

INVESTIGATION OF RARE AND RARE-EARTH ELEMENTS LEACHING PROCESSES FROM THE WEATHERING CRUST ORES OF THE KUNDYBAY DEPOSIT

R.R. Tokpayev*, T.N. Khavaza, Z.T. Ibraimov, E.B. Tassemen,
B.B. Zhaksybay, A.R. Ishkenov, M.K. Naurzybaev

Center of physical-chemical methods of research and analysis of al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Republic of Kazakhstan

*E-mail: ibraimov.zair@mail.ru

Abstract. *Introduction.* The weathering crust ore of the Kundybay deposit is a hard-enriched ore that contains such minerals as chertite, bastnesite, kaolinite, etc., which are embedded in the matrix structure of other silicate rocks. These minerals contain rare earth (RE) and rare earth elements (REE). The multi-component structure and dense packing of minerals in the aluminosilicate matrix of the ore make it difficult to be blocking out. Determination of the optimal ore blocking method in order to extract RE and REE is an urgent task for today. The purpose of this work is to develop an effective method of leaching RE, REE and "white soot" from the weathering crust ores of the Kundybay deposit. *Methods.* Processing with soluble ammonium, magnesium and aluminium salts will allow estimation of the state of RE and REE in the ore. The indicator of RE and REE blocking out during leaching with sodium hydroxide is the transfer of silica into solution, due to which RE and REE form their own hydroxides, which can be subsequently transferred into solution by acid treatment. Acid leaching with sodium pyrosulfite, hydrofluoric acid and sulfuric acid will allow the RE and REE to be immediately transferred into solution. *Results and Discussion.* The main characteristics of the Kundybay deposit weathering crust ore were determined, such as: silica content, moisture content, base metals, RE and REE. *Conclusion.* The degree of extraction of RE and REE by soluble salts of ammonium, magnesium and aluminium did not exceed 2%, which indicates the existence of RE and REE in the form of their own minerals. Leaching with sodium hydroxide showed low recovery of silica, with RE and REE remaining in a difficult-to-recover form. Leaching with a mixture of sodium pyrosulfite, hydrofluoric and sulfuric acids is a promising method for RE and REE recovery due to the complex effect of the components of this mixture.

Key words: weathering crust, leaching, sulfuric acid, hydrochloric acid, sodium hydroxide, silicon dioxide, rare and rare-earth metals.

Rustam Rishatovich Tokpayev

PhD, Acting Associate Professor, Leading Scientific
Researcher, Acting Director of CPCMR of al-Farabi
KazNU; E-mail: rustamtokpaev@mail.ru

Tamina Narimanovna Khavaza

PhD Candidate, Scientific Researcher;
E-mail: k.tamina@mail.ru

Zair Tairovich Ibraimov

PhD Candidate, Scientific Researcher; E-mail:
ibraimov.zair@mail.ru

Citation: R.R. Tokpayev, T.N. Khavaza, Z.T. Ibraimov. Investigation of rare and rare-earth elements leaching processes from the weathering crust ores of the Kundybay deposit. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 3(87), 134-144. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.39>

<i>Erasyl Bekbolatuly Tasemen</i>	<i>2nd course Master's student; E-mail: tasemenyerassyl@gmail.com</i>
<i>Bagashar Bakhytuly Zhaksybay</i>	<i>2nd course Master's student; E-mail: bagazhaksybay@gmail.com</i>
<i>Anvar Rahimovich Ishkenov</i>	<i>Candidate of chemical sciences, Leading Scientific Researcher; E-mail: en.ishkenov@gmail.com</i>
<i>Mikhail Kasymovich Nauryzbayev</i>	<i>Doctor of technical sciences., Professor, Chief Scientific Researcher; E-mail: nauryzbaev@cfhma.kz</i>

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ РУД КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУНДЫБАЙ

Р.Р.Токпаев, Т.Н. Хаваза, З.Т. Ибраимов, Е.Б. Тасемен, Б.Б. Жақсыбай,
А.Р. Ишкенов, М.К. Наурызбаев*

*Центр физико-химических методов исследования и анализа КазНУ имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан
E-mail: ibraimov.zair@mail.ru

