

Код МРНТИ 53.37.13

Т. А. Чепуштанова¹, *Э. Ж. Алтмышбаева¹, Е. С. Меркибаев¹, Б. Мишра²¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²Вустерский политехнический институт (Вустер, Массачусетс, США)

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ХЛОРИДОВОЗГОНКИ ПИРИТНО-КОБАЛЬТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Аннотация. В работе представлен термодинамический анализ хлоридовозгонки пиритно-кобальтовых концентратов в широком интервале температур с целью прогнозирования селективности хлорирования основных металлов. На основе расчетов ΔG° , ΔH° , ΔS° и $\log K$ для ключевых реакций установлены температурные области формирования летучих хлоридов **Pb** и **Cu**, а также сохранения оксидной формы **Fe**, **Ni** и **Co**. Построены температурные зависимости термодинамических параметров и карта стабильности оксидно-хлоридных фаз. Показано, что переход **Pb** в газофазные хлориды начинается при 500–650 °С, меди – при 700–800 °С, тогда как железо, никель и кобальт сохраняют устойчивость вплоть до 900 °С и выше. Полученные результаты позволяют обосновать оптимальные температурные режимы хлоридовозгонки и прогнозировать селективность процесса при переработке пиритно-кобальтового сырья.

Ключевые слова: хлоридовозгонка, пиритно-кобальтовый концентрат, термодинамика, хлорирование металлов, оксидно-хлоридные фазы, свободная энергия, равновесие реакций, селективность, карта стабильности.

Пиритті-кобальтты концентраттарды хлоридті айдау процесін термодинамикалық болжау

Андатпа. Бұл жұмыста пиритті-кобальтты концентраттарды хлоридті айдау процесінің термодинамикалық талдауы ұсынылған. Негізгі металдардың хлорлану селективтілігін болжау мақсатында негізгі реакциялар үшін ΔG° , ΔH° , ΔS° және $\log K$ мәндері есептеліп, олардың температуралық өзгерістері анықталды. **Pb** мен **Cu** хлоридтерінің 500–650 °С аралығында, мыс хлоридінің 700–800 °С температурада түзілуі басым екені көрсетілді. **Fe**, **Ni** және **Co** оксидтік түрінде 900 °С және одан жоғары температураларда тұрақты болып қалады. Оксидті-хлоридті фазалардың тұрақтылық картасы құрылып, процесінің үш температуралық аймағы анықталды. Алынған нәтижелер пиритті-кобальтты шикізатты өңдеудің тиімді режимдерін негіздеуге және хлоридті айдау процесінің селективтілігін болжауға мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: хлоридті айдау, пиритті-кобальтты концентрат, термодинамика, металдардың хлорлануы, оксидті-хлоридті фазалар, бос энергия, реакция теңгерімі, селективтілік, тұрақтылық картасы.

Thermodynamic prediction of chloride volatilization processes of pyrite-cobalt concentrates

Abstract. This study presents a thermodynamic assessment of the chloride volatilization of pyrite-cobalt concentrates aimed at predicting the selective chlorination behavior of major metals. Temperature-dependent values of ΔG° , ΔH° , ΔS° and $\log K$ were calculated for key reactions, enabling the identification of temperature intervals responsible for the formation of volatile chlorides of **Pb** and **Cu**, as well as the persistence of **Fe**, **Ni** and **Co** in oxide form. Temperature trends of the thermodynamic parameters and a stability map of oxide-chloride phases were constructed. The results show that **Pb** begins forming gaseous chlorides at 500–650 °C, while **Cu** becomes reactive at 700–800 °C. **Fe**, **Ni** and **Co** remain thermodynamically stable as oxides up to 900 °C and above. These findings allow defining optimal temperature regimes and predicting the selectivity of the chloride volatilization process for pyrite-cobalt feed materials.

Key words: chloride volatilization, pyrite-cobalt concentrate, thermodynamics, metal chlorination, oxide-chloride phases, free energy, reaction equilibrium, selectivity, stability map.

