

ALYUMINIY SAQLOVCHI SANOAT CHIQINDISIDAN ISHQORIY ERITISH ORQALI  $Al_2O_3$  OLISHAbdulla Tursunovich Dadaxodjayev<sup>1</sup>, Shoxista Abdvaxabovna Gayimova<sup>2,\*</sup>, Murod Azimovich Eshmurodov<sup>3</sup><sup>1</sup> Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti texnika fanlari doktori, professor<sup>2</sup> Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti tayanch doktoranti<sup>3</sup> Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti texnika fanlari nomzodi, professor

\* Corresponding author: shoxista.g@tdtu.uz

## ARTICLE INFO

## Dates:

Received: 08.06.2026

Accepted: 13.06.2026

Published: 17.06.2026

## DOI:

10.66960/jof.3093-8899.00029

## Copyright:

CC BY 4.0

## ANNOTATSIIYA

Ushbu tadqiqotda alyuminiyga boy sanoat chiqindisi – RKA-02 namunasi asosida alyuminiy selektiv ajratib olish va yuqori tozalikdagi alyuminiy oksidi  $Al_2O_3$  olishning samarali texnologiyasi ishlab chiqildi. Rentgen-fluorescent (XRF) tahlil natijalariga ko'ra, namunada alyuminiy asosiy komponent bo'lib, uning oksid shaklidagi miqdori 68,0 mass.% ni tashkil etishi aniqlandi. Shuningdek, chiqindida katta miqdordagi kaliy ( $K_2O \approx 30,4$  mass.%), hamda kam miqdordagi temir, rux, nikel va boshqa metall aralashmalari mavjudligi kuzatildi. Tadqiqotda gidrometallurgik yondashuv asosida ishqoriy eritish usuli qo'llanildi. Tajriba natijalari 4 molyarli NaOH eritmasida  $90^\circ C$  haroratda 3 soat davomida olib borilgan eritish jarayoni alyuminiy natriy aluminat shaklida eritmaga maksimal o'tkazishini ko'rsatdi. Dastlabki bosqichda suv bilan yuvish orqali kaliy tuzlarini ajratish jarayon samaradorligini oshirdi. Eritmani qo'shimcha tozalash bosqichlarida silikatlar  $Ca(OH)_2$  yordamida, og'ir metall ionlari esa  $Na_2S$  yordamida samarali ajratildi. Alyuminiy eritmadan karbonatlash usuli orqali pH 8,5–9,0 oralig'ida  $Al(OH)_3$  shaklida cho'ktirildi. Olingan gidroksidning keyingi quritish va  $1000^\circ C$  haroratda kalsinatsiya qilinishi natijasida yuqori tozalikdagi  $Al_2O_3$  olindi. Taklif etilgan usul yuqori selektivligi, texnologik soddaligi va samaradorligi bilan tavsiflanadi hamda alyuminiy saqlovchi sanoat chiqindilarini qayta ishlashda istiqbolli hisoblanadi.

**Kalit so'zlar:** alyuminiy, RKA-02, ishqoriy eritish, kalsinatsiya, selektiv ajratish, sanoat chiqindisi

## АННОТАЦИЯ

В данном исследовании на основе алюминийсодержащего промышленного отхода – образца RKA-02 — разработана эффективная технология селективного извлечения алюминия и получения высокочистого оксида алюминия  $Al_2O_3$ . Согласно результатам рентгенофлуоресцентного (XRF) анализа, основным компонентом образца является алюминий, содержание которого в пересчёте на оксидную форму составляет 68,0 масс.%. Также установлено наличие значительного количества калия ( $K_2O \approx 30,4$  масс.%), а также небольших количеств железа, цинка, никеля и других металлических примесей. В исследовании был применён гидromеталлургический подход с использованием метода щелочного выщелачивания. Результаты экспериментов показали, что процесс выщелачивания, проводимый в 4 мольярном растворе NaOH при температуре  $90^\circ C$  в течение 3 часов, обеспечивает максимальный перевод алюминия в раствор в форме алюмината натрия. На начальном этапе промывка водой способствовала удалению калийсодержащих солей и повышению эффективности процесса. На стадии дополнительной очистки раствора силикаты эффективно удалялись с использованием  $Ca(OH)_2$ , а ионы тяжёлых металлов – с помощью  $Na_2S$ . Алюминий осаждали из раствора методом карбонизации в виде  $Al(OH)_3$  при значениях pH 8,5–9,0. Последующая сушка и кальцинация полученного гидроксид при температуре  $1000^\circ C$  позволили получить высокочистый оксид алюминия  $Al_2O_3$ . Предложенный метод характеризуется высокой селективностью, технологической простотой и эффективностью и представляет собой перспективный подход к переработке алюминийсодержащих промышленных отходов.