Резюме. *Введение.* Руда коры выветривания месторождения Кундыбай является труднообогатимой рудой, в составе которой присутствуют такие минералы, как черчит, бастнезит, каолинит и др., которые вкраплены в матричную структуру других силикатных пород. Эти минералы содержат редкие (РЭ) и редкоземельные элементы (РЗЭ). Многокомпонентная структура и плотная упаковка минералов в алюмосиликатной матрице руды делают ее труднодоступной. Определение оптимального метода вскрытия данной руды с целью извлечения РЭ и РЗЭ является актуальной задачей на сегодняшний день. *Целью настоящей работы* является разработка эффективного метода выщелачивания РЭ, РЗЭ и «белой сажки» из руд коры выветривания месторождения Кундыбай. *Методы.* Обработка с растворимыми солями аммония, магния и алюминия позволит оценить состояние РЭ и РЗЭ в руде. Кислотное выщелачивание с пиросульфитом натрия, плавиковой и серной кислотами позволит сразу перевести РЭ и РЗЭ в раствор. *Результаты и обсуждение.* Определены основные характеристики руды коры выветривания месторождения Кундыбай, такие как: содержание кремнезёма, влаги, основных металлов, РЭ и РЗЭ. *Заключение.* Степень извлечения РЭ и РЗЭ растворимыми солями аммония, магния и алюминия не превысило 2%, что свидетельствует о существовании РЭ и РЗЭ в виде собственных минералов. Выщелачивание смесью, состоящей из пиросульфита натрия, плавиковой и серной кислот является многообещающим способом извлечения РЭ и РЗЭ благодаря комплексному воздействию компонентов данной смеси.

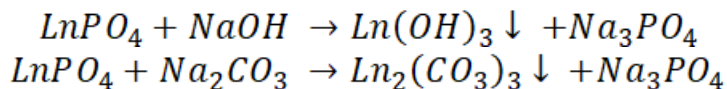
Ключевые слова: кора выветривания, выщелачивание, серная кислота, соляная кислота, гидроксид натрия, диоксид кремния, редкие и редкоземельные металлы.

<i>Рустам Ришатович Токпаев</i>	<i>PhD, ВНС, и.о. директора ЦФХМА КазНУ им. аль-Фараби</i>
<i>Тамина Наримановна Хаваза</i>	<i>постдокторант, НС</i>
<i>Заир Таирович Ибраимов</i>	<i>постдокторант, НС</i>
<i>Ерасыл Бекболатулы Тасемен</i>	<i>магистрант 2 курса</i>
<i>Бағашар Бахытулы Жақсыбай</i>	<i>магистрант 2 курса</i>
<i>Анвар Рахимович Ишкенов</i>	<i>кандидат химических наук, ВНС</i>
<i>Михаил Касымович Наурызбаев</i>	<i>доктор технических наук, профессор, ГНС</i>

1. Введение

Месторождение Кундыбай является одним из главных месторождений редких (РЭ) и редкоземельных элементов (РЗЭ) в Казахстане и Центральной Азии. Руда коры выветривания месторождения Кундыбай представляет собой сложную минералогическую структуру, которая состоит из таких минералов, как: кварц, черчит, бастнезит, каолинит, и др. [1] Содержание РЗЭ в данной руде довольно низкое (не более 0.04% масс.). Исследования подтверждают, что РЭ и РЗЭ могут быть вкраплены в матричную структуру глинистых руд [2]. В связи с этим, применяемые в металлургии методы обогащения (флотация, магнитное обогащение и др.) являются крайне малоэффективными [3]. Так, например, содержание РЗЭ в обогащенной ионно-сорбционным методом руде составило 70.4 %, а гравитационным – 32.4 % [4]. В случае, когда РЗЭ находятся в адсорбционно-связанном состоянии, их можно извлечь путем обработки руды растворами солей щелочных, щелочноземельных металлов, аммония, алюминия и др. Извлечение основано на обменном механизме, при котором ионы металлов замещают ионы РЗЭ в глинистой структуре руды. Так, например, авторы в работе [5] при обработке смесью $MgSO_4/CaCl_2$ извлечение РЗЭ составило 95%. Традиционные методы вскрытия РЭ и РЗЭ в рудах схожего по их количественному содержанию с рудой коры выветривания месторождения Кундыбай достигают 80-90% степени извлечения [6-13].

