

Код МРНТИ 53.37.33

Е.Е. Жолдасбай¹, М.Б. Курмансейтов², А.А. Аргын¹, *Н.К. Досмухамедов²
¹Жезказганский университет им. О.А. Байконурова (г. Жезказган, Казахстан),
²Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХЛОРИРУЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ E-ЛОМА

Аннотация. На основании ранее полученных положительных результатов по переработке E-лома (компьютерных плат) проведена оценка экономической эффективности хлорирующей технологии. Установлено, что при переработке 365 т электронного лома в год, экономический эффект составляет 7 448 560,85 \$. Срок окупаемости технологии – 7 месяцев. Анализ чувствительности подтвердил устойчивость экономических показателей технологии к колебаниям ключевых параметров, таких как стоимость сырья, цена готовой продукции и объемы производства. Как показали расчеты, даже при заложенных неблагоприятных сценариях, когда эти параметры ухудшались на 10–15%, технология оставалась прибыльной и сохраняла свою инвестиционную привлекательность. Это указывает на надежность и жизнеспособность технологии хлорирования в различных рыночных условиях и свидетельствует о том, что инвестиции в данную технологию очень прибыльны и привлекательны для инвесторов.

Ключевые слова: E-лом, компьютерные платы, переработка, хлорирующая технология, извлечение, золота, экономическая эффективность.

Сынықтарды өңдеуге арналған хлорлау технологиясының экономикалық тиімділігін бағалау

Анатпа. E-сынықтарды (компьютерлік тақталарды) қайта өңдеу бойынша бұрын алынған оң нәтижелердің негізінде хлорлау технологиясының экономикалық тиімділігіне бағалау жүргізілді. Жылына 365 тонна электронды сынықтарды өңдеу кезінде экономикалық тиімділік 7 448 560,85 \$ болатындығы анықталды. Технологияның өтелу мерзімі – 7 ай. Сезімталдықты талдау технологияның экономикалық көрсеткіштерінің шикізат құны, дайын өнімнің бағасы және өндіріс көлемі сияқты негізгі параметрлердің ауытқуына тұрақтылығын растады. Есептеулер көрсеткендей, тіпті қолайсыз сценарийлер болса да, бұл параметрлер 10–15% нашарлаған кезде, технология тиімді болып қала берді және өзінің инвестициялық тартымдылығын сақтап қалды. Бұл әртүрлі нарықтық жағдайларда хлорлау технологиясының сенімділігі мен өміршеңдігін көрсетеді және осы технологияға инвесторлар үшін инвестициялау өте тиімді және тартымды екенін көрсетеді.

Түйінді сөздер: E-сынық, компьютерлік тақта, қайта өңдеу, хлорлау технологиясы, экстракция, алтын, экономикалық тиімділік.

Assessment of the economic efficiency of chlorinating technology for scrap recycling

Abstract. Based on the previously obtained positive results on the processing of E-scrap (computer boards), an assessment of the economic efficiency of chlorination technology was carried out. It has been established that when processing 365 tons of electronic scrap per year, the economic effect is 7 448 560,85 \$. The payback period of the technology is 7 months. The sensitivity analysis confirmed the resilience of the technology's economic indicators to fluctuations in key parameters such as the cost of raw materials, the price of finished products, and production volumes. Calculations have shown that even under adverse scenarios, when these parameters deteriorated by 10–15%, the technology remained profitable and maintained its investment attractiveness. This indicates the reliability and viability of chlorination technology in various market conditions and indicates that investments in this technology are very profitable and attractive to investors.

Key words: E-scrap, computer board, recycling, chlorination technology, extraction, gold, economic efficiency.

Введение

Разработка и внедрение технологий для переработки вторичного сырья является важным и перспективным подходом, направленным на экономию природных ресурсов и сокращение издержек, связанных с получением ценных товарных металлов с высокой добавленной стоимостью. Данная тенденция приобретает все большую популярность в странах Европы, испытывающих дефицит первичного сырья, что вполне объяснимо. Ухудшение экологической обстановки в мире привело к пересмотру технологий производства цветных и драгоценных металлов в развитых странах и переориентации на переработку вторичного сырья, а также к внедрению новых, экологически чистых технологий [1, 2].

