

Код МРНТИ 53.37.91

\*М.С. Акбаров<sup>1</sup>, О.В. Чернышова<sup>2</sup>, Г.А. Усольцева<sup>1</sup>, Р.С. Акпанбаев<sup>1</sup><sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)<sup>2</sup>Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова РТУ МИРЭА (г. Москва, Россия)

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПРОЦЕСС ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ СПЛАВА ОЛОВА СО СВИНЦОМ

**Аннотация.** В настоящей статье изложены результаты электрохимического растворения Sn-Pb сплава в электролитах на основе сульфаминовой кислоты, проводимого в гальваностатическом режиме при различных значениях плотностей тока. Показано, что в диапазоне исследуемых плотностей тока 0,10-0,25 А/см<sup>2</sup> скорость растворения сплава зависит от состава электролита – добавка азотной кислоты увеличивает скорость растворения в 1,8 раза, снижение концентрации сульфаминовой кислоты в 2 раза ведет к снижению скорости растворения в 1,3 раза. Установлено, что в при проведении процесса электрохимического растворения Sn-Pb сплава в гальваностатическом режиме при плотностях тока 0,10-0,25 А/см<sup>2</sup> катодный осадок имеет состав (мас. %): свинец – 99,4-99,6; олово – 0,4-0,6.

**Ключевые слова:** вторичное сырье, оловосодержащий сплав, припой, олово-свинцовый сплав, электрохимическая переработка, сульфаминовая кислота, гальваностатический режим, электронный лом, катодный осадок, анодное растворение.

### Қалайы қорытпасын қорғасынмен электрохимиялық еріту процесіне технологиялық параметрлердің әсері

**Андатпа.** Бұл мақалада әртүрлі ток тығыздығы мөндерінде гальваностатикалық режимде жүргізілген сульфамин қышқылы негізіндегі электролиттердегі Sn-Pb қорытпасының электрохимиялық еру нәтижелері келтірілген. Зерттелген ток тығыздығы 0,10-0,25 А/см<sup>2</sup> диапазонында қорытпаның еру жылдамдығы электролиттің құрамына байланысты азот қышқылының қосылуы еру жылдамдығын 1,8 есе арттырады, сульфамин қышқылы концентрациясының 2 есе төмендеуі еру жылдамдығының 1,3 есе төмендеуіне әкеледі. 0,10-0,25 а/см<sup>2</sup> ток тығыздығы кезінде гальваностатикалық режимде Sn-Pb қорытпасын электрохимиялық еріту кезінде катодты шөгіндінің құрамы (мас. %): қорғасын – 99,4-99,6; қалайы – 0,4-0,6.

**Түйінді сөздер:** екіншілік шикізат, құрамында қалайы бар қорытпа, құйма, қалайы-қорғасын қорытпасы, электрохимиялық өңдеу, сульфамин қышқылы, гальваностатикалық режим, электрондық сынық, катодты тұнба, анодты ерітінді.

### Influence of technological parameters on the process of electrochemical dissolution of tin-lead alloy

**Abstract.** This article presents the results of electrochemical dissolution of Sn-Pb alloy in electrolytes based on sulfamic acid, conducted in galvanostatic mode at different values of current densities. It is shown that in the range of the studied current densities of 0,10-0,25 А/см<sup>2</sup>, the dissolution rate of the alloy depends on the composition of the electrolyte – the addition of nitric acid increases the dissolution rate by 1,8 times, a decrease in the concentration of sulfamic acid by 2 times leads to a decrease in the dissolution rate by 1,3 times. It was found that during the electrochemical dissolution of the Sn-Pb alloy in galvanostatic mode at current densities of 0,10-0,25 А/см<sup>2</sup>, the cathode precipitate has the composition (mass %): lead – 99,4-99,6; tin – 0,4-0,6.

**Key words:** secondary raw materials, tin-containing alloy, solder, tin-lead alloy, electrochemical processing, sulfamic acid, galvanostatic mode, electronic scrap, cathode precipitate, anodic dissolution.

### Введение

Во всех высокоразвитых странах мира вопросу переработки вторичного сырья и различных видов производственных отходов уделяется большое внимание, так как это позволяет решить ряд важнейших экономических и экологических задач.

Сегодня в мировой практике разработаны различные технологии переработки отработанного лома свинца и олова. Широкое распространение получили пиропроцессы – плавка в котлах, в шахтных печах, электротермическая плавка и т. д. Гидрометаллургические процессы также являются неотъемлемой частью технологий переработки вторичных олова и свинца<sup>1</sup> [1-9].