**Ключевые слова:** алюминий, RKA-02, щелочное выщелачивание, кальцинация, селективное извлечение, промышленный отход

## ABSTRACT

In this study, an efficient technology for the selective extraction of aluminum and the production of high-purity aluminum oxide  $Al_2O_3$  was developed using an aluminum-rich industrial waste sample, RKA-02. According to the results of X-ray fluorescence (XRF) analysis, aluminum was identified as the major component of the sample, with an oxide-form content of 68.0 wt.%. The waste was also found to contain a significant amount of potassium ( $K_2O \approx 30.4$  wt.%), along with minor quantities of iron, zinc, nickel, and other metallic impurities. A hydrometallurgical approach based on alkaline leaching was employed in this study. Experimental results demonstrated that leaching in a 4 M NaOH solution at  $90^\circ C$  for 3 hours provided the maximum dissolution of aluminum into the solution in the form of sodium aluminate. In the preliminary stage, water washing effectively removed potassium salts and improved the overall process efficiency. During the purification stage, silicates were successfully removed using  $Ca(OH)_2$ , while heavy metal ions were precipitated with  $Na_2S$ . Aluminum was recovered from the solution by carbonation and precipitated as  $Al(OH)_3$  within a pH range of 8.5–9.0. Subsequent drying and calcination of the obtained hydroxide at  $1000^\circ C$  resulted in the formation of high-purity  $Al_2O_3$ . The proposed method is characterized by high selectivity, technological simplicity, and process efficiency, making it a promising approach for the recycling and utilization of aluminum-containing industrial wastes.

**Keywords:** aluminum, RKA-02, alkaline leaching, calcination, selective extraction, industrial waste

## Iqtibos uchun / How to cite:

Dadaxodjayev A.T., Gayimova Sh.A., Eshmurodov M.A. Alyuminiy saqlovchi sanoat chiqindisidan ishqoriy eritish orqali  $Al_2O_3$  olish // Journal of future. 2026. Vol. 2. Iss. 3. pp. 5–7. <https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00029>

## Kirish

Alyuminiy va uning birikmalarini olish hamda qayta ishlash masalalari zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda muhim yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Alyuminiy oksidi  $Al_2O_3$  metallurgiya, kimyo va keramika sanoatida keng qo'llanilishi sababli unga bo'lgan talab doimiy ravishda ortib bormoqda. Shu bilan birga, alyuminiy saqlovchi sanoat chiqindilarini qayta ishlash va ulardan samarali foydalanish ekologik va iqtisodiy jihatdan dolzarb masala hisoblanadi [1, 3]. An'anaviy ravishda alyuminiy olish Bayer jarayoniga asoslangan bo'lib, bu usul boksit rudalarini ishqoriy eritish orqali alyuminiy gidroksid olish imkonini beradi. Biroq ushbu jarayon yuqori energiya sarfi, murakkab texnologik bosqichlar hamda katta miqdordagi qattiq chiqindilar (qizil loy) hosil bo'lishi bilan tavsiflanadi [2, 3]. Shu sababli, so'nggi yillarda alyuminiy olishning alternativi, ayniqsa ikkilamchi xomashyolarga asoslangan usullarini ishlab chiqishga katta e'tibor qaratilmoqda. Kislota asosidagi gidrometallurgik usullar alyuminiy turli chiqindilardan ajratishda qo'llanilgan bo'lsa-da, ularning asosiy kamchiligi past selektivlik bilan bog'liqdir. Ya'ni, kislota muhitida alyuminiy bilan bir qatorda temir, rux, nikel va boshqa metall ionlari ham eritmaga o'tadi, bu esa eritmani keyingi tozalash bosqichlarini murakkablashtiradi [5]. Shu nuqtai nazardan, ishqoriy eri-