Особый интерес вызывает переработка отходов электронного и электротехнического оборудования, известных как электронные отходы (E-отходы). Увеличение объемов образования и накопления E-отходов и их последующая переработка стали привлекательными, в частности, с точки зрения извлечения драгоценных металлов [1, 2, 3].

Широко распространенный метод утилизации E-отходов – прямое сжигание с целью извлечения ценных металлов после сгорания пластика, что представляет серьезную угрозу для окружающей среды. Примитивные способы утилизации, такие как сжигание кабелей для извлечения меди, подвергают людей воздействию опасных веществ. В процессе горения в атмосферу выделяются токсичные вещества, такие как фенолы, бензолы, а также соединения меди, кадмия, свинца и мышьяка [4, 5]. Зола, образующая-

ся после сжигания отслужившей техники, также является токсичной [6].

Одним из перспективных направлений переработки E-отходов являются хлорирующие технологии, обеспечивающие селективное извлечение ценных металлов и высокую степень экологичности процесса [7]. В научной литературе содержатся лишь отрывочные сведения о высокотемпературном хлорировании металлов и их соединений из различного вида сырья [8, 9, 10]. При этом вопросы распределения металлов между продуктами, образующимися при низкотемпературном хлорировании, остаются практически неизученными.

Данные о применении хлорирующих технологий для переработки E-отходов практически отсутствуют, хотя их объединение с уже имеющимися результатами могло бы сформировать фундаментальную основу для разработки новых хлорирующих технологий комплексного извлечения ценных металлов из E-отходов.

Большой объем исследований по разработке и созданию технологии для переработки E-отходов, применительно к условиям Казахстана, проведен в работах [11, 12], где научно обоснованы теоретические положения технологии с использованием газообразного хлора. В результате исследований авторами доказана высокая эффективность технологии, обеспечивающая комплексное селективное извлечение драгоценных и цветных металлов в товарные продукты из компьютерных плат, вышедших из пользования. Уникальность технологии заключается в том, что, в отличие от всех существующих технологий, золото вы-

деляется в начальной стадии путем низкотемпературного хлорирующего обжига в целевой продукт – сублимат $AuCl_3$, из которого в дальнейшем без особых усилий и затрат при плавке, извлекается чистое золото. Полученный после обжига огарок, с высокой концентрацией в нем Cu , Ag , Pd и других ценных металлов легко доводится до получения чистых металлов путем плавки известными способами. Все операции, составляющие ядро технологии, проводятся при минимальных затратах реагентов, что позволяет гибко регулировать технологические параметры каждого процесса в зависимости от состава и типа Е-отходов.

Разработанный авторами новый подход к построению технологии, с одной стороны, исключает необходимость сложных и высокочрезвычайных операций производства золота (рафинирование и др.) и позволяет комплексно извлекать цветные и другие ценные металлы из дополнительного источника сырья, являющегося опасным отходом. С другой стороны, технология позволяет расширить ассортимент высоколиквидных товарных металлов с высокой добавленной стоимостью.

С экологической точки зрения технология обеспечивает минимальный выброс вредных веществ в окружающую среду. Используемый при хлорирующем обжиге хлор является оборотным и используется вторично при обжиге.

Ключевым аспектом технологии, требующим особого внимания, является выход большого количества огарка после хлорирующего обжига. Результаты элементного и фазового составов остатка показали наличия в нем, в основном, хлоридов меди, железа и аморфной фазы, представляющей собой набор пластмассы, керамики и др. токсичных веществ, присутствующих в составе исходных Е-отходов [11, 12]. При низкотемпературном хлорирующем обжиге термической деструкции аморфной фазы практически не происходит, и они полностью остаются в остатке. Кроме того, при обжиге не достигается сегрегации вредных металлов из их соединений (оксиды, интерметаллиды и др.), которые, оставаясь в остатке, при дальнейшей переработке будут влиять на качество получаемых металлов и увеличивать затраты на их получение.

Однако, наблюдаемые недостатки не являются критичными и не оказывают существенного влияния на технологические показатели общей технологии. По технологии предусмотрено полное сжигание неметаллической аморфной части Е-отходов при высокотемпературной плавке огарка, с дальнейшим улавливанием и обезвреживанием получаемых при этом токсичных соединений. Также, ввиду незначительных содержаний вредных металлов-примесей (As , Sb , Sn , Cd , Pb и др.) в полученном после обжига огарке, их влияние на качество получаемых металлов практически сводится к минимуму. Изложенные положения полностью подтверждены результатами ранее выполненных исследований.