Одним из гидрометаллургических методов переработки вторичного сырья является электрохимический, легко поддающийся автоматизации и являющийся экологически безопасным [9]. Электрохимические процессы занимают особое место в технологиях переработки различных видов сырья с получением металлических продуктов.

В работе изложены результаты электрохимического растворения сплава Sn-Pb в электролитах на основе сульфаминовой кислоты (NH<sub>2</sub>)SO<sub>3</sub>H в гальваностатическом режиме.

### Методика исследований

Электрохимическое растворение проводили с использованием электрохимического технологического комплекса ЭХК-1012 (ООО ИП «Тетран»), использующего некомпенсационный способ измерения потенциала<sup>2</sup>. Модельный свинцово-оловянный сплав, имитирующий припой, используемый в печатных платах, получен методом сплавления чистых металлов – свинца и олова (оба металла соответствовали по чистоте марке «чда»).

Электрохимическая ячейка представляла собой емкость из фторопласта объемом 300 мл, анод – сплав Sn-Pb, площадью S = 10 см<sup>2</sup>, катод – титановая (BT1-0) пластина, площадью S = 12 см<sup>2</sup>.

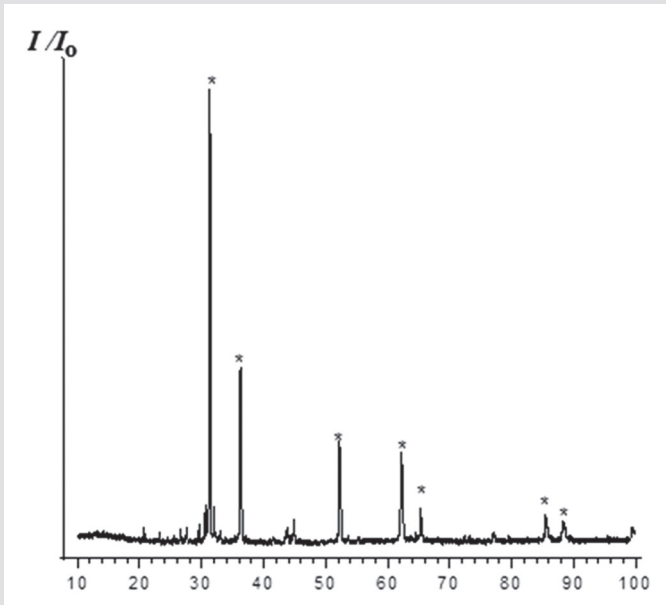
Убыль массы электрода определяли на аналитических весах ANDGR-300 с классом точности ±0,0001 г. Температура процесса – 20-25°C. Элементный анализ проводили с использованием ICP масс-спектрометра для изотопного и элементного анализа ELAN DRC-e (Perkin Elmer, Канада). Рентгеновские исследования порошков – на дифрактометре Bruker D8 Advance (CuKα излучение) в диапазоне 10-100° 2θ с шагом 0,02° 2θ, выдержка образцов составляла не менее 0,5 с/шаг. Индицирование дифрактограмм проводили с использованием базы данных PDF2 (2012).

<sup>1</sup>Алиев З.М., Гасанова Ф.Г. Способ переработки свинцовых отработанных аккумуляторов. / Патент №2245393 (РФ). – 2005.

<sup>2</sup>Гайдаренко О.В., Чернышов В.И., Чернышов Ю.И. Способ измерения потенциала рабочего электрода электрохимической ячейки под током. / Патент №2106620 (РФ). – 1998.

### Результаты и их обсуждение

Состав сплава – Sn – 61%, Pb – 39% – выбран в качестве модельного вследствие необходимости переработки припоя с получением индивидуальных компонентов, образующегося при реализации совмещенных технологий переработки электронного лома. Целесообразность применения кислых электролитов на основе сульфаминовой кислоты определена на основании литературных данных и ранее проведенных исследований<sup>3, 4</sup>. Процесс электрохимического растворения проводили в каждом из выбранных электролитов объемом 150 мл в гальваностатическом режиме, который легко реализуется на технологическом оборудовании предприятий, занимающихся переработкой вторичного и техногенного сырья. Выбор величин силы тока (1,0-2,5 А) определяется следующим: при силе тока, меньшей 1,0 А, процесс протекает с низкой скоростью, что отрицательно сказывается на производительности процесса в целом; при значениях силы тока выше 2,5 А возрастает доля нежелательных процессов (например, выделение кислорода).