tish usullari alyuminiy selektiv ajratib olishda samaraliroq hisoblanadi. Ishqoriy muhitda alyuminiy natriy aluminat shaklida eritmaga o'tadi, ko'pgina og'ir metall komponentlari esa qattiq fazada qoladi. Bu esa jarayonning selektivligini oshiradi va yuqori tozalikdagi mahsulot olish imkonini beradi [1, 5]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, eritish jarayonining samaradorligi eritma konsentratsiyasi, harorat va vaqt kabi omillarga bevosita bog'liq [5]. Bundan tashqari, eritmani qo'shimchalardan tozalash bosqichlari ham muhim ahamiyatga ega. Silikatlarining mavjudligi alyuminiy ajratish jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkinligi sababli, ularni kalsiy birikmalari yordamida cho'ktirish keng qo'llaniladi [4]. Og'ir metall ionlarini esa sulfidlar shaklida ajratish samarali usullardan biri hisoblanadi [9]. Alyuminiy eritmadan ajratishda karbonatlash usuli, ya'ni  $CO_2$  yordamida  $Al(OH)_3$  ni cho'ktirish keng qo'llaniladi. Ushbu usul yuqori tozalikdagi mahsulot olish imkonini berishi bilan ajralib turadi [7]. Shu asosda alyuminiy saqlovchi chiqindilarni qayta ishlashda kompleks yondashuv — dastlabki tozalash, ishqoriy eritish va selektiv cho'ktirish bosqichlarini o'z ichiga olgan texnologiyalar eng samarali hisoblanadi.

**Tadqiqot usuli**

Tadqiqot obyekti sifatida alyuminiya boy Shoʻrtan gaz-kimyo majmuasi negizida sintetik suyuq yoqilgʻi ishlab chiqarish zavodida korxonasida RKA-02 markali katalizator tanlab olindi. Rentgen-fluorescent (XRF) tahlili Rigaku NEX DE yaʼni Energy Dispersive X-Ray Fluorescence – EDXRF turidagi yuqori samarali stol usti spektrometrida amalga oshirildi.

**Natijalar va muhokama**

Rentgen-fluorescent (XRF) tahlil natijalariga koʻra, namunaning asosiy komponenti Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> boʻlib, uning miqdori taxminan 68,0 mass.% ni tashkil etdi. Bundan tashqari, chiqindi tarkibida K<sub>2</sub>O, ZnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> va SiO<sub>2</sub> mavjudligi aniqlandi. Tajribalar oldidan namuna 105°C haroratda doimiy massagacha quritildi, maydalandi va zarracha oʻlchami 0,150 mm dan kichik boʻlgan fraksiyagacha elandi. Alyuminiy eritmaga oʻtkazish jarayoni issiqlikka chidamli shisha reaktorda magnitli aralashtirgich yordamida amalga oshirildi. Tajribalarda 100 g chiqindi namunasi olinib, qattiq va suyuq fazalar nisbati S/L = 1:10 qilib tanlandi. Alyuminiyning eritmaga oʻtish darajasiga ishqor konsentratsiyasi, harorat va vaqtning taʼsirini oʻrganish maqsadida NaOH eritmasining turli konsentratsiyalari qoʻllanildi. Tadqiqot natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