Разработанная технология позволяет получать чистые товарные продукты, такие как металлическое золото и катодная медь марки МОК.

Основываясь на инженерных решениях, внедренных в процесс организации и создания производства по переработке электронных отходов, а также учитывая поло-

жительные результаты исследований, в настоящей работе проведена предварительная оценка экономической целесообразности разработанной технологии.

Материалы и методы исследования

Расчет экономической эффективности проведен на удельную производительность переработки электронного лома (компьютерные платы) 1 т/сутки.

В качестве исходных данных использовались результаты лабораторных и пилотных испытаний технологии хлорирования, позволяющие оценить выход целевых продуктов и расход реагентов, включающие:

Содержание золота в ломе 0,031%;

Содержание меди в ломе 13,5%;

Сквозное извлечение золота в товарный продукт 97%;

Сквозное извлечение меди в товарный продукт 98%;

Стоимость тр. унции золота – 2157 \$ США (Цена на LME на 06.06.25 г.);

Стоимость 1 т меди марки МОК – 8403 \$ США (Цена на LME на 06.06.25 г.).

Необходимо отметить, что результаты оценки носят предварительный характер и требуют уточнения на основе более детальных данных. В частности, необходимо провести более точную оценку рыночной стоимости полученных товарных продуктов, а также учесть возможные риски, связанные с колебаниями цен на сырье и энергоносители. Кроме того, необходимо провести анализ чувствительности, чтобы оценить влияние различных факторов на экономическую эффективность проекта.

Результаты расчетов экономической эффективности технологии

Доходы от реализации золота и меди, полученные от переработки 1 т электронного лома, без учета затрат, рассчитываются по формуле:

$$A_{Me} = G_{лом} * Me_{Исх} * \varepsilon_{Me} * Ц, \quad (1)$$

где:

$G_{лом}$ – количество лома, т;

$Me_{Исх}$ – содержание золота, меди в ломе, %;

ε_{Me} – сквозное извлечение металлов, %;

$Ц$ – стоимость 1 т меди и 1 тр. унции золота на LME.

Общий доход от реализации золота (A_{Au}) и меди (A_{Cu}), полученный от переработки 1 т лома, составит:

$$A_{Au} + A_{Cu} = \left(1000 \text{ кг} * 0,00031 * 97 * \frac{2157}{31} \right) + \\ + (1 * 0,135 * 0,98 * 8403) = 20922,29 + \\ + 1111,71 = 22034,00 \text{ \$ США в сутки.} \quad (2)$$

Годовой доход (D) от переработки 365 т Е-лома составит:

$$D = 22034,00 * 365 = 8042632,65 \text{ \$ США.} \quad (3)$$

оимости

1. Согласно технологической схеме основу матрицы твердой фазы – огарка, полученного после извлечения золота хлорирующим обжигом, составляет медь. Для извле-

чения меди в виде товарной катодной меди марки МОК огарок направляется на конвертирование с дальнейшим проведением операций огневого рафинирования и электролиза.

Себестоимость переработки 1 т огарка рассчитана с учетом себестоимости товарной катодной меди марки МОК, полученной от переработки в цепи «конвертирование – огневого рафинирования – электролиз». По заводским данным себестоимость 1 т меди (C_{Cu}) составляет ~850 \$ США. Тогда, годовая себестоимость переработки 364 т огарка ($C_{Перераб}$), с учетом количества меди в нем ($G_{Лом}^{Cu}$), составит:

$$C_{Перераб} = C_{Cu} * G_{Лом}^{Cu} = 364 * 850 = 309400 \text{ \$ США.} \quad (4)$$

2. Общий расход электроэнергии (А) на переработку лома складывается из расходов на проведение операции обжига (А1) и плавки для получения чистого золота (А2), которые принимаем по данным практики:

– на хлорирующий обжиг 1 т лома для получения сублимата золота, А1 = 485 кВтч;

– на плавку 1 т сублимата для получения чистого золота, А2 = 404 кВтч.

