FOSFORIT RUDALARINI BOYITISHNING TEXNOLOGIK TAHLILI

Doniyarov Nodirjon Abdixakimovich
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti t.f.d., prof.
Navoiy, O‘zbekiston
E-mail: ndoniyarov@mail.ru
ORCID ID: 0000-0002-9126-7223
Xushvaqtova Dilshoda Shavkat qizi
Qarshi davlat texnika universiteti Magistrant, , Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: xushvaqtovadilshoda98@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-1892-442X
Boymurodov Najmiddin Abduqodirovich
“Geologiya va konchilik ishi” kafedrasi dotsent v.b., Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
E-mail: najmiddinboy-94@mail.ru
ORCID ID: 0009-0007-7820-7799

Annotatsiya. Ushbu maqolada fosforit rudalarini boyitish jarayonlari texnologik jihatdan tahlil qilinib, flotatsiya, mexanik boyitish, kimyoviy qayta ishlash usullar samaradorligi solishtirildi. Rudaning geologik tarkibi, mineralogik xususiyatlari va fizik-kimyoviy omillar boyitish texnologiyasini tanlashda hal qiluvchi rol o‘ynashi ko‘rsatib berildi. Boyitishning har bir bosqichi — maydalash, tasniflash, yuvish, flotatsiya va kimyoviy ishlov berish — fosfat konsentratining sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Shuningdek, an’anaviy sulfat kislotali texnologiyalarning kamchiliklari hamda kimyoviy qayta ishlash jarayonlarning ekologik va texnologik ustunliklari muhokama qilindi. Tadqiqot natijalari fosforit resurslaridan samarali foydalanish uchun kompleks, ilmiy asoslangan texnologik yondashuv zarurligini ta’kidlaydi.

Kalit so‘zlar: Fosforit rudasi, boyitish texnologiyasi, flotatsiya, mexanik boyitish, kimyoviy boyitish, apatit, tasniflash, gidrosiklon, fosfat konsentrati.

Аннотация. В данной статье технологически анализируются процессы обогащения фосфоритовых руд и сравнивается эффективность методов флотации, механического обогащения и химической переработки. Показано, что геологический состав, минералогические свойства и физико-химические факторы руды играют решающую роль в выборе технологии обогащения. Установлено, что каждая стадия обогащения - измельчение, классификация, промывка, флотация и химическая обработка - оказывает существенное влияние на качество фосфатного концентрата. Также были обсуждены недостатки традиционных сернокислотных технологий и экологические и технологические преимущества процессов химической переработки. Результаты исследования подчеркивают необходимость комплексного,

ISSN 3030-3907

научно обоснованного технологического подхода к эффективному использованию фосфоритовых ресурсов.

Ключевые слова: Фосфоритная руда, технология обогащения, флотация, механическое обогащение, химическое обогащение, апатит, классификация, гидроциклон, фосфатный концентрат.

Abstract. In this article, the processes of enrichment of phosphorite ores were analyzed from a technological point of view, and the effectiveness of flotation, mechanical enrichment, and chemical processing methods was compared. It has been shown that the geological composition, mineralogical properties, and physicochemical factors of the ore play a decisive role in the choice of beneficiation technology. It has been established that each stage of enrichment - grinding, classification, washing, flotation, and chemical treatment - significantly affects the quality of the phosphate concentrate. The disadvantages of traditional sulfuric acid technologies and the ecological and technological advantages of chemical processing processes were also discussed. The research results indicate the need for a comprehensive, scientifically based technological approach to the efficient use of phosphorite resources.

Keywords: Phosphorite ore, beneficiation technology, flotation, mechanical beneficiation, chemical beneficiation, apatite, classification, hydrocyclone, phosphate concentrate.

Kirish.

Fosforit zaxiralari yer yuzida keng tarqalgan bo‘lib, dunyo zaxirasining asosiy qismi Marokash hududida to‘plangan (taxminan 70%). Shuningdek, AQSh (Florida, Idaho), Rossiya (Kola yarim oroli, Volga hududi), Xitoy, Qozog‘iston (Qaratau) va O‘zbekiston (Tomdi) hududlarida ham yirik sanoat konlari mavjud.

Fosforitlar geologik jihatdan turli yoshdagi qatlamlarda uchraydi: Avstraliyada proterozoy davriga oid fosforitlar, AQShning g‘arbida esa perm davri davomida taxminan 15 million yil mobaynida cho‘kindilar to‘planishi natijasida hosil bo‘lgan yotqiziqlar aniqlangan. Ba’zi hududlarda fosfatli jinslar vavellit, biryuza, kvars tolalari va boshqa minerallar bilan birga uchraydi.

Fosforitlarning asosiy qo‘llanilishi – mineral o‘g‘itlar, fosfor kislotasi, elementar fosfor ishlab chiqarishdir. Maydalangan fosforit unidan esa samarali fosforli o‘g‘it sifatida foydalaniladi [2].

Adabiyot tahlili va metodikasi. Fosforit rudalari sanoatga yaroqli konsentrat olish maqsadida turli texnologik jarayonlar orqali boyitiladi. Eng ko‘p qo‘llaniladigan boyitish usullari quyidagilardan iborat:

Mexanik boyitish (maydalash va yanchish). Mexanik usul fosforit jinslarini bir necha bosqichda maydalash, yanchish, elash va tasniflash jarayonlarini o‘z ichiga oladi. Maqsad — fosfat mineralining boshqa jinslardan fizik jihatdan

ISSN 3030-3907

ajralishini ta’minlashdir. Ushbu usul ko‘proq strukturasi ixcham bo‘lgan rudalar uchun qo‘llanadi.