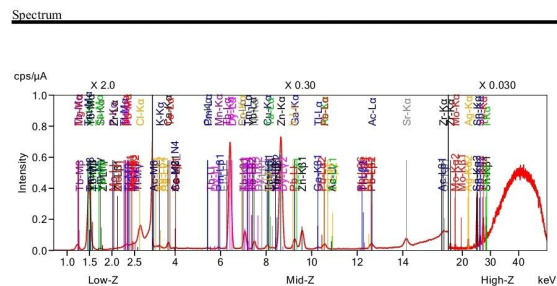
Jarayon davomida aralashtirish tezligi 400–500 ayl/min darajasida saqlab turildi. Ishqoriy muhitda alyuminiy saqlovchi birikmalarning erishi natijasida alyuminiy eritmaga aluminat ionlari shaklida oʻtdi. Eritish jarayoni yakunlangach, pulpa issiq holatda filtrlanib, filtrat va qattiq qoldiq alohida ajratildi. Hosil boʻlgan aluminat eritmasidan kremniy saqlovchi qoʻshimchalarni ajratish maqsadida eritmaga 10 % li kalsiy gidroksid eritmasi qoʻshildi. Jarayon 60–70°C da 60 minut davomida olib borildi. Natijada eruvchan silikatlar qiyin eruvchan kalsiy silikat birikmalari koʻrinishida choʻktirildi va filtrlash yoʻli bilan ajratildi. Tozalash samaradorligi eritmadagi kremniy miqdorining kamayishi orqali baholandi. Tozalangan aluminat eritmasidan alyuminiy ajratib olish uchun choʻktiruvchi reagent sifatida ammoniy gidroksid (NH<sub>4</sub>OH) ishlatildi. Ammoniy gidroksid eritmaga tomchilatib qoʻshilib, muhit pH qiymati 9–10 oraligʻiga yetkazildi. Ushbu sharoitda alyuminiy gidroksidi choʻkmasi hosil boʻldi. Hosil boʻlgan suspenziya 60 minut davomida aralashtirilib, choʻkmaning toʻliq shakllanishi taʼminlandi. Soʻngra choʻkma filtrlanib, issiq distillangan suv bilan yuvildi va neytral muhit hosil boʻlguncha tozalandi. Olingan Al(OH)<sub>3</sub> choʻkmasi 105°C haroratda doimiy massagacha quritildi. Quritilgan mahsulot mufel pechida 1000°C haroratda 2 soat davomida kalsinatsiya qilindi. Kalsinatsiya jarayonida alyuminiy gidroksidining termik parchalanishi natijasida alyuminiy oksidi hosil boʻldi. Boshlangʻich chiqindi, oraliq mahsulotlar va yakuniy mahsulotlarning kimyoviy tarkibi rentgen-fluorescent tahlil (XRF) yordamida aniqlandi. Olingan natijalar asosida alyuminiyning eritmaga oʻtish darajasi, qoldiqdagi alyuminiy miqdori hamda hosil boʻlgan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mahsulotining tozalik darajasi baholandi.

Ishqoriy eritish natijasida alyuminiyning asosiy qismi eritmaga oʻtdi. Yuqori harorat va ishqoriy muhit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ning natriy aluminat shakliga oʻtishini jadallashtirdi. Oʻtkazilgan tajribalar natijalariga koʻra, 4 molyar NaOH eritmasida 90°C haroratda 180 minut davomida olib borilgan eritish jarayoni optimal sharoit sifatida aniqlandi. Ishqoriy eritish jarayonida K, Fe va Zn ionlarining ham qisman eritmaga oʻtishi kuzatildi. Shu sababli keyingi bosqichlarda eritmani tozalash va alyuminiyni selektiv ajratib olish muhim ahamiyat kasb etdi. Choʻktirish jarayonida muhitning pH qiymati asosiy texnologik parametrlar ekanligi aniqlandi. pH = 9,0 da Al(OH)<sub>3</sub> choʻkmasi nisbatan sekin hosil boʻldi. Hosil boʻlgan choʻkma mayda dispers holatda boʻlib, filtrlanish tezligi past boʻldi. Biroq Fe va Zn ionlarining katta qismi eritmada qolganligi sababli choʻkmaning tozalik darajasi yuqori boʻldi. pH = 8,0 da esa choʻktirish tezligi ortdi va alyuminiyning choʻkish darajasi yuqori boʻldi. Shu bilan birga Fe va Zn ionlarining birgalikda choʻkishi minimal darajada saqlanib qoldi. Filtrlanish xossalari yaxshilanib, choʻkma yirikroq flokulyatsiyalangan strukturaga ega boʻldi. Natijada pH = 8,0 choʻktirish darajasi, selektivlik va filtrlanish xossalari oʻrtasida optimal muvozanatni taʼminladi. 1000°C haroratda olib borilgan termik ishlov jarayonida Al(OH)<sub>3</sub> ning

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazasiga oʻtishi kuzatildi (2-jadval). 2-jadval maʼlumotlaridan koʻrinib turibdiki, alyuminiyning eritmaga oʻtish darajasi NaOH konsentratsiyasi, harorat va jarayon davomiyligiga bevosita bogʻliq. Eng yuqori natija 4 molyar NaOH konsentratsiyasi, 90°C harorat va 180 minut davomiylikda kuzatilib, alyuminiyning eritmaga oʻtish darajasi 91,2 % ni tashkil qildi. Ushbu sharoitda qattiq qoldiqdagi alyuminiy miqdori 6,8 % gacha kamaydi. NaOH konsentratsiyasi 6 molyarligacha oshirilganda alyuminiyning eritmaga oʻtish darajasi pasaydi. Bu holat yuqori konsentratsiyali ishqoriy muhitda eritmaning qovushqoqligi ortishi va massa almashinish jarayonlarining sekinlashishi bilan izohlanadi. Natijada reagentning qattiq faza bilan oʻzaro taʼsiri yomonlashib, eritish samaradorligi pasaydi. Chiqindidan ajratib olingan mahsulotning element tarkibi 2-jadvalda keltirilgan.