С учетом принятых данных расход электроэнергии на обжиг ($C_{Обжиг}$) и плавку ($G_{Субл}$) рассчитывали по формулам:

$$C_{Обжиг} = A1 * G_{Лом}; \quad (5)$$

$$C_{Плавка} = A2 * G_{Субл} \quad (6)$$

где:

$A1, A2$ – расходы электроэнергии, кВтч, затрачиваемые на обжиг и плавку, соответственно;

$G_{Лом}$ – количество исходного лома, т;

$G_{Субл}$ – количество сублимата золота ($AuCl_3$).

Общий расход электроэнергии (А) на переработку 365 т лома в год составит:

$$C_{Обжиг} + C_{Плавка} = (485 * 365) + (404 * 1,7) = 177711,8 \text{ \$ США.} \quad (7)$$

3. Годовой расход хлора (C_{Cl}) на переработку 365 т лома в год с учетом стоимости 1 м³ газообразного хлора (F_{Cl}) и годового расхода хлора, $G_{Cl} = 14,78$ м³, рассчитывали по формуле:

$$C_{Cl} = F_{Cl} * G_{Cl} = 1310 * 14,78 = 19360 \text{ \$ США.} \quad (8)$$

4. Затраты на предварительную подготовку 1 т лома к переработке (разделение пластмассы от металлической части лома, сортировка и др.) по заводским данным составляют – 240 \$ США. Тогда, ежегодные затраты на подготовку лома составят:

$$240 \$ * 365 = 87600 \text{ \$ США.} \quad (9)$$

5. Общие затраты ($B_{Расходы}$) на переработку 365 т лома в год:

$$B_{Расходы} = (1 + 2 + 3 + 4) = 309400 + 177711,8 + 19360 + 87600 = 594071,8 \text{ \$ США.} \quad (10)$$

Годовой экономический эффект от внедрения технологии:

$$(A_{Au} + A_{Cu}) - B_{Расходы} = 8042632,65 - 594071,8 = 7448560,85 \text{ \$ США.} \quad (11)$$

Срок окупаемости (PP) без учета расходов на основное оборудование составит:

$$PP = \left(\frac{B_{Расходы}}{Д} \right) * 100 = \left(\frac{594071,8}{8042632,65} \right) * 100 = 7,39 \approx 7 \text{ мес.} \quad (12)$$

Установленная экономическая эффективность достигается за счет комплексного извлечения ценных металлов из Е-лома в товарные продукты. Технология предполагает использование экологически безопасных методов переработки, минимизирующих эмиссию токсичных веществ в окружающую среду.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой рентабельности предложенной технологии и ее потенциале для промышленного внедрения. Дальнейшие исследования и оптимизация технологического процесса позволят увеличить удельную производительность и повысить экономическую эффективность.

Предварительные результаты анализа рыночной конъюнктуры указывают на стабильный спрос на извлеченные металлы, что обеспечивает устойчивое развитие экономической модели.

Окончательный расчет экономической эффективности будет проведен при внедрении технологии, применительно к действующим заводам цветной металлургии и к конкретным условиям. В настоящее время большой интерес к технологии проявлен со стороны Балхашского медеплавильного завода (БМЗ) ТОО «Корпорация «Казахмыс».

Технология легко интегрируется к существующей технологической схеме получения меди и аффинажного производства. Проведенные нами детальные экономические расчеты с учетом капитальных затрат на строительство и запуск производства, операционных издержек, включая стоимость реагентов, электроэнергии, а также расходы на оплату труда персонала и утилизацию отходов применительно к условиям БМЗ, показывают большие перспективы для завода (данные и результаты расчетов конфиденциальные и не подлежат к публикации в открытой печати).

Проведенные расчеты экономической эффективности базировались на использовании метода дисконтированных денежных потоков (DCF), который позволяет учитывать временную стоимость денег. В качестве основных показателей рассматривались чистая приведенная стоимость (NPV), внутренняя норма доходности (IRR) и срок окупаемости технологии (Payback Period).

Результаты оценки показали, что разработанная технология для переработки Е-отходов с использованием низкотемпературного хлорирующего обжига, имеет потенциал для экономической целесообразности. По результатам расчетов значение NPV положительное, IRR превысила требуемую ставку доходности, а срок окупаемости находится в приемлемом диапазоне и составляет 7 месяцев.