**Рис. 1. Рентгенограмма катодного осадка, полученного при анодном растворении сплава Sn-Pb в растворе сульфаминовой кислоты с концентрацией 100 г/л при плотности тока 0,1 А/дм<sup>2</sup> – \* – свинец (карточка №87-0663, PDF). Сурет 1. Ток тығыздығы 0,1 А/дм<sup>2</sup> – \* – қорғасын кезінде концентрациясы 100 г/л сульфамин қышқылының ерітіндісінде Sn-Pb қорытпасын анодты еріту кезінде алынған катодты тұнба рентгенограммасы (№87-0663 карточка, PDF). Figure 1. X-ray of the cathode precipitate obtained by anodic dissolution of the Sn-Pb alloy in a solution of sulfamic acid with a concentration of 100 g/l at a current density of 0,1 A/dm<sup>2</sup> – \* – lead (card №87-0663, PDF).**

Таблица 1

**Влияние силы тока на скорость анодного растворения в гальваностатическом режиме при I = 1,0-2,5 А**

Кесте 1

**I = 1,0-2,5 А кезінде гальваностатикалық режимде анодтың еру жылдамдығына ток күшінің әсері**

Table 1

**Effect of current strength on the rate of anodic dissolution in galvanostatic mode at I = 1,0-2,5 А**

Параметры процесса I, А/i, А/см <sup>2</sup>	Концентрация в электролите, г/л		Скорость растворения сплава, г/(см <sup>2</sup> ·ч)
	олово	свинец	
Электролит (I): (NH <sub>2</sub> )SO <sub>3</sub> H – 100 г/л			
1,0/0,10	0,8	1,1	0,072
1,5/0,15	2,4	2,9	0,078
2,0/0,20	4,5	4,2	0,088
2,5/0,25	6,8	6,0	0,102
Электролит (II): (NH <sub>2</sub> )SO <sub>3</sub> H – 50 г/л			
1,0/0,10	0,5	1,0	0,056
1,5/0,15	1,8	3,2	0,063
2,0/0,20	3,8	4,0	0,071
2,5/0,25	5,1	4,8	0,078
Электролит (III): (NH <sub>2</sub> )SO <sub>3</sub> H – 100 г/л; HNO <sub>3</sub> – 10 г/л			
1,0/0,10	2,8	1,8	0,121
1,5/0,15	4,9	3,8	0,137
2,0/0,20	6,0	5,6	0,158
2,5/0,25	7,6	7,2	0,186

В табл. 1 представлены экспериментальные данные влияния величины силы тока на скорость анодного растворения сплава в кислых электролитах на основе сульфаминовой кислоты.

Скорость растворения сплава рассчитывали по потере массы растворяемого сплава по формуле:

$$v = (m_1 - m_2)/(St), \quad (1)$$

где  $m_1$  – исходная масса растворяемого образца;

$m_2$  – масса образца после электрохимического растворения с учетом образовавшегося анодного шлама ( $m_2 = V(C_{Sn} + C_{Pb})$ ):  $V$  – объем электролита,  $C$  – концентрация металла в электролите);

$S$  – рабочая площадь электрода;

$t$  – время процесса.

При растворении сплава (Sn – 61%, Pb – 39%) в указанных электролитах в гальваностатическом режиме при силе тока в диапазоне значений 1,0-2,5А происходит переход олова и свинца в раствор электролита, вероятно, как в степени окисления +2, так и +4, о чем свидетельствует образование рыхлого осадка на катоде, согласно литературным данным.

Скорости перехода свинца и олова в раствор практически сопоставимы, незначительное различие

<sup>3</sup>Денисенко А.П., Лучко М.А., Редькин С.А., Штода Л.А., Кривулько К.А., Семин М.В., Салов В.Б., Черкасов Е.В., Беззубов Н.И. Способ извлечения олова из отходов электронной и электротехнической промышленности. / Патент №2625156 (РФ). – 2017.

<sup>4</sup>Кацер И.М., Гуляева Г.С., Парамонов В.А., Гельфер Ц.М., Вайнер В.Б., Виноградов В.П., Илалова Р.Х. Электролит лужения жести. / Патент №1678094 (РФ). 1989.

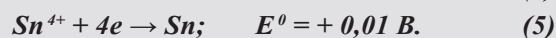
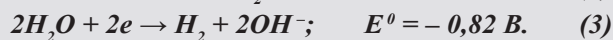
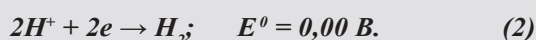
концентраций в растворе электролита связано с преимущественным выделением свинца на катоде. Перехода значительных количеств олова в катодный осадок не происходит, очевидно, что это связано с высокой поляризацией олова при его выделении в электролитах на основе сульфаминовой кислоты. Сказанное подтверждается результатами рентгенофазового анализа (рис. 1) катодного осадка, полученного при анодном растворении сплава в растворе сульфаминовой кислоты с концентрацией 100 г/л при плотности тока 0,1 А/см<sup>2</sup>. По данным химического анализа этот катодный осадок имеет следующий состав, масс.% : – свинец – 99,6, олово – 0,4.

Аналогичные рентгенограммы получены и для других режимов проведения анодного растворения сплава в растворе сульфаминовой кислоты с концентрацией 100 г/л. При увеличении плотности тока от 0,1 А/см<sup>2</sup> до 0,25 А/см<sup>2</sup> содержание олова в катодном осадке незначительно возрастает с 0,4% до 0,6% соответственно.

Концентрация сульфаминовой кислоты сказывается главным образом на скорости анодного растворения сплава: со снижением концентрации сульфаминовой кислоты в 2 раза скорость растворения снижается в 1,3 раза. Концентрация сульфаминовой кислоты в исследованном диапазоне не оказывает влияния на состав катодного осадка: выдерживается то же соотношение свинца (99,6-99,4 масс. %) и олова (0,4-0,6 масс. %). Тенденция к незначительному увеличению содержания олова в катодном осадке с ростом плотности тока сохраняется и при использовании электролита с концентрацией сульфаминовой кислоты 50 г/л.

Добавка азотной кислоты в раствор сульфаминово-кислого электролита повышает электропроводность электролита и предохраняет его от гидролиза. Концентрация азотной кислоты может колебаться в пределах от 5 г/л до 15 г/л. Дальнейшее увеличение ее концентрации приводит к снижению выхода по току, возрастает вероятность пассивации анода. Добавка азотной кислоты в 1,8 раза увеличивает скорость растворения сплава.

При организации любого электрохимического процесса анодного растворения следует учитывать протекание на катоде электрохимических реакций. Возможными электрохимическими реакциями<sup>5</sup>, протекающими на катоде, исходя из состава электролита, будут:



Основным фактором, определяющим протекание того или иного процесса на электроде, является величина электродного потенциала. Отсутствие промышленного оборудования, позволяющего проводить технологические

процессы при контролируемом потенциале, обуславливает необходимость осуществлять его контроль косвенным образом. Наряду с величиной силы тока, тщательным подбором рабочих плотностей тока, составом электролита, существенное влияние на преимущественное протекание электрохимической реакции на катоде оказывает соотношение величин катодной и анодной плотностей тока. Поэтому необходимо выявить влияние соотношения величин катодной и анодной плотностей тока на процесс выделения свинца в катодный осадок в рассмотренных ранее электролитах (табл. 2).

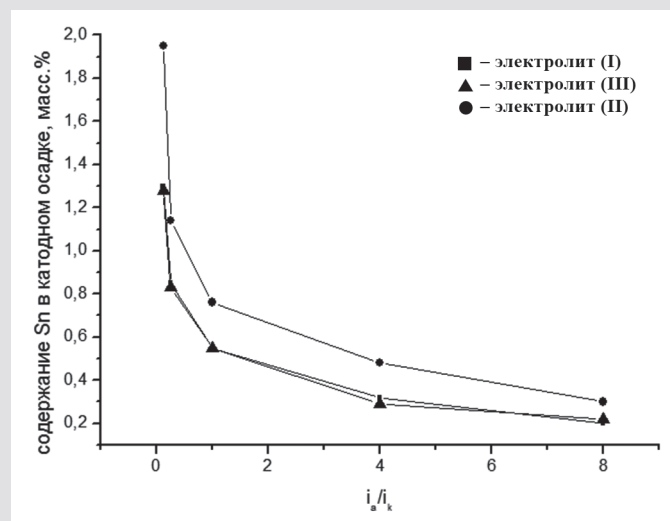


Рис. 2. Влияние  $i_a/i_k$  на содержание олова в катодном осадке.

Сурет 2.  $i_a/i_k$  катодты шөгіндідегі сирек материалдың құрамына әсері.

Figure 2. The effect of  $i_a/i_k$  on the tin content in the cathode sediment.