Также имеется альтернативный метод извлечения РЗЭ, при котором концентрат руды месторождения Кундыбай подвергается обработке смесью $NaOH$ и Na_2CO_3 . Этот метод предполагает, что $NaOH$ при воздействии на руду разрушает структуру силикатов, формируя растворимый Na_2SiO_3 . После разрушения структуры силикатов, $NaOH$ и Na_2CO_3 взаимодействуют с фосфатами РЗЭ, образуя их нерастворимые гидроксиды и карбонаты. Для извлечения РЗЭ из кека использовались неорганические кислоты. Данная технология позволяет извлекать РЗЭ на 90-97% [9]. Химические реакции в этом процессе можно представить следующими уравнениями:



Также в работе [10] описан метод спекания бокситовых остатков с $NaOH$ при температуре 950 °С с получением металлов и шлака из спека, который позволяет извлечь большинство РЗЭ дальнейшей обработкой шлака неорганическими кислотами. Степень извлечения РЗЭ и титана из прокаленного шлака с HCl составила более 90%.

Основным параметром, характеризующим эффективность метода обработки руды с $NaOH$, является степень извлечения кремния, так как раствор $NaOH$ переводит SiO_2 в силикатную форму, тогда как минералы РЗЭ переходят в более легковскрываемую форму – гидроксиды РЗЭ.

В настоящий момент недостаточно данных по переработке руды коры выветривания месторождения Кундыбай. Вышеприведенные работы относятся либо к концентрату РЗЭ месторождения Кундыбай, либо к рудам, схожим по составу. Целью исследования является разработка эффективного метода извлечения редких и редкоземельных металлов из бедной руды коры выветривания месторождения Кундыбай.

2. Экспериментальная часть

В настоящей работе использованы следующие материалы: пиросульфит натрия, 98.9% (ГОСТ 11683-76), серная кислота 96.3% (ГОСТ 2184-77), соляная кислота 36% (ГОСТ 3118-77), плавиковая кислота 45% (ГОСТ 10484-78), гидроксид натрия 99% (ГОСТ 4328-77), карбонат натрия 99,8% (ГОСТ 83-79).

Объектом исследования является руда коры выветривания месторождения Кундыбай. Фракционный состав руды определили с помощью ситового анализа (ГОСТ 24598-81). Влажность руды определена согласно методу, указанному в ГОСТ 12764-73.

Для определения содержания SiO_2 использован метод спекания с Na_2CO_3 с последующей обработкой спека HCl . Условия спекания: 40 минут при температуре 800 °С.

Для определения содержания РЭ, РЗЭ и основных металлов в исходной руде, использованы два метода выщелачивания: автоклавное (АВ) и в простых (ПВ) условиях. При АВ использована смесь кислот: HCl , HNO_3 и HF . Условия АВ: $T = 110^\circ\text{C}$, время 30 минут (+10 минут для нагревания и охлаждения). При ПВ использована смесь концентрированных кислот HCl , H_2SO_4 , и HNO_3 , с последующей обработкой HF для удаления кремния. Содержание металлов определено с помощью атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) (Shimadzu AA-6200) и масс-спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) (ICP-MS Agilent 7500 Series).

С целью проверки гипотезы о состоянии РЗЭ и РЭ в руде месторождения Кундыбай проведена обработка растворимыми солями $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, MgSO_4 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Условия проведения процесса: продолжительность процесса 1 ч, концентрации солей 2%, комнатная температура, соотношение Ж:Т=10, скорость перемешивания 180 об/мин, рН=4.

Для разработки эффективного метода извлечения РЭ и РЗЭ был изучен процесс выщелачивания со смесями неорганических кислот и солей. Проведено кислотное выщелачивание со следующими реагентами: H_2SO_4 50 г/л, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 20 г/л и HF 3 г/л; HCl 100 г/л; H_2SO_4 100 г/л. Условия выщелачивания: комнатная температура, скорость перемешивания – 240 об/мин, продолжительность – 2 часа. Полученные продуктивные растворы проанализированы на содержание РЗЭ и РЭ методом ИСП-МС, а содержание SiO_2 определено спектрофотометрическим методом. Опыты по

выщелачиванию проведены в термостойких химических стаканах объемом 100 мл на электромагнитной мешалке с подогревом IKA RCT basic.