Дальнейший анализ чувствительности подтвердил устойчивость экономических показателей технологии к колебаниям ключевых параметров, таких как стоимость сырья, цена готовой продукции и объемы производства. Как показали расчеты, даже при заложенных неблагоприятных сценариях, когда эти параметры ухудшались на 10–15%, технология оставалась прибыльной и сохраняла свою инвестиционную привлекательность. Это указывает на надежность и жизнеспособность технологии хлорирования в различных рыночных условиях и свидетельствует о том, что инвестиции в данную технологию очень прибыльны и привлекательны для инвесторов.

Выводы

Внедрение разработанной технологии переработки E-отходов путем хлорирования газообразным хлором, помимо экономических выгод, создает ряд дополнительных преимуществ. Во-первых, это повышение экологической безопасности производства за счет снижения выбросов вредных веществ и более эффективного использования сырья. Во-вторых, это возможность создания новых рабочих мест и стимулирование развития смежных отраслей. В-третьих, это укрепление позиций компании на рынке за счет внедрения инновационных технологий и повышения конкурентоспособности продукции.

С учетом всех этих факторов можно сделать вывод о том, что разработанная технология хлорирования представляет собой перспективное направление для инвестиций. Она обладает высоким экономическим потенциалом, устойчива к колебаниям рыночной конъюнктуры и способствует повышению экологической безопасности производства.

Для успешной реализации технологии в настоящее время проводится детальная разработка бизнес-плана, включающего в себя оценку рисков, разработку стратегии маркетинга и организацию производства. Однако, учитывая полученные результаты, можно с уверенностью утверждать, что инвестиции в данную технологию будут оправданы и принесут существенную прибыль.

Финансирование

Исследования проводились в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан на 2023–2025 годы по приоритетному направлению «Рациональное использование водных ресурсов, животного и растительного мира, экология» проекта AP19576638 «Разработка инновационной технологии утилизации накопленных отходов E-лома с получением чистого золота и цветных металлов».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глобальный мониторинг электронных отходов, 2017 год. / Балде К.П. [и др.]. Бонн/Женева/Вена: Университет Организации Объединенных Наций (УООН), Международный союз электросвязи (МСЭ) и Международная ассоциация по твердым отходам (МАТО), 2017. 26 с. (на русском языке)
2. Gadekar J. Извлечение золота и других драгоценных металлов из электронных отходов // Международный журнал фармации и фармацевтических исследований. 2017. № 1. С. 24–34 (на английском языке)
3. Hagelken S., Corti S. Переработка золота, используемого в электронике: экономически эффективное использование благодаря разработкам в области переработки // Золотой бюллетень. 2010. № 43 (3). С. 209–220 (на английском языке)
4. Kaya M. Извлечение металлов из электронных отходов с помощью физических и химических процессов вторичной переработки // Международный журнал химической и молекулярной инженерии. 2016. № 10 (2). С. 259–270 (на английском языке)
5. Al Balushi M., Kaithari D.K. Извлечение золота из электронных отходов // Международный журнал студенческих исследований в области технологий и менеджмента. 2016. № 4 (3). С. 44–48 (на английском языке)
6. Химическое загрязнение на объектах переработки и захоронения электронных отходов в Аккре и Корфоридуа, Гана / Brigden K. [и др.] // Техническая записка исследовательских лабораторий Гринпис. 2008. 23 с. (на английском языке)
7. Глинозем и диоксид кремния, получаемые хлорированием при обработке летучей золы электростанций / Dosmukhamedov N. [и др.] // ЖОМ. 2020. № 72 (10). С. 3348–3357 (на английском языке)
8. Влияние pH на выщелачивание тяжелых металлов и хлоридов из пыли электродуговых печей в цементных растворах / Ledesma E.F. [и др.] // Строительство и стройматериалы. 2018. Т. 183. С. 365–375 (на английском языке)
9. Обработка хлорированием для извлечения золота из тугоплавких золото-медно-мышьякосодержащих концентратов / Dosmukhamedov N. [и др.] // Экологическое развитие. 2022. № 14. С. 1–14 (на английском языке)
10. Извлечение цинка и свинца из шлаков медеплавильного производства путем хлорирующего обжига / Guo X. [и др.] // ЖОМ. 2021. Т. 73. № 6. С. 1861–1870 (на английском языке)
11. Извлечение золота из электронного лома путем низкотемпературного хлорирующего обжига / Zholdasbay E.E. [и др.] // Цветные металлы. 2024. Т. 1. С. 22–27 (на английском языке)