Flotatsiya usuli. Bu usul fosforitlarni boyitishda eng samarali va keng tarqalgan texnologiya hisoblanadi. Flotatsiya jarayonida ftorapatit zarrachalari kollektor, ko‘piklantiruvchi va depressant reagentlar ta’sirida ajralib, yuqori sifatli fosfat konsentrati olinadi. Jarayon mayda donali va aralashmalar ko‘p bo‘lgan rudalar uchun ayniqsa samaralidir.

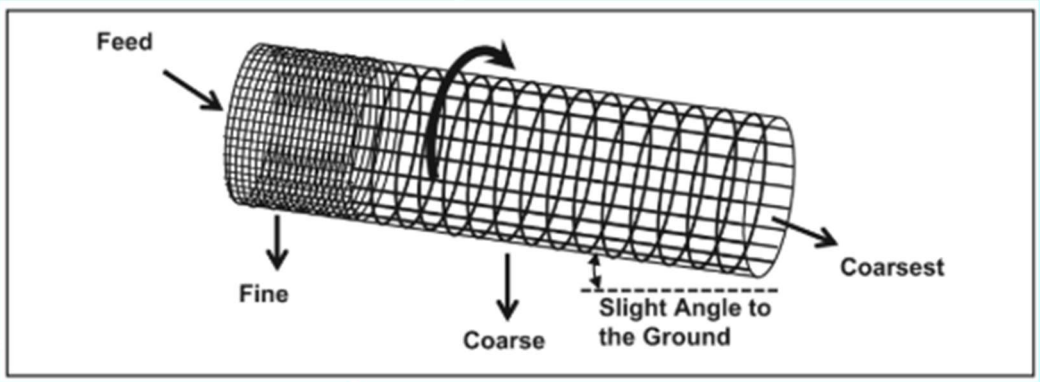
Kimyoviy boyitish. Kimyoviy usulda fosforitlar kislotalar yoki boshqa kimyoviy reagentlar bilan qayta ishlanib, zararli aralashmalar parchalanadi yoki eritiladi. Natijada fosfatning kontsentratsiyasi oshiriladi. Bu usul past navli, karbonatli va loy aralashmalari ko‘p bo‘lgan rudalar uchun samarali hisoblanadi.

Natijalar. Mexanik boyitish (maydalash, yanchish va gravitatsiya). Qatlamli fosfat rudasi odatda draglaynlar yordamida qazib olinadi, bo‘tana holatiga keltiriladi va quvurlar orqali yuvish zavodiga yetkaziladi. Yuvish jarayoni ko‘pincha trommellar, log-voshyerlar va sandwich tipidagi elaklar yordamida amalga oshiriladi (Lawver va boshq., 1978).

Trommellar elak — rudani bir uchidan ikkinchi uchiga ko‘tarilgan holda tasniflaydigan katta aylanadigan silindrsimon ekranlardir. Trommel ekranning asosiy diagrammasi 1-rasmda ko‘rsatilgan. Aylanayotgan barabaning ko‘tarilib-tushish harakati qiymatli fosfat shag‘allarini o‘z ichiga olgan katta loy bo‘laklarini parchalab yuboradi.

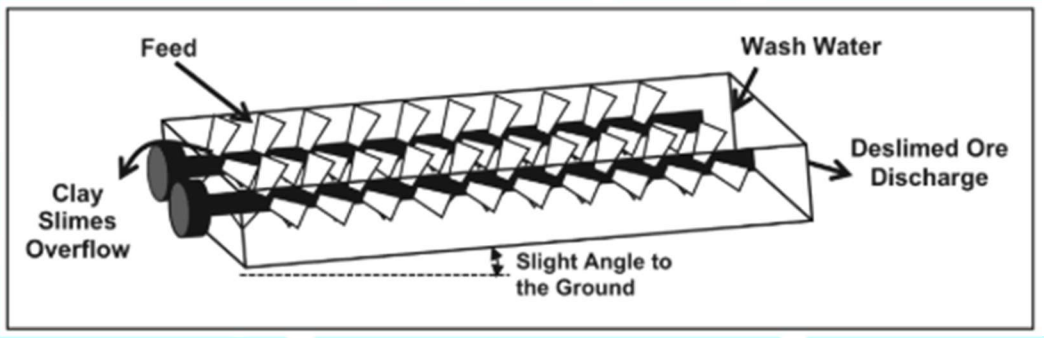
Baraban ichiga o‘rnatilgan yuqori bosimli purkagich nozullar ruda ichidagi fosfat zarrachalarining loy bilan yopishgan yirik kattalikdagi bo‘laklarini maydalashga yordam beradi. Trommellar odatda ozgina qiya holatda o‘rnatiladi — bu ruda baraban bo‘ylab oldinga siljishini ta’minlaydi.

Yuvilgan loyqa keyin granulometrik tasniflash va shlamdan tozalash jarayonlariga yuboriladi. Bu esa Crago ikki martalik flotatsiya jarayoniga tayyorgarlik bosqichi hisoblanadi.



1-rasm. Trommel ekrani

ISSN 3030-3907



2-rasm. Log washer (yuvuvchi baraban)

O‘lchamlarga ajratish va shlamdan tozalash fosfat rudalarini samarali boyitish jarayonining eng muhim bosqichlaridir. Kremniyli qatlamli fosfat konlari odatda yirik va mayda fraksiyalarga ajratiladi. Crago ikki bosqichli flotatsiya jarayoni uchun fosfat rudasi dastlab uchta o‘lcham fraksiyasiga ajratadi (Guan 2009a):

- Shag‘al fraksiyasi: +1 mm;
- Flotatsiya uchun: –1+0.1 mm;
- Loy (quyqa) fraksiyasi: –0.1 mm.

Gidrosiklonlar fosfatni qayta ishlash jarayonida odatda yuqