМАРТФОНДАРДЫҢ БАСПА ПЛАТАЛАРЫНАН ҚАЛАЙЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯЛЫҚ АЛУ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ

Бүгінгі тұтыну деңгейінде қалайының минералды көздері электронды өнеркәсіпте дәнекерлеу ретінде кеңінен қолданылуына байланысты қарқынды түрде сарқылуда. Сондықтан, екінші реттік қалайыны өндіріс цикліне қайтару өте өзекті мәселе болып табылады. Мақалада ультрадыбыстық интенсификацияны қолдана отырып, пайдаланылған электрондық құрылғылардан (электрондық қалдықтардан) қалайы гидрометаллургиялық алу әдістемесі келтірілген. Қалайы алудың қолданыстағы және жарияланған әдістеріне мұқият шолу жасалды. Электрондық қалдықтардан металдарды алудың кешенді әдісіне қажеттілік анықталды. Әдіс энергияны тұтынуды және қоршаған ортаға әсерді азайтуы керек. Осыдан кейін эксперименталды түрде расталған қалайы алудың жетілдірілген гидрометаллургиялық әдісінің тұжырымдамалық дамуы жүрді. 85 °С дейін қыздырғанда,

ультрадыбыстық әсерсіз қалайы алу деңгейі 78,4 % – га жетті, ал ультрадыбыстық әсермен қалайы алу 91,6 % – га жетті. Бұл фактіні қалайы сілтілеу процесінің белсендіру энергиясының қалыпты жағдайда 43,96 кДж/мольден 41,98 кДж/мольге дейін ультрадыбыспен және процесінің шектеу сатысының химиядан аралық аймаққа ауысуымен түсіндіруге болады. Осы нәтижелерге сүйене отырып, мақалада ультрадыбыстың өнімді ерітіндіден қалайы цементтеу тұндыру процесіне әсерін одан әрі зерттеу ұсынылады. Келесі мақалада өнімді ерітіндіден қалайы селективті тұндыру процесі қарастырылады

Кілтті сөздер: қалайы, ультрадыбыс, қайта өңдеу, гидрометаллургия, электрондық қалдықтар.

***R. V. Sapinov¹, Zh. Shoshay¹, A. B. Bayeva², M. T. Tulindinov³, D. R. Sapinova¹**

¹Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

²National center of expertise, Republic of Kazakhstan, Pavlodar;

³Pavlodar Engineering College, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Received 25.02.24.

Received in revised form 14.03.24.

Accepted for publication 14.03.24.

STUDY OF THE PROCESS OF HYDROMETALLURGICAL EXTRACTION OF TIN FROM PRINTED CIRCUIT BOARDS OF SMARTPHONES WITH ULTRASONIC INTENSIFICATION

At today's consumption level, tin mineral sources are being intensively depleted, due to widespread use in the electronics industry as solder. Therefore, the return of secondary tin to the production cycle is an extremely urgent issue. The article presents a technique for hydrometallurgical extraction of tin from used electronic devices (electronic waste) with the use of ultrasonic intensification. A thorough review of existing and published tin extraction methods has been conducted. The need for a comprehensive method for extracting metals from electronic waste has been identified. The method should minimize energy consumption and environmental impact. This was followed by the conceptual development of an improved hydrometallurgical method for tin extraction, which was confirmed experimentally. When heated to 85 °C, without ultrasonic exposure, the degree of tin extraction reached 78.4 %, and with ultrasonic exposure, tin extraction reached 91.6 %. This fact can be explained by a decrease in the activation energy of the tin leaching process from 43.96 kJ/mol under normal conditions to 41.98 kJ/mol under the action of ultrasound and a shift of the limiting stage of the process from the chemical to the intermediate region. Based on these

results, the article proposes to further study the effect of ultrasound on the process of cementation deposition of tin from a productive solution. The next article will be devoted to the process of selective deposition of tin from a productive solution. Keywords: tin, ultrasound, recycling, hydrometallurgy, e- waste.

Теруге 18.03.24 ж. жіберілді. Басуға 29.03.24 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

5,07 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,79. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 4203

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

e-mail: nitk.tou.edu.kz

www.stk.tou.edu.kz