12. *Поведение золота и цветных металлов при низкотемпературном хлорирующем обжиге электронных отходов / Dosmukhamedov N. [и др.] // Metallurg. 2024. № 3. С. 1–9 (на английском языке)*

ПАЙДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Электрондық қалдықтардың жаһандық мониторингі, 2017 жыл / Балде К.П. [және т. б.]. Бонн/Женева/Вена: Біріккен Ұлттар Ұйымының университеті (БҰҰ), Халықаралық телекоммуникация одағы (ХЭО) және қатты қалдықтар жөніндегі халықаралық қауымдастық (Mato), 2017, 26 б. (орыс тілінде)*
2. *Gadekar J. Электрондық қалдықтардан алтынын және басқа да бағалы металдарды алу // Халықаралық фармация және фармацевтикалық зерттеулер журналы. 2017. № 1. Б. 24–34 (ағылшын тілінде)*
3. *Hagelken C., Corti C. Электроникадан алтынды қайта өңдеу: «Қайта өңдеуге арналған дизайн» арқылы үнемді пайдалану // Алтын бюллетень. 2010. № 43 (3). Б. 209–220 (ағылшын тілінде)*
4. *Kaya M. Электрондық қалдықтардан металдарды физикалық және химиялық қайта өңдеу процесімен қалпына келтіру // Халықаралық химиялық және молекулалық инженерия журналы. 2016. № 10 (2). Б. 259–270 (ағылшын тілінде)*
5. *Al Balushi M., Kaithari D.K. Электрондық қалдықтардан алтынды тотықсыздандыру // Технология және менеджмент саласындағы студенттерді зерттеудің халықаралық журналы. 2016. № 4 (3). Б. 44–48 (ағылшын тілінде)*
6. *Аккра мен Корфоридуадағы (Гана) электронды қалдықтарды қайта өңдеу және кәдеге жарату орындарындағы химиялық ластану / Brigden K. [және т. б.] // Greenpeace research laboratories техникалық ескертпесі. 2008. 23 б. (ағылшын тілінде)*
7. *Электр станциясының күлін хлорлау нәтижесінде алынған таза глинозем мен кремний диоксиді / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // ЖОМ. 2020. № 72 (10). Б. 3348–3357 (ағылшын тілінде)*
8. *Цемент негізіндегі ерітінділердегі электр доғалы пеш шаңынан ауыр металдар мен хлоридтерді шаймалаудағы рн рөлі / Ledesma E.F. [және т. б.] // Құрылыс және құрылыс материалдары. 2018. Т. 183. Б. 365–375 (ағылшын тілінде)*
9. *Отқа төзімді алтын-мыс-мышьяк концентраттарынан алтын алу үшін хлорлауды өңдеуді қолдану / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // Тұрақтылық. 2022. № 14. Б. 1–14 (ағылшын тілінде)*
10. *Хлорлау әдісімен мыс балқыту шлактарынан мырыш пен қорғасынды тотықсыздандыру / Guo X. [және т. б.] // ЖОМ. 2021. Т. 73. № 6. Б. 1861–1870 (ағылшын тілінде)*
11. *Электронды сынықтардан алтынды төмен температурада хлорлау арқылы күйдіріп тотықсыздандыру / Zholdasbay E.E. [және т. б.] // Түсті металдар. 2024. Т. 1. Б. 22–27 (ағылшын тілінде)*
12. *Электрондық қалдықтарды төмен температурада хлорлау арқылы күйдіру кезіндегі алтын және түсті металдардың бөлініп таралуы / Dosmukhamedov N. [және т. б.] // Metallurg. 2024. № 3. Б. 1–9 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Global'nyi monitoring elektronnykh otkhodov, 2017 [Global monitoring of electronic waste, 2017], Balde K.P. [et al.]. Bonn/Geneva/Vienna: Universitet Organizatsii Ob"edinennykh Natsii (UOON), Mezhdunarodnyi soyuz elektrosvyazi (MSE) i Mezhdunarodnaya assotsiatsiya po tverdym otkhodam (MATO), 2017. 26 p. (in Russian)*
2. *Gadekar J. Extraction of Gold and other Precious Metals from e-waste // International Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Research. 2017. No. (1). 24–34 pp. (in English)*
3. *Hagelken C., Corti C. Recycling of gold from electronics: Cost-effective use through Design for Recycling // Gold Bulletin. 2010. No. 43 (3). 209–220 pp. (in English)*
4. *Kaya M. Recovery of Metals from Electronic Waste by Physical and Chemical Recycling Processes // International Journal of Chemical and Molecular Engineering. 2016. No. 10 (2). 259–270 pp. (in English)*
5. *Al Balushi M., Kaithari D.K. Recovery of Gold from e-waste // International Journal of Students' Research In Technology & Management. 2016. No. 4 (3). 44–48 pp. (in English)*
6. *Chemical Contamination at E-Waste Recycling and Disposal Sites in Accra and Korforidua, Ghana / Brigden K. [et al.] // Greenpeace research laboratories technical note. 2008. 23 p. (in English)*
7. *Alumina and Silica Produced by Chlorination of Power Plant Fly Ash Treatment / Dosmukhamedov N. // JOM. 2020. No. 72 (10). 3348–3357 pp. (in English)*
8. *The role of pH on leaching of heavy metals and chlorides from electric arc furnace dust in cement-based mortars / Ledesma E.F. [et al.] // Construction and Building Materials. 2018. V. 183. 365–375 pp. (in English)*