3. Результаты и обсуждение

Согласно результатам ситового анализа, представленных в таблице 1 частицы руды в основном представлены фракциями от 0.8 до 1 мм (17.4%) и от 0.071 до 0.1 мм (20.5%), что относится к среднекрупному и тонкозернистому помолу. Содержание влаги составило $1.17 \pm 0.01\%$. Макроэлементами в руде Кундыбайского месторождения являются цинк, железо, магний и калий, содержание которых превышает более 1000 ppm (таблица 2). Суммарное содержание РЭ $\sim 0.3\%$, тогда как РЗЭ $\sim 0.04\%$, что согласуется с данными, приведенными в работе [6]. Максимальное содержание РЭ и РЗЭ (в ppm): титан 2380.9 ± 7.0 , ванадий 108.3 ± 0.2 , иттрий 52.2 ± 0.1 , лантан 55.2 ± 0.2 , церий 116.2 ± 0.5 , неодим 61.2 ± 0.2 (Таблицы 3, 4). Данный тип руды по содержанию РЭ и РЗЭ относится к бедным. Высокое содержание SiO_2 ($61.31 \pm 0.22\%$) и алюминия ($6.1 \pm 0.02\%$) подтверждает, что месторождение Кундыбай представлено преимущественно глинистыми (алюмосиликатными) рудами.

Таблица 1 – Ситовой анализ руды месторождения Кундыбай

№ сита	Размер фракции, мм	Масса фракции, г	Содержание фракции, %	Размер фракции, мм	Масса фракции, г	Содержание фракции, %
1	-0.04	28.5	2.1	+0.5-0.7	28.4	2.1
2	+0.04-0.063	26.3	1.9	+0.7-0.8	129.5	9.4
3	+0.063-0.071	21.6	1.6	+0.8-1	239.1	17.4
4	+0.071-0.1	282.5	20.5	+1-2	60.7	4.4
5	+0.1-0.25	109.2	7.9	+2-3	45.3	3.3
6	+0.25-0.315	83.2	6.0	+3-5	46.5	3.4
7	+0.315-0.4	135.6	9.8	+5	11.8	0.9
8	+0.4-0.5	128.4	9.3			

Таблица 2 – Содержание основных металлов в руде Кундыбайского месторождения методом ААС

№ п/п	Содержание Me, ppm						
	Zn	Cu	Au	Ag	Fe	Cd	Pb
1	2841.2 \pm 7.1	202.2 \pm 10.6	33.1 \pm 1.2	210.3 \pm 5	2352.6 \pm 5.7	9.1 \pm 0.1	7.2 \pm 0.3
2	149.2 \pm 0.4	61.3 \pm 0.4	36.4 \pm 0.6	39.3 \pm 0.7	2097.4 \pm 4.6	5.1 \pm 0.1	40.1 \pm 0.4
	Ca	Mg	K	Na	Co	Ni	Mn
1	12.6 \pm 0.1	1426.3 \pm 5.1	2054.5 \pm 6.2	430.1 \pm 7.2	35.5 \pm 1.2	92.1 \pm 2.5	471.2 \pm 2.1
2	8.1 \pm 0.2	1852.1 \pm 30.3	1873.1 \pm 2.2	490.2 \pm 3.1	29.1 \pm 0.3	118.1 \pm 0.6	640.4 \pm 10.3

Таблица 3 – Содержание алюминия, РЭ и РЗЭ в руде Кундыбайского месторождения методом ИСП-МС

№ п/п	Содержание Me, ppm				
	Al	Sc	Ti	V	Ga
1	61404.7±159.3	22.9±0.1	2380.9±7.0	108.3±0.2	34.6±0.1
2	44737.3±156.2	14.8±0.5	2077.2±5.7	89.5±0.2	17.6±0.1
	Y	Zr	Nb	Mo	Ru/ Rh
1	52.2±0.1	23.1±0.01	7.0±0.02	1.3±0.006	н/о
2	44.1±0.1	24.1±0.04	7.6±0.01	0.8±0.003	н/о
	In	La	Ce	Pr	Nd
1	0.7±0.001	55.2±0.2	116.2±0.5	16.1±0.05	61.2±0.2
2	1.0±0.01	47.9±0.1	108.1±0.3	14.4±0.02	52.6±0.1
	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
1	10.1±0.1	4.3±0.01	7.6±0.04	2.5±0.01	8.5±0.04
2	11.3±0.02	3.6±0.005	9.1±0.02	2.0±0.003	8.5±0.02
	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	2.8±0.01	4.6±0.02	2.0±0.003	4.3±0.01	2.2±0.002
2	2.3±0.004	5.0±0.01	1.3±0.002	4.5±0.01	1.4±0.002
	Hf	Ta	W	Re	Ir
1	0.1±0.002	0.6±0.003	52.9±2.4	3.5±0.1	н/о
2	0.7±0.001	0.9±0.003	25.8±0.2	н/о	н/о

Таблица 4 – Суммарное содержание РЭ и РЗЭ в руде Кундыбайского месторождения методом ИСП-МС

№ п/п	Суммарное содержание Me, ppm	
	РЭ	РЗЭ
1	2612.9	372.7
2	2245.3	331.0

**Примечание. 1 - автоклавное выщелачивание, 2- выщелачивание в простых условиях в таблицах 2,3 и 4*

Таблица 5 – Суммарная степень извлечения РЭ и РЗЭ из руды коры выветривания месторождения Кундыбай при выщелачивании с $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, Mg SO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

№ пп	Наименование компонента	Суммарная степень извлечения, %	
		РЗЭ	РЭ
1	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$(2.2\pm 0.09) \cdot 10^{-4}$	$(7.0\pm 0.2) \cdot 10^{-4}$
2	MgSO_4	-	$(6.8\pm 0.1) \cdot 10^{-4}$
3	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1.2±0.004	$(1.0\pm 0.01) \cdot 10^{-3}$

Исходя из результатов, полученных при выщелачивании растворами солей (Таблица 5), суммарная степень извлечения не превышает $1 \cdot 10^{-4}\%$.

Можно сделать вывод, что РЗЭ и РЭ не находятся в адсорбционно-связанном состоянии, а наоборот образуют свои собственные минералы.

Выщелачивающая смесь, состоящая из H_2SO_4 50 г/л, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 20 г/л и HF 3 г/л, показала обнадеживающие результаты (Таблица 6). Выбор компонентов выщелачивающей смеси обоснован природой соединений, входящий в ее состав. Так, H_2SO_4 служит основным агентом для разрушения алюминатов и фосфатов [14], $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ в кислой среде образует активные центры со свободными электронными парами, выступающими в роли доноров электронов [15], тогда как ионы РЭ и РЗЭ, будучи в ионном виде являются акцепторами образуют устойчивые соединения с $\text{S}_2\text{O}_5^{2-}$, HF служит агентом для разрушения силикатной структуры руды [16]. Можно отметить, что данной выщелачивающей смесью извлекаются преимущественно РЗЭ тяжелой группы (Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm), тогда как легкая группа (Y, La, Ce, Pr, Nd) извлекаются не более чем на 64,4%.

Таблица 6 – Степень извлечения РЭ и РЗЭ при выщелачивании с H_2SO_4 50 г/л, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 20 г/л и HF 3 г/л

№ п/п	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %
1	Al	35.2±1.2	Ru/ Rh	н/о	Tb	91.2±1.1
2	Sc	19.3±0.9	Y	28.02±1.0	Dy	34.2±2.5
3	Ti	14.2±0.5	La	35.9±1.6	Ho	90.9±0.6
4	V	24.0±1.0	Ce	35.2±1.6	Er/Eu	н/о
5	Ga	14.4±0.4	Pr	48.6±1.4	Tm	92.7±0.5
6	Zr	4.3±0.3	Nd	34.01±1.0	Ta/Hf	н/о
7	Nb/In	н/о	Sm	61.7±1.8	W	н/о
8	Mo	14.8±0.4	Gd	64.4±2.3	Re	н/о

Выщелачивающий агент – H_2SO_4 100 г/л показал относительно высокие результаты по сравнению с предыдущим составом, но при этом степень извлечения РЭ в три раза меньше (Таблица 7). Такая природа поведения может быть объяснена образованием малорастворимых двойных сульфатов РЭ и РЗЭ.

Выщелачивающий агент – HCl 100 г/л, показал соизмеримые результаты по сравнению с вышеприведенными составами, однако такая высокая концентрация способствует интенсивному развитию коррозионных процессов технологического оборудования (Таблица 8).