Element	Weight	Unit	Stat. Err.	LLD	LLD	Element	Weight	Unit	Stat. Err.	LLD	LLD
Al	68.0	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Al	68.0	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Fe	2.0	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Fe	2.0	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
K	1.56	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	K	1.56	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Zn	0.57	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Zn	0.57	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Si	0.15	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Si	0.15	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Ca	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Ca	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Mg	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Mg	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
Na	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005	Na	0.04	mass. %	0.0005	0.0005	0.0005
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

1-rasm. RKA-02 markali katalizator tarkibi



1-jadval. RKA-02 ishlatilgan katalizatoridan alyuminiyning eritmaga o'tish darajasi

Tajriba	NaOH, M	Harorat, °C	Vaqt, min	Alyuminiyning eritmaga o'tish darajasi, %
1	1	80	120	31,0
2	1	90	180	67,2
3	1	95	240	77,2
4	4	80	120	73,7
5	4	90	180	91,2
6	4	95	240	74,2
7	6	80	120	24,8
8	6	90	180	22,6
9	6	95	240	38,6

2-jadval. Olingan mahsulotning element tarkibi

Modda	Miqdori, mass. %	Xatolik
Al	91,40	0,0784
Fe	2,90	0,0144
Ca	2,19	0,0672
K	1,56	0,104
Zn	0,837	0,0037
Cl	0,457	0,0059

yuqori selektivlik va yaxshi filtrlanish xossalarini ta'minladi. Olingan  $Al(OH)_3$  ni  $1000^{\circ}C$  haroratda kalsinatsiya qilish natijasida yuqori tozalikdagi  $Al_2O_3$  mahsuloti olindi. Taklif etilgan ajratish usuli texnologik jihatdan sodda, selektivligi yuqori va alyuminiy saqlovchi sanoat chiqindilarini qayta ishlash uchun istiqbolli usul hisoblanadi.

### Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1] Habashi, F. Handbook of Extractive Metallurgy. – Weinheim: Wiley-VCH, 1997. – 681 p.
- [2] Power, G., Grafe, M., Klauber, C. Bauxite residue issues: I. Current management, disposal and storage practices // Hydrometallurgy. – 2009. – Vol. 108. – P. 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2011.02.006>
- [3] Liu, W., Yang, J., Xiao, B. Review on treatment and utilization of bauxite residues // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – Vol. 161. – P. 474–478. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.03.122>
- [4] Wang, S., Ang, H.M., Tade, M.O. Novel applications of red mud as coagulant, adsorbent and catalyst // Chemosphere. – 2008. – Vol. 72. – P. 1621–1635. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.05.013>
- [5] Meshram, P., Pandey, B.D. Extraction of aluminum from secondary resources: A review // Hydrometallurgy. – 2011. – Vol. 108. – P. 93–102.
- [6] Zhang, N., Sun, H., Liu, X., Zhang, J. Early-age characteristics of red mud-coal gangue cementitious material // Construction and Building Materials. – 2009. – Vol. 23. – P. 1066–1071.
- [7] Sahu, R.C., Patel, R., Ray, B.C. Neutralization of red mud using  $CO_2$  sequestration cycle // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – Vol. 179. – P. 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.02.052>
- [8] Agatzini-Leonardou, S., Oustadakis, P., Tsakiridis, P.E. Titanium leaching from red mud by diluted sulfuric acid // Journal of Hazardous Materials. – 2008. – Vol. 157. – P. 579–586. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.054>
- [9] Kumar, S., Kumar, R., Bandopadhyay, A. Innovative methodologies for the utilization of wastes from metallurgical industries // Resources, Conservation and Recycling. – 2006. – Vol. 48. – P. 301–314. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.03.003>
- [10] Mishra, B., Kumar, V. et al. Hydrometallurgical processing of aluminum-containing wastes // Hydrometallurgy. – 2019.