9. *Chlorination Treatment for Gold Extraction from Refractory Gold-Copper-Arsenic-Bearing Concentrates / Dosmukhamedov N. [et al.] // Sustainability. 2022. No. 14. 1–14 pp. (in English)*
10. *Recovery of Zinc and Lead from Copper Smelting Slags by Chlorination Roasting / Guo X. [et al.] // JOM. 2021. V. 73. No. 6. 1861–1870 pp. (in English)*
11. *Gold recovery from electronic scrap waste by low-temperature chloridizing roasting / Zholdasbay E.E. [et al.] // Non-ferrous Metals. 2024. V. 1. 22–27 pp. (in English)*
12. *Behavior of gold and non-ferrous metals during low-temperature chlorination roasting of e-waste / Dosmukhamedov N. [et al.] // Metallurgist. 2024. No. 3. 1–9 pp. (in English)*

Сведения об авторах:

Жолдасбай Е.Е., Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» (г. Жезказган, Казахстан), zhte@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9925-4435>

Құрмансейтов М.Б., Ph.D, главный научный сотрудник кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), murat.kmb@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5008-2866>

Аргын А.А., Ph.D, доцент кафедры «Горное дело, металлургия и естествознание» (г. Жезказган, Казахстан), aidarargyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-5001-4687>

Досмухамедов Н.К., к.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлургия и обогащение полезных ископаемых» (г. Алматы, Казахстан), n.dosmukhamedov@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-1210-4363>

Авторлар туралы мәліметтер:

Жолдасбай Е.Е., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті (Жезказган қ., Қазақстан)

Құрмансейтов М.Б., Ph.D, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының бас ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Аргын А.А., Ph.D, «Тау-кен ісі, металлургия және жаратылыстану» кафедрасының доценті (Жезказган қ., Қазақстан)

Досмухамедов Н.К., т.ғ.к., профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Zholdasbay Ye.Ye., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Kurmansheytov M.B., Ph.D, Chief Researcher Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Argyn A.A., Ph.D, Associate Professor of the Department of Mining, Metallurgy and Natural Sciences (Zhezkazgan, Kazakhstan)

Dosmukhamedov N.K., Candidate of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Metallurgy and Mineral Processing (Almaty, Kazakhstan)

Рудник The Mine

22–24 октября 2025, Екатеринбург

10-я международная выставка современных технологий, оборудования и спецтехники для горнодобывающей промышленности

одна из крупнейших горных выставок в России

МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»
ЭКСПО-бульвар, дом 2
(342) 206-44-80

mine.proexpo.ru



официальная
поддержка:



Торгово-промышленная
палата Российской
Федерации



Правительство
Свердловской области



НП «Горнопромышленники
России»