Таблица 7 – Степень извлечения РЭ и РЗЭ при выщелачивании H_2SO_4 100 г/л

№ п/п	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %
1	Al	8.7±0.7	Ru/ Rh	н/о	Tb	84.8±1.3
2	Sc	н/о	Y	37.8±0.5	Dy	47.0±2.8
3	Ti	3.8±0.6	La	44.2±1.8	Ho	91.1±2.3
4	V	10.8±1.1	Ce	39.8±1.6	Er/Eu	н/о
5	Ga	7.1±0.5	Pr	68.1±1.2	Tm	н/о
6	Zr	3.0±0.3	Nd	43.6±2.1	Ta/Hf	н/о
7	Nb/In	н/о	Sm	73.0±2.1	W	н/о
8	Mo	22.6±2.2	Gd	76±1.3	Re	н/о

Таблица 8 – Степень извлечения РЭ и РЗЭ при выщелачивании HCl 100 г/л

№ п/п	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %	Металл	Степень извлечения, %
1	Al	7.5±0.7	Ru/ Rh	н/о	Tb	94.7±0.7
2	Sc	10.7±0.3	Y	34.3±0.7	Dy	48.5±0.4
3	Ti	5.1±0.1	La	45.2±0.7	Ho	98.3±0.9
4	V	14.8±0.5	Ce	33.8±0.1	Er/Eu	н/о
5	Ga	25.9±0.4	Pr	58.2±0.2	Tm	н/о
6	Zr	0.9±0.1	Nd	37.9±0.9	Ta/Hf	н/о
7	Nb/In	н/о	Sm	95.7±0.7	W	н/о
8	Mo	15.7±0.4	Gd	97.1±0.6	Re	н/о

Таблица 9 – Суммарное извлечение РЭ и РЗЭ

№	Выщелачивающий агент	Суммарное извлечение РЭ, %	Суммарное извлечение РЗЭ, %
1	$H_2SO_4 + Na_2S_2O_5 + HF$	14.2±0.5	35.4±1.3
2	HCl, 100 г/л	5.5±0.1	37.9±0.4
3	H_2SO_4 , 100 г/л	4.2±0.6	42.1±1.1

Как видно по результатам таблицы 9, РЭ извлекаются преимущественно выщелачивающей смесью №1, тогда как РЗЭ - №3. Более того, степень извлечения РЗЭ выщелачивающей смесью №3 на 15.9 % больше, чем выщелачивающей смесью №1. Результаты настоящего исследования подтверждают, что выщелачивающая смесь № 1 является приемлемой, но требует дальнейшей оптимизации условий выщелачивания (длительность процесса, соотношение Ж:Т и др.) В работе [17] авторы оптимизировали процесс выщелачивания РЗЭ осадочной руды раствором

H₂SO₄. Установлено, что суммарная степень извлечения РЗЭ не превысила 30%, тогда как предварительный обжиг руды привел повышение степени извлечения до 81.37%.

4. Заключение

Несмотря на то, что кора выветривания месторождения Кундыбай содержит в себе каолин, в структуре которого располагаются атомы РЗЭ, что относит руды данного типа к ионно-адсорбционным глинам, и позволяет извлекать ионы РЗЭ растворами солей, обработка руды растворами (NH₄)₂SO₄, MgSO₄ и Al₂(SO₄)₃ показало крайне низкое суммарное извлечение, не превышающего 2%, что свидетельствует о существовании РЗЭ и РЭ в виде собственных минералов.

На основе проведенных исследований можно сделать вывод о том, что выщелачивающая смесь следующего состава: H₂SO₄ 50 г/л, Na₂S₂O₅ 20 г/л, HF 3 г/л является наиболее оптимальной для вскрытия руды коры выветривания месторождения Кундыбай. Суммарное извлечение РЭ составило 14.2±0.5%, РЗЭ – 42.1±1.1%.

Финансирование: Настоящая работа выполнена в Центре физико-химических методов исследования и анализа КазНУ им. аль-Фараби по программе целевого финансирования научных исследований на 2022–2024 гг., осуществляемого Комитетом науки МНВО РК, по программе BR18574219 «Разработка экологически безопасных технологий получения инновационной продукции из природного и техногенного сырья Казахстана».

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ҚҰНДЫБАЙ КЕН ОРНЫНЫҢ МҮЖІЛУ ҚЫРТЫСЫНЫҢ КЕНДЕРІНЕН СІРЕК ЖӘНЕ СІРЕК ЖЕР ЭЛЕМЕНТТЕРІН ШАЙМАЛАУ ҮДЕРІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Р.Р.Токпаев, Т.Н. Хаваза, З.Т. Ибраимов, Е.Б. Тасемен, Б.Б. Жақсыбай, А.Р. Ишкенов, М.К. Наурызбаев*

¹Эл-Фараби атындағы ҚазҰУ физика-химиялық зерттеу және талдау әдістері орталығы, Алматы, Қазақстан

*E-mail: ibraimov.zair@mail.ru

Түйіндемe. *Кіріспе.* Құндыбай кен орнының мүжілу қыртысының кені байытылғыштығы қиын, құрамында басқа силикатты жыныстарының матрицалық құрылымына қиылысқан черчит, бастнезит, каолинит және т.б. минералдар бар кен болып табылады. Бұл минералдарда сирек (СЭ) және сирек жер элементтері (СЖЭ) бар. Кеннің алюмосиликат матрицасындағы минералдардың көп компонентті құрылымы мен тығыз қаптамасы оны ашуды қиындатады. СЭ және СЖЭ алу мақсатында осы кенді ашудың оңтайлы әдісін анықтау бүгінгі таңда өзекті міндет болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты Құндыбай кен орнының мүжілу қыртысының кендерінен СЭ, СЖЭ және "ақ күйені" шаймалаудың тиімді әдісін әзірлеу болып табылады. *Әдістері.* Натрий гидроксидімен шаймалау кезінде СЭ және СЖЭ ашудың индикаторы кремний диоксидінің ерітіндіге ауысуы болып табылады, соның арқасында СЭ және СЖЭ өздерінің гидроксидтерін түзеді, оларды кейіннен қышқылдармен өңдеу арқылы ерітіндіге ауыстыруға болады. Натрий пиросульфитімен, фторлы және күкірт қышқылдарымен қышқылды шаймалау СЭ мен СЖЭ бірден ерітіндіге айналдыруға мүмкіндік береді. *Нәтижелер және талқылау.* Құндыбай кен орнының мүжілу қыртысының кенінің негізгі сипаттамалары анықталды, мысалы: кремний диоксиді, ылғал, негізгі металдар, СЭ және СЖЭ. *Қорытынды.* Натрий гидроксидімен шаймалау кремний

диоксидінің төмен шығарылуын көрсетті, онда СЭ және СЖЭ ашылуы қиын күйде қалады. Натрий пиросульфитінен, фторлы және күкірт қышқылдарынан тұратын қоспамен шаймалау осы қоспаның құрамдас бөліктерінің кешенді әсерінің арқасында СЭ және СЖЭ алудың перспективті тәсілі болып табылады.

Түйін сөздер: мүжілу қыртысы, сілтілеу, күкірт қышқылы, тұз қышқылы, натрий гидроксиді, кремний диоксиді, сирек және сирек жер металдары.

<i>Рустам Ришатович Токпаев</i>	<i>PhD, ЖФҚ, әл-Фараби атындағы ҚазҰУ ФХЗТӘО директорының м. а.</i>
<i>Тамина Наримановна Хаваза</i>	<i>постдокторант, ФҚ</i>
<i>Заир Таирович Ибраимов</i>	<i>постдокторант, ФҚ</i>
<i>Ерасыл Бекболатұлы Тасемен</i>	<i>2 курс магистранты</i>
<i>Бағашар Бахытулы Жақсыбай</i>	<i>2 курс магистранты</i>
<i>Анвар Рахимович Ишкенов</i>	<i>химия ғылымдарының кандидаты, ЖФҚ</i>
<i>Михаил Касымович Наурызбаев</i>	<i>техника ғылымдарының докторы, профессор, БФҚ</i>

References:

- Dzhafarov N.N., Dzhafarov F.N. Mineral resources of Djetygarinskiy ore district (Kostanay Zauralye). *Almaty: Aleem*, **2002**, 249 p. (In Russian).
- Lavrinenko A.A., Kunilova I.V., Golberg G.Y., Lusinyan O.G., Kravchenko V.N. Problems of complex processing of ash and slag wastes from coal combustion. Proceedings of the International Conference "Innovative processes of complex processing of natural and technogenic mineral raw materials". *Apatity*, **2020**, 367 p. (In Russian).
- Kozlov V.A., Nurzhanova S.B., Zhanabaj Zh.D., Alimzhanova A.M., Portnov V.S., Tursunbaeva A.K., Dalabaev D.B. Study of ore preparation process for extraction of valuable components. *Geological and Mineralogical Sciences*, **2012**, No.3, 261-264. (In Russian).
- Cherepanov A. A., Berdnikov N. V. Redkozemel'nye jelementy v porodah i rudah Ingilijskogo rudnogo uzla (Habarovskij kraj). *Bulletin of the North-East Scientific Center, FEB RAS*, **2020**, No.3, 8-35. (In Russian).
- Zhenxiao W., Yu C., Yang W., Yuan X., Zhuoling L., Xiaoliang L., Hongfei C. Review of rare earth element (REE) adsorption on and desorption from clay minerals: Application to formation and mining of ion-adsorption REE deposits. *Ore Geol. Rev.*, **2023**, No.157, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105446>.
- Bochevskaya, Y. G., Abisheva, Z. S., Karshigina, Z. B., Sargelova, E. A., Kvyatkovskaya, M. N., Akchulakova, S. T. Effect of the Temperature Conditions of Sulfation Process on Extraction of Rare-Earth Metals from Refractory Ore. *Metallurgist*, **2018**, No.3, 574-586. <https://doi.org/10.1007/s11015-018-0695-x>.
- Chanturiya V.A. Nauchnoe obosnovanie i razrabotka innovacionnyh processov izvlechenija cirkonija i RZJe pri glubokoj i kompleksnoj pererabotke jevdialitovogo koncentrata. *J. Min. Inst.*, **2022**, 505-516. (In Russian).
- Baigenzhenov O.S., Yulussov S.B., Khabiyev A.T., Sydykanov M.M., Akbarov M.S. Investigation of the leaching process of rare-earth metals from the black shale ores of greater karatau. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a* [Complex Use of Mineral Resources]. **2019**. No. 3 (310). Page: 76–80. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.31>
- Patent RU 2104940. Sposob izvlechenija redkozemel'nyh jelementov iz rudnogo koncentrata kory vyvetrivanija mestorozhdenija "kundybaj". Bulgakbaev M.A., Val'kov A.V., Nevorotin V.K., Nijazov A.R., **1998**. <https://www.freepatent.ru/patents/2104940> (Status as of February 12, 2023.).
- Borra, C. R., Blanpain, B., Pontikes, Y., Binnemans, K., & Van Gerven, T. Recovery of Rare Earths and Major Metals from Bauxite Residue (Red Mud) by Alkali Roasting, Smelting, and Leaching. *J. Sustain. Met.*, **2016**. No.3, 393–404. <https://doi.org/10.1007/s40831-016-0103-3>.
- Tarek A. W-A. New Trends of Leaching of Silicate and sulfide Minerals. *IJRDET*. **2019**, No. 8, 1-14. <https://doi.org/10.3390/min11101069>.

12. Tokpayev R.R., Khavaza T.N., Ibraimov Z.T., Kishibayev K.K., Atchabarova A.A., Abdimomyn S.K., Abduakhytova D.A., Nauryzbayev M.K. Phosphogypsum conversion under conditions of SC-CO₂. *J CO₂ UTIL.*, **2022**, No. 63, 102-120. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102120>.

13. Tokpayev R.R., Khavaza T.N., Ibraimov Z.T., Atchabarova A.A., Kishibayev K.K., Nauryzbayev M.K. Study of cerium and neodymium leaching from Kazakhstan phosphogypsum. *Int. J. Biol. Chem.*, **2021**, No. 2, 93. <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i2.013>.

14. Sargelova E.A., Bochevskaya E.G., Karshigina Z.B., Abisheva Z.S. Influence of sulphatization temperature on the decomposition of high-silicon ore containing rare-earth metals *Transactions of the Kola Science Centre of RAS*, **2017**, 155-161. (In Russian).

15. Aidosov A.A., Aidosov G.A., Aidosov N.G. Analysis of sulfur concrete production and use of sulfur in road construction. *Vestnik KazNRTU*, **2011**, No.4, 39-44. (In Russian).

16. Krasikov S.A., Chumarev V.M., Sviridova M.N., Udoeva L.Ju., Timofeev M.V., Safonov A.V., Fedorov V.D., Arzhatkina O.A. Effect of phase composition on sulfuric acid leaching of tantalum-containing alloys. *Zhurnal prikladnoj himii [J. Appl. Chem.]*, **2004**, No.2, 201-205. (In Russian).

17. Shanshan Y., Xianquan A., Lijuan L., Xingyu M., Yu G. Recovery of rare earth elements from sedimentary rare earth ore via sulfuric acid roasting and water leaching. *J. Rare Earths*, **2024**. (Available online 13 June 2024). <https://doi.org/10.1016/j.jre.2024.06.006>.