Введение

Пиритно-кобальтовые концентраты относятся к сложным многокомпонентным системам, содержащим наряду с пиритом и кобальтсодержащими фазами значимые количества примесных металлов (**Pb**, **Cu**), которые затрудняют дальнейшую переработку и ухудшают качество целевых продуктов [1, 2, 8]. Одним из эффективных подходов к селективному удалению примесей является хлоридовозгонка – термическая обработка с участием хлоридсодержащих реагентов, приводящая к образованию летучих хлоридов и их переходу в газовую фазу [3, 4]. Несмотря на наличие работ, посвященных хлорированию пиритных огарков и различных техногенных материалов, поведение металлов именно в пиритно-кобальтовом сырье недостаточно изучено, а термодинамические закономерности представлены фрагментарно.

Термодинамическое прогнозирование позволяет оценить склонность металлов к хлорированию, определить температурные зоны, в которых возможно образование летучих хлоридов, и обосновать селективность удаления примесных компонентов [5, 6]. Для переходных металлов **Fe**, **Ni** и **Co** такие данные особенно важны, поскольку они могут образовывать различные оксидные и хлоридные фазы, но их летучесть существенно ниже по сравнению с **Pb** и **Cu** [6, 7]. Таким образом, системное изучение поведения ключевых металлов пиритно-кобальтовых концентратов в условиях высокотемпературного взаимодействия

с **CaCl₂** является актуальным как с научной, так и с практической точки зрения.

Цель работы – выполнить термодинамическое прогнозирование хлоридовозгонки пиритно-кобальтовых концентратов на основе анализа ΔG° , $\log K$ и характеристик стабильности оксидно-хлоридных фаз в интервале температур 600–1100 °С, а также определить селективные температурные зоны удаления примесных металлов [8].

Методы исследования

Термодинамические расчеты выполнены для модельной системы **Me-O-Cl-CaCl₂**, включающей оксидные формы **Pb**, **Cu**, **Fe**, **Ni** и **Co**, характерные для пиритно-кобальтового сырья после предварительного окислительно-го нагрева. Для каждого металла рассмотрены типовые реакции взаимодействия оксида с **CaCl₂** с образованием хлоридов соответствующей стехиометрии и **CaO** как побочного продукта. Расчеты выполнялись в программной среде HSC Chemistry в диапазоне температур 600–1100 °С с шагом 100 °С [3, 5].

В рамках анализа оценивались:

- стандартная энергия Гиббса ΔG° ;
- логарифм константы равновесия $\log K$;
- изменение энтальпии ΔH° и энтропии ΔS° ;
- устойчивость оксидных и хлоридных форм металлов.

Критериями предпочтительности хлоридообразования принимались отрицательные значения ΔG° и положитель-

ные значения $\log K$. Для интегральной оценки устойчивости оксидных и хлоридных форм металлов была построена качественная карта стабильности, отражающая температурные области, в которых оксиды теряют устойчивость и уступают место летучим хлоридам. Такой подход позволяет выявить общие тенденции поведения металлов в многокомпонентной системе и служит инструментом для анализа селективности процесса.

Результаты

Термодинамический анализ показал существенные различия в поведении металлов пиритно-кобальтовых концентратов при взаимодействии с CaCl_2 . Полученные зависимости $\Delta G^\circ(T)$, $\log K(T)$ и данные о фазовой устойчивости отражают выраженную селективность хлоридообразования, что позволяет выделить группы металлов по их склонности к переходу в летучие хлоридные формы.

Температурная зависимость ΔG° и термодинамическая вероятность реакций

Анализ кривых ΔG° показал, что реакции образования хлоридов **Pb** сопровождаются отрицательными значениями энергии Гиббса во всем исследованном температурном интервале.