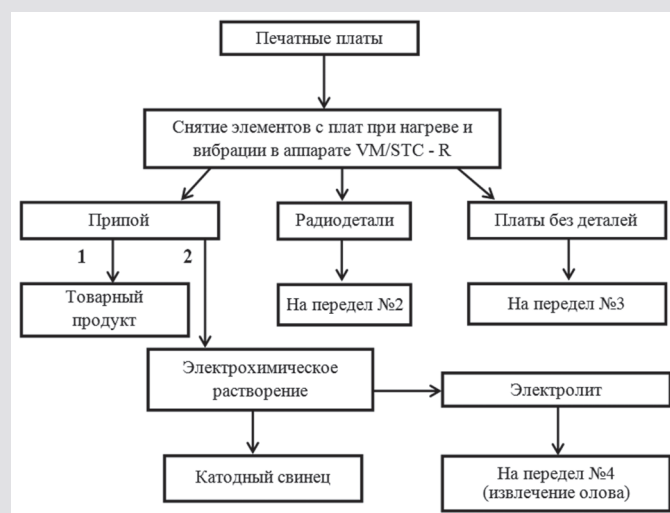


Рисунок 3. Принципиальная схема переработки электронного лома.

Сурет 3. Электрондық сынықтарды өңдеудің принципті схемасы.

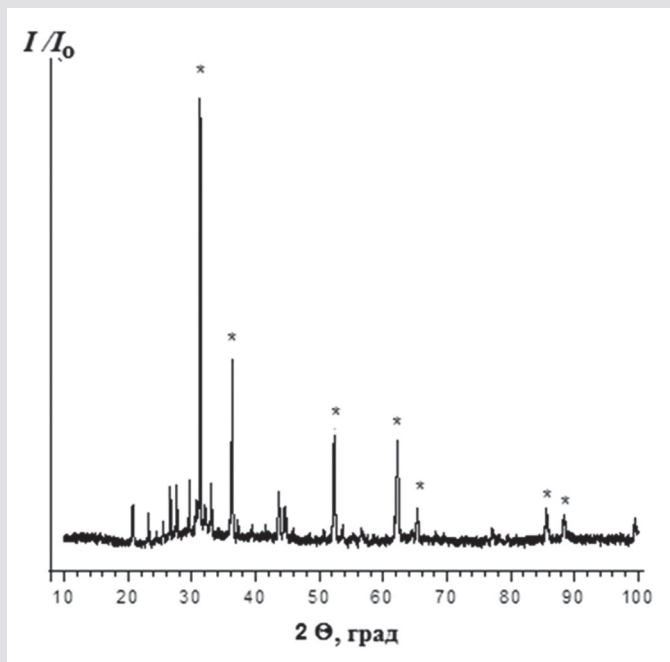
Figure 3. Schematic diagram of electronic scrap recycling.

<sup>5</sup>Турьян Я.И. Окислительно-восстановительные реакции и потенциалы в аналитической химии. – М.: Химия, 1989. – 248 с.

Из полученных данных следует, что выход по току для свинца зависит от соотношения  $i_a/i_k$ : максимальный выход по току достигается при превышении площади катода в 8 раз по сравнению с площадью анода. Снижение этой величины  $i_a/i_k$  сказывается и на увеличении содержания олова в катодном осадке (рис. 2), причем вид зависимости одинаков для всех трех электролитов.

Из полученных результатов следует, что состав электролита влияет на содержание олова в катодном осадке, причем наиболее значимым его вклад становится при  $i_a/i_k \leq 4$ . Можно предположить, что уменьшение концентрации сульфаминовой кислоты при низких значениях  $i_a/i_k$  снижает поляризационную составляющую при выделении олова в катодный осадок.

На основе проведенных исследований были определены следующие параметры проведения процесса электрохимического растворения олово-свинцового сплава: электролит – раствор  $(NH_2)SO_3H$  – 100 г/л,  $i_a/i_k = 8$ , анодная плотность тока – 0,2 А/см<sup>2</sup>.



**Рис. 4. Рентгенограмма катодного осадка, полученного при анодном растворении сплава (Sn – 60,4%, Pb – 38,3%, Zn – 1,3%) в растворе сульфаминовой кислоты с концентрацией 100 г/л при плотности тока 0,2 А/см<sup>2</sup> – \* – свинец (карточка №87-0663, PDF).**

**Сурет 4. Ток тығыздығы 0,2 А/см<sup>2</sup> – \* – қорғасын кезінде концентрациясы 100 г/л сульфамин қышқылының ерітіндісінде (Sn – 60,4%, Pb – 38,3%, Zn – 1,3%) қорытпасын анодты еріту арқылы алынған катодты тұнба рентгенограммасы (№87-0663 карточка, PDF).**

**Figure 4. X-ray of the cathode precipitate obtained by anodic dissolution of the alloy (Sn – 60,4%, Pb – 38,3%, Zn – 1,3%) in a solution of sulfamic acid with a concentration of 100 g/l at a current density of 0,2 A /cm<sup>2</sup> – \* – lead (card №87-0663, PDF).**

**Таблица 2**  
**Влияние соотношения площадей анода и катода на катодный выход по току для свинца в гальваностатическом режиме при I = 0,2 А**

**Кесте 2**  
**I = 0,2 А кезінде гальваностатикалық режимдегі қорғасын үшін катодтың шығу тогына анод пен катод аудандарының қатынасының әсері**

**Table 2**  
**Effect of the ratio of the anode and cathode areas on the cathode current output for lead in galvanostatic mode at I = 0,2 А**

Сила тока I, А	Плотность тока, А/см <sup>2</sup>		Катодный выход по току свинца, %
	катодная	анодная	
Электролит (I): $(NH_2)SO_3H$ – 100 г/л			
2,0	0,025	0,2	78,6
	0,05	0,2	75,8
	0,2	0,2	60,5
	0,8	0,2	52,5
	1,6	0,2	40,2
Электролит (II): $(NH_2)SO_3H$ – 50 г/л			
2,0	0,025	0,2	82,4
	0,05	0,2	79,2
	0,2	0,2	70,5
	0,8	0,2	62,4
	1,6	0,2	58,6
Электролит (III): $(NH_2)SO_3H$ – 100 г/л, $HNO_3$ – 10 г/л			
2,0	0,025	0,2	72,5
	0,05	0,2	59,8
	0,2	0,2	48,2
	0,8	0,2	40,5
	1,6	0,2	36,5

Выбранные условия были опробованы на сплаве состава Sn – 60,4%, Pb – 38,3%, Zn – 1,3%, полученном на стадии механической переработки электронного лома с использованием оборудования VM/STC-R (VIOLI S.R.L, Италия) (рис. 3). В зависимости от текущего спроса на олово и свинец может быть реализовано два варианта: первый – полученный олово-свинцовый припой является самостоятельным товарным продуктом; второй – припой подвергается дальнейшей переработке электрохимическим способом с получением индивидуальных металлов – свинца и олова.

Таким образом переработано 128,5 г сплава; получен катодный продукт массой 46,5 г состава: свинец – 98,6%, олово – 1,4%. Рентгенограмма катодного осадка приведена на рис. 4.

Таким образом, проведенные эксперименты показали, что использование сульфаминовокислого электролита при анодном растворении олово-свинцовых сплавов в гальваностатическом режиме позволяет получать катодный продукт, представляющий собой металлический свинец чистотой не менее 98%.

**Выводы**

Изучено влияние состава электролита на показатели процесса электрохимического растворения сплава олова со свинцом. Установлено, что скорость растворения сплава возрастает с увеличением кислотности

электролита, равно как и с увеличением плотности тока. Установлено влияние соотношения анодной и катодной плотностей тока на состав катодного осадка и выход по току для свинца. Показана возможность получения катодного свинца чистотой не менее 98% (масс.)