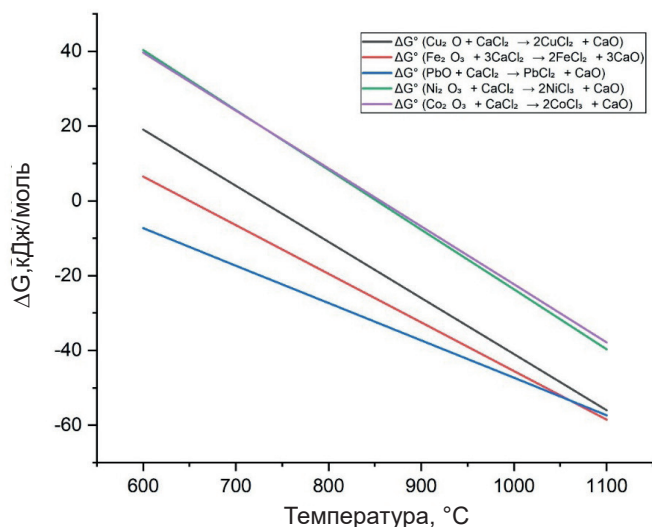


Рис. 1. Температурные зависимости стандартной энергии Гиббса ΔG° для реакций хлоридообразования Pb, Cu, Fe, Ni и Co.

Сурет 1. Pb, Cu, Fe, Ni және Co хлорид түзу реакциялары үшін ΔG° стандартты Гиббс энергиясының температуралық тәуелділігі.

Figure 1. Temperature dependence of the standard Gibbs energy ΔG° for chlorination reactions of Pb, Cu, Fe, Ni and Co.

Это подтверждает высокую термодинамическую вероятность их хлорирования уже при 600 °C. Для Cu переход ΔG° в отрицательную область наблюдается при температурах порядка 700–800 °C, что указывает на умеренную реакционную способность меди [1, 2, 3]. Оксиды **Fe**, **Ni** и **Co** характеризуются значительно более высокими значениями ΔG° ; отрицательные значения достигаются только

при $T \geq 900$ °C, что свидетельствует о низкой склонности этих металлов к хлоридообразованию в условиях хлоридовозгонки.

Изменение константы равновесия $\log K$ с температурой

Зависимости $\log K(T)$ демонстрируют согласованное с ΔG° распределение термодинамической вероятности процессов. Значения $\log K$ для **PbCl** положительны во всем исследованном интервале, что соответствует смещению равновесия в сторону образования летучих хлоридов. Для меди положительные значения $\log K$ достигаются при 700–800 °C, что соответствует переходу реакции в область термодинамической реализуемости.

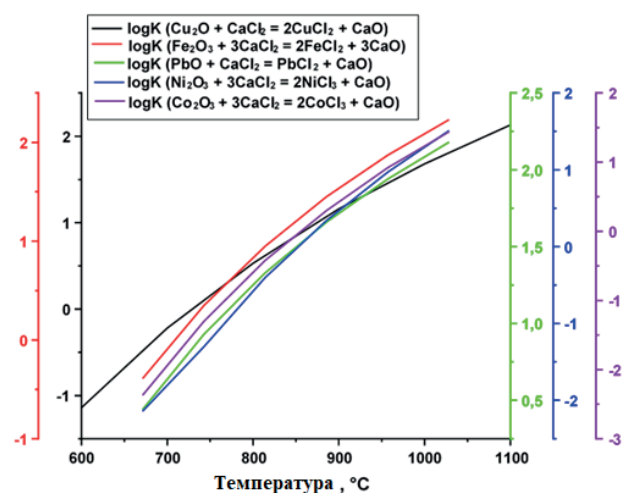


Рис. 2. Температурные зависимости логарифма константы равновесия $\log K$ для реакций хлорирования металлов.

Сурет 2. Металдардың хлорид түзу реакциялары үшін тепе-теңдік константасының логарифмі $\log K$ -нің температуралық өзгерісі.

Figure 2. Temperature variations of the equilibrium constant logarithm $\log K$ for metal chlorination reactions.

В противоположность этому реакции образования хлоридов железа, никеля и кобальта характеризуются $\log K < 0$ вплоть до высоких температур. Положительные значения фиксируются только в интервале выше 900 °C, но даже в этих условиях показатель остается значительно ниже по сравнению с **Pb** и **Cu**. Это подтверждает ограниченную способность переходных металлов к хлорированию и объясняет их сохранение в твердой фазе при хлоридовозгонке.

Сопоставление кривых $\log K$ позволяет упорядочить металлы по склонности к хлорированию в следующем виде: **Pb** → **Cu** → **Fe** → **Ni** → **Co**.

Эта последовательность отражает уменьшение термодинамической вероятности хлоридообразования и определяет селективность процесса [3, 4, 9].

Карта устойчивости оксидно-хлоридных фаз

Построенная карта стабильности оксидных и хлоридных форм металлов показывает, что в условиях хлоридирующей атмосферы оксиды **Pb** теряют устойчивость

первыми, переходя в газофазные хлориды. **Cu** занимает промежуточное положение, демонстрируя переходную область стабильности. **Fe**, **Ni** и **Co** сохраняют устойчивость оксидной формы вплоть до высокотемпературной зоны. Хлориды **Ni** и **Co** возможны термодинамически, однако их реальное образование ограничено конкурирующими процессами образования стабильных оксидных фаз [4, 6, 9].

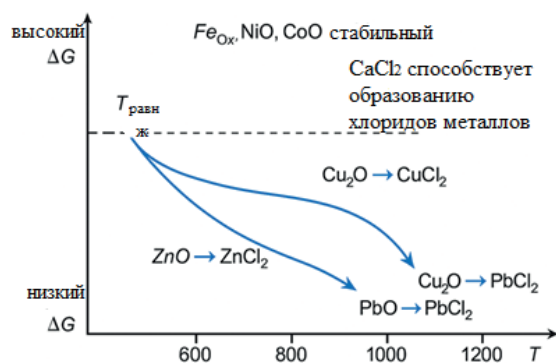


Рис. 3. Интегральная карта стабильности оксидных и хлоридных форм металлов в системе **Me-O-Cl**.

Сурет 3. **Me-O-Cl** жүйесіндегі металдардың оксидті және хлоридті формаларының тұрақтылығының интегралды картасы.

Figure 3. Integrated stability map of oxide and chloride forms of metals in the **Me-O-Cl** system.

Температурно-стадиальная характеристика процесса
Сопоставление термодинамических параметров позволяет выделить три характерные температурные зоны процесса:

- 500–650 °C – максимальная склонность **Pb** к образованию летучих хлоридов при минимальной реакции со стороны **Fe**, **Ni** и **Co**;
- 700–800 °C – начало хлорирования **Cu** при завершении перехода **Pb** и **Zn** в газовую фазу;
- ≥ 850–900 °C – область, в которой термодинамически возможны хлориды **Ni** и **Co**, но их образование в реальных условиях ограничено устойчивостью оксидов [1, 2, 3, 8].

Эти закономерности определяют селективную природу хлоридовозгонки и позволяют уточнить температурные режимы удаления примесных металлов.

Обсуждение

Полученные результаты согласуются с литературными данными, где отмечается преимущественная летучесть хлоридов свинца и меди при сравнительно низких температурах и повышенная устойчивость оксидов железа, никеля и кобальта [1, 3]. Характер температурных зависимостей ΔG° и $\log K$ подтверждает, что **Pb** и **Zn** являются наиболее реакционноспособными в хлоридизирующей среде, тогда как **Cu** демонстрирует умеренную склонность к хлорированию, проявляющуюся при более высоких температурах. Поведение **Fe**, **Ni** и **Co** определяется высокой стабильностью оксидных фаз и ограниченной термодинамической выгодностью образования их хлоридов [4, 6].

Селективность процесса объясняется различием в термодинамической устойчивости оксидов металлов и их хлоридов, а также различием в летучести образующихся

Таблица 1

Термодинамические параметры ключевых реакций хлоридовозгонки в характерных температурных зонах процесса

Кесте 1

Процестің сипаттамалық температуралық аймақтарындағы негізгі хлоридті сублимациялау реакцияларының термодинамикалық параметрлері

Table 1

Thermodynamic parameters of key chlorination reactions in the characteristic temperature zones of the process

Стадия	T, °C	Реакция	ΔH° , кДж/моль	ΔG° , кДж/моль	ΔS° , Дж/(моль·К)	K	$\log K$	Техническое решение
I стадия	500–650	$PbO + CaCl_2 \rightarrow PbCl_2 + CaO$	80	-7.32	100	2.7392	0.44	Режим предварительного хлорирования для вывода Pb и Zn в летучие хлориды при сохранении Fe , Co и Ni в твердом остатке; газоочистка и улавливание конденсатов PbCl₂ и ZnCl₂
II стадия	700–750	$Cu_2O + CaCl_2 \rightarrow 2CuCl_2 + CaO$	800	150	-10.97	3.4206	0.53	Селективное хлорирование меди; доочистка концентрата от остаточных Pb и Zn ; формирование оксидного остатка, обогащенного Fe , Co и Ni для последующей переработки
		$Fe_2O_3 + 3CaCl_2 \rightarrow 2FeCl_2 + 3CaO$	120	-6.51	130	2.2357	0.35	
III стадия	850–900+	$Ni_2O_3 + 3CaCl_2 \rightarrow 2NiCl_2 + 3CaO$	180	-7.70	160	2.2031	0.34	Высокотемпературная выдержка для структурирования оксидной матрицы (Fe₂O₃/Fe₃O₄ + оксиды Co , Ni); подготовка к дальнейшему восстановлению и получению пигментов при минимальных потерях ценных металлов
		$Co_2O_3 + 3CaCl_2 \rightarrow 2CoCl_2 + 3CaO$	175	-6.84	155	2.0160	0.30	

соединений. Хлориды **Pb** и **Cu** обладают высокой парциальной упругостью, что способствует их переходу в газовую фазу; хлориды **Fe**, **Ni** и **Co** менее летучи и формируются лишь в экстремальных условиях. Обобщенная карта стабильности позволяет интегрально оценить термодинамическое поведение металлов и служит инструментом для проектирования оптимальных режимов хлоридовозгонки.

Важно отметить, что термодинамическая возможность образования хлоридов **Ni** и **Co** не гарантирует их практической возгонки: реальные технологические условия ограничены кинетикой, временем выдержки и конкурирующими реакциями [8]. Это подтверждает, что пиритно-кобальтовые концентраты могут эффективно очищаться от **Pb** и **Cu** при минимальных потерях **Ni** и **Co**.

Заключение

Проведен термодинамический анализ поведения **Pb**, **Cu**, **Fe**, **Ni** и **Co** при хлоридовозгонке пиритно-кобальтовых концентратов в присутствии **CaCl₂**.

Установлено, что **Pb** переходит в летучие хлориды при 500–650 °С, **Cu** – при 700–800 °С, тогда как **Fe**, **Ni** и **Co** сохраняют оксидную форму вплоть до 900 °С и выше.

Построены температурные зависимости ΔG° и $\log K$, а также карта стабильности оксидно-хлоридных фаз, демонстрирующая различие в реакционной способности металлов.

Определены три характерные температурные зоны процесса, отражающие селективность хлорирования и позволяющие оптимизировать условия удаления примесных компонентов [10].

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и оптимизации технологических схем комплексной переработки пиритно-кобальтовых концентратов с селективным удалением токсичных примесных металлов и сохранением ценных компонентов в твердой фазе для дальнейшего получения железистоокисных пигментов и других продуктов.

Благодарность

Статья подготовлена в рамках грантового финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP23490117 «Разработка технологии комплексной переработки пиритных концентратов с получением железистоокисных пигментов и ультрадисперсных порошков металлов»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Qin H. и др. (2020). Пирит-усиленный хлоридизирующий обжиг и его эффективность при извлечении золота и серебра из хвостов золотодобычи. *Separation and Purification Technology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586620314509> (на английском языке)
2. Использование золотоносного и железосодержащего пиритного огарка посредством процесса хлорирования – волатилизации / J. Ding [и др.] // *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. – 2017. – Т. 24. – № 11. – С. 1241–1250 (на английском языке)
3. Zhang B. K. Механизм и кинетика хлоридизирующего обжига медеплавильного шлака // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2023. – Т. 33. – № 2. – С. 563–575 (на английском языке)
4. Извлечение металлов из железосодержащих хвостов горных работ методом хлоридизирующего обжига и водного выщелачивания / S. Pramanik [и др.] // *Waste Management Bulletin*. – 2024. – Т. 2. – № 2. – С. 113–121 (на английском языке)
5. Gao T. и др. (2025). Новый процесс хлоридизирующего обжига с **CaCl₂** для высокоэффективной очистки кварцевого песка. *Minerals*. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/11/1127> (на английском языке)
6. Zhao K., Gao F., Yang Q. Комплексный обзор металлургических процессов обогащения сульфидных никелевых руд // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2022. – Т. 8. – С. 37–50 (на английском языке)
7. Обзор процесса прямого восстановления – магнитной сепарации для производства ферроникеля из латеритных никелевых руд / W. Lui [и др.] // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2025. – Т. 11. – № 1. – С. 3–28 (на английском языке)
8. Cherushtanova T. и др. (2025). Разработка технологии переработки пирит-кобальтовых концентратов с получением пигментов состава **Fe₂O₃** и **Fe₃O₄**. *Metals*. <https://www.mdpi.com/2075-4701/15/8/886> (на английском языке)
9. Ge J. и др. (2022). Прогресс исследований хлоридизирующего обжига тяжелых металлов в твердых отходах. *Surfaces and Interfaces*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468023022002575> (на английском языке)
10. Nabashi F. (2021). Термодинамические основы хлоридизирующего обжига и селективного извлечения металлов из минерального сырья и техногенных материалов. *Processes*. <https://www.mdpi.com/journal/processes> (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Qin H. және т. б. (2020). Алтын өндіру қалдықтарынан алтын мен күмісті алуға пиритпен күшейтілген хлоридизирлеуші күйдірудің тиімділігі. *Separation and Purification Technology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586620314509> (ағылшын тілінде)

2. Хлорлау – ұшпалау процесі арқылы алтынқұрамды және темірге бай пирит оғарогын пайдалану / J. Ding [және т. б.] // *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. – 2017. – Т. 24. – № 11. – Б. 1241–1250 (ағылшын тілінде)
3. Zhang B. K. Мыс балқыту илағын хлоридизирлеуші күйдірудің механизмі мен кинетикасы // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2023. – Т. 33. – № 2. – Б. 563–575 (ағылшын тілінде)
4. Темірге бай кен қалдықтарынан металдарды хлоридизирлеуші күйдіру және сумен шаймалау арқылы алу / S. Pramanik [және т. б.] // *Waste Management Bulletin*. – 2024. – Т. 2. – № 2. – Б. 113–121 (ағылшын тілінде)
5. Gao T. және т. б. (2025). Кварц құмын жоғары тиімді тазартуға арналған CaCl_2 негізіндегі жаңа хлоридизирлеуші күйдіру процесі. *Minerals*. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/11/1127> (ағылшын тілінде)
6. Zhao K., Gao F., Yang Q. Никель сульфидті кендерін металлургиялық байыту процесі бойынша кешенді шолу // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2022. – Т. 8. – Б. 37–50 (ағылшын тілінде)
7. Латеритті никель кендерінен ферроникель өндіруге арналған тікелей тотықсыздандыру – магниттік бөлу процесіне шолу / W. Lui [және т. б.] // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2025. – Т. 11. – № 1. – Б. 3–28 (ағылшын тілінде)
8. Chepushtanova T. және т. б. (2025). Fe_2O_3 және Fe_3O_4 құрамды пигменттер алу мақсатында пирит-кобальт концентраттарын өңдеу технологиясын әзірлеу. *Metals*. <https://www.mdpi.com/2075-4701/15/8/886> (ағылшын тілінде)
9. Ge J. және т. б. (2022). Қатты қалдықтардағы ауыр металдарды хлоридизирлеуші күйдіру бойынша зерттеулердің дамуы. *Surfaces and Interfaces*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468023022002575> (ағылшын тілінде)
10. Habashi F. (2021). Минералдық шикізат пен техногендік материалдардан металдарды селективті алу үшін хлоридизирлеуші күйдірудің термодинамикалық негіздері. *Processes*. <https://www.mdpi.com/journal/processes> (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Qin H. et al. (2020). Pyrite enhanced chlorination roasting and its efficacy in gold and silver recovery from gold tailing. *Separation and Purification Technology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586620314509> (in English)
2. Utilization of gold-bearing and iron-rich pyrite cinder via a chlorination – volatilization process / J. Ding et al. // *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. – 2017. – Vol. 24. – No. 11. – P. 1241–1250 (in English)
3. Zhang B. K. Mechanism and kinetics for chlorination roasting of copper smelting slag // *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. – 2023. – Vol. 33. – No. 2. – P. 563–575 (in English)
4. Extraction of metal values from iron-rich mine tailings via chloridized roasting and water leaching / S. Pramanik et al. // *Waste Management Bulletin*. – 2024. – Vol. 2. – No. 2. – P. 113–121 (in English)
5. Gao T. et al. (2025). A novel CaCl_2 chlorination roasting process for high-efficiency purification of quartz sand. *Minerals*. <https://www.mdpi.com/2075-163X/15/11/1127> (in English)
6. Zhao K., Gao F., Yang Q. Comprehensive review on metallurgical upgradation processes of nickel sulfide ores // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2022. – Vol. 8. – P. 37–50 (in English)
7. A Review of Direct Reduction – Magnetic Separation Process for Ferronickel Production from Nickel Laterite / W. Lui et al. // *Journal of Sustainable Metallurgy*. – 2025. – Vol. 11. – No. 1. – P. 3–28 (in English)
8. Chepushtanova T. et al. (2025). Development of technology for processing pyrite – cobalt concentrates to obtain pigments of the composition Fe_2O_3 and Fe_3O_4 . *Metals*. <https://www.mdpi.com/2075-4701/15/8/886> (in English)
9. Ge J. et al. (2022). Research progress of chlorination roasting of heavy metals in solid waste. *Surfaces and Interfaces*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468023022002575> (in English)
10. Habashi F. (2021). Thermodynamic fundamentals of chlorination roasting and selective metal recovery from mineral and secondary resources. *Processes*. <https://www.mdpi.com/journal/processes> (in English)

Сведения об авторах:

Чепуштанова Т. А., доктор Ph.D, профессор, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), t.chepushtanova@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-6526-0044>

Алтымышбаева Ә. Ж., ст. преподаватель, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), a.altmyshbayeva@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0002-4483-4635>

Меркібаев Е. С., Ph.D, ст. преподаватель, кафедра «МиОПИ», Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), e.merkibayev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0003-3869-6835>

Бражendra М., профессор, директор Института обработки металлов, Вустерский политехнический институт (г. Вустер, США), bmishra@wpi.edu; <https://orcid.org/0000-0001-7897-1817>

Авторлар туралы мәліметтер:

Чепуштанова Т. А., Ph.D, профессор, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Алтымышбаева Ә. Ж., т. ғ. м., аға оқытушы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Меркібаев Е. С., Ph.D, аға оқытушы, «Металлургия және пайдалы қазбаларды байыту» кафедрасы, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Бражendra М., профессор, Металл өңдеу институтының директоры, Вустер политехникалық институты (Вустер қ., АҚШ)

Information about the authors:

Chepushtanova T. A., Ph.D, Professor, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Altmyshbayeva A. Zh., Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Merkibayev Y. S., Ph.D, Senior Lecturer, Department of Metallurgy and Mineral Processing, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Brajendra M., Professor, Director of the Metal Processing Institute, Worcester Polytechnic Institute (Worcester, Massachusetts, USA)



ГОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РОССИЯ

www.techmining.ru

8-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И
ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

15 сентября
2026

Москва

Swissôtel Красные Холмы Москва