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Hadi P., Xu M., Lin C.S.K., Hui C.-W., McKay G. Методы переработки и использования отходов печатных плат. // Журнал опасных материалов. – 2015. – Вып. 283. – С. 234-243 (на английском языке)
2. Moosakazemi F., Ghassa S., Mohammadi M.R.T. Экологически безопасное гидрометаллургическое извлечение олова и свинца из отходов печатных плат: термодинамические и кинетические исследования. // Журнал более чистого производства. – 2019. – Вып. 228. – С. 185-196 (на английском языке)
3. Stuhlpfarrer P., Luidold S., Antrekowitsch H. Переработка отходов печатных плат с одновременным обогащением специальными металлами с использованием щелочных расплавов: экологически выгодное и стратегическое решение. // Журнал опасных материалов. – 2016. – Вып. 307. – С. 17-25 (на английском языке)
4. Yang C., Tan Q., Liu L., Dong Q., Li J. Переработка олова из электронных отходов: проблема, требующая большего внимания. // ACS Устойчивая химия и инженерия. – 2017. – Вып. 5. – С. 9586-9598 (на английском языке)
5. Yang J.-G., Lei J., Peng S.-Ya., Lu Yu.-L., Shi W.-Q. Новый процесс на основе мембранного электроосаждения для извлечения олова из отходов печатных плат. // Журнал опасных материалов. – 2016. – Вып. 304. – С. 409-416 (на английском языке)
6. Jha M.K., Choubey P.K., Jha A.K., Kumari A., Lee J., Kumar V., Jeong J. Исследования выщелачивания для извлечения олова из электронных отходов. // Управление отходами. – 2012. – Вып. 32. – С. 1919-1925 (на английском языке)
7. Jha M.K., Kumari A., Choubey P.K., Lee J., Kumar V., Jeong J. Выщелачивание свинца из припоя отходов печатных плат. // Гидрометаллургия. – 2012. – Вып. 121-124. – С. 28-34 (на английском языке)
8. Hossain R., Nekouei R.K., Mansuri I., Sahajwalla V. Устойчивое извлечение меди и олова из проблематичных глобальных отходов: изучение ценности отходов печатных плат. // ACS Устойчивая химия и инженерия. – 2018. – Вып. 7. – С. 1006-1017 (на английском языке)
9. Ussoltseva G.A., Akbarov M.S., Chernyshova O.V., Vaikonurova A.O., Akrapbayev R.S. Электрохимическая обработка вторичных свинцово-оловянных сплавов. // Журнал химических технологий и металлургии. – 2020. – Вып. 55(5). – С. 1120-1124 (на английском языке)

**ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Hadi P., Xu M., Lin C.S.K., Hui C.-W., McKay G. Пайдаланылған баспа платаларын өңдеу және өнімді кәдеге жарату әдістері. // Қауіпті материалдар журналы. – 2015. – Шығ. 283. – Б. 234-243 (ағылшын тілінде)
2. Moosakazemi F., Ghassa S., Mohammadi M.R.T. Баспа платаларының қалдықтарынан қалайы мен қорғасынды экологиялық таза гидрометаллургиялық алу: термодинамикалық және кинетикалық зерттеулер. // Таза өндіріс журналы. – 2019. – Шығ. 228. – Б. 185-196 (ағылшын тілінде)
3. Stuhlpfarrer P., Luidold S., Antrekowitsch H. Сілтілік балқымалардың көмегімен арнайы металдарды бір мезгілде байыта отырып, пайдаланылған баспа платаларын қайта өңдеу: экологиялық және стратегиялық тиімді шешім. // Қауіпті материалдар журналы. – 2016. – Шығ. 307. – Б. 17-25 (ағылшын тілінде)
4. Yang C., Tan Q., Liu L., Dong Q., Li J. Электрондық қалдықтардан қалайы өңдеу: көп назар аударуды қажет ететін мәселе. // ACS тұрақты химия және инженерия. – 2017. – Шығ. 5. – Б. 9586-9598 (ағылшын тілінде)
5. Yang J.-G., Lei J., Peng S.-Ya., Lu Yu.-L., Shi W.-Q. Қалдық ПХД-дан қалайы алу үшін мембраналық электродтау негізіндегі жаңа процесс. // Қауіпті материалдар журналы. – 2016. – Шығ. 304. – С. 409-416 (ағылшын тілінде)
6. Jha M.K., Choubey P.K., Jha A.K., Kumari A., Lee J., Kumar V., Jeong J. Электрондық сынықтан қалайыны алу үшін сілтісіздендіруді зерттеу. // Қалдықтарды басқару. – 2012. – Шығ. 32. – Б. 1919-1925 (ағылшын тілінде)

7. Jha M.K., Kumari A., Choubey P.K., Lee J., Kumar V., Jeong J. Пайдаланылған баспа платаларының (ПХД)дәнекерлеуісінен қорғасынды шаймалау. // *Гидрометаллургия*. – 2012. – Шығ. 121-124. – Б. 28-34 (ағылшын тілінде)
8. Hossain R., Nekouei R.K., Mansuri I., Sahajwalla V. Проблемалық жаһандық қалдықтардан тұрақты Си және Sn шығару: ПХД қалдықтарының құндылығын зерттеу. // *ACS тұрақты химия және инженерия*. – 2018. – Шығ. 7. – Б. 1006-1017 (ағылшын тілінде)
9. Ussoltseva G.A., Akbarov M.S., Chernyshova O.V., Baikonurova A.O., Akpanbayev R.S. Екіншілі қорғасын-қалайы қорытпаларын электрохимиялық өңдеу. // *Химиялық технология және металлургия журналы*. – 2020. – Шығ. 55(5). – Б. 1120-1124 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Hadi P., Xu M., Lin C.S.K., Hui C.-W., McKay G. Waste printed circuit board recycling techniques and product utilization. // *Journal of hazardous materials*. – 2015. – Vol. 283. – P. 234-243 (in English)
2. Moosakazemi F., Ghassa S., Mohammadi M.R.T. Environmentally friendly hydrometallurgical recovery of tin and lead from waste printed circuit boards: Thermodynamic and kinetics studies, *Journal of Cleaner Production*. – 2019. – Vol. 228. – P. 185-196 (in English)
3. Stuhlpfarrer P., Luidold S., Antrekowitsch H. Recycling of waste printed circuit boards with simultaneous enrichment of special metals by using alkaline melts: A green and strategically advantageous solution. // *Journal of hazardous materials*. – 2016. – Vol. 307. – P. 17-25 (in English)
4. Yang C., Tan Q., Liu L., Dong Q., Li J. Recycling Tin from electronic waste: A problem that needs more attention. // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2017. – Vol. 5. – P. 9586-9598 (in English)
5. Yang J.-G., Lei J., Peng S.-Ya., Lu Yu.-L., Shi W.-Q. A new membrane electro-deposition based process for tin recovery from waste printed circuit boards. // *Journal of hazardous materials*. – 2016. – Vol. 304. – P. 409-416 (in English)
6. Jha M.K., Choubey P.K., Jha A.K., Kumari A., Lee J., Kumar V., Jeong J. Leaching studies for tin recovery from waste e-scrap. // *Waste Manag.* – 2012. – Vol. 32. – P. 1919-1925 (in English)
7. Jha M.K., Kumari A., Choubey P.K., Lee J., Kumar V., Jeong J. Leaching of lead from solder material of waste printed circuit boards. // *Hydrometallurgy*. – 2012. – Vol. 121-124. – P. 28-34 (in English)
8. Hossain R., Nekouei R.K., Mansuri I., Sahajwalla V. Sustainable Recovery of Cu and Sn from Problematic Global Waste: Exploring Value from Waste Printed Circuit Boards. // *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. – 2018. – Vol. 7. – P. 1006-1017 (in English)
9. Ussoltseva G.A., Akbarov M.S., Chernyshova O.V., Baikonurova A.O., Akpanbayev R.S. Electrochemical processing of secondary lead-tin alloys. // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2020. – Vol. 55(5). – P. 1120-1124 (in English)

## Сведения об авторах:

**Акбаров М.С.**, докторант кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [m.akbarov@satbayev.university](mailto:m.akbarov@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0002-4272-8038>

**Чернышова О.В.**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия и технологии редких и рассеянных элементов, наноразмерных и композиционных материалов им. К.А. Большакова» Институт тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова Российского технологического университета (г. Москва, Россия), [oxcher@mitht.ru](mailto:oxcher@mitht.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0543-7474>

**Усольцева Г.А.** канд. техн. наук, доцент, ассоциированный профессор кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [g.ussoltseva@satbayev.university](mailto:g.ussoltseva@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-0155-5094>

**Акпанбаев Р.С.**, PhD, старший научный сотрудник кафедры «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [r.akpanbayev@satbayev.university](mailto:r.akpanbayev@satbayev.university); <https://orcid.org/0000-0003-3566-4563>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Әкбаров М.С.**, Satbayev University, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

**Чернышова О.В.**, техника ғылымдарының кандидаты, Россия технологиялық университеті, М.В. Ломоносов атындағы химиялық технологиялар институты, К.А. Большаков атындағы «Химия және сирек және шашыранды элементтер, наноразмерлі және композициялық материалдар» кафедрасының доценті (Мәскеу қ., Ресей)

**Усольцева Г.А.**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Satbayev University «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Ақпанбаев Р.С.**, техника ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, «Металлургиялық процестер, жылу техникасы және арнайы материалдар технологиясы» кафедрасының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан)

## Information about authors:

**Akbarov M.S.**, Doctoral Student at the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special materials» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Chernyshova O.V.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Chemistry and Technology of Rare and Scattered Elements, Nanoscale and Composite Materials named after K.A. Bolshakov of the M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies of the Russian Technological University (Moscow, Russia)

**Ussoltseva G.A.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special Materials» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Akpanbayev R.S.**, PhD, Senior Researcher at the Department «Metallurgical Processes, Heat Engineering and Technology of Special materials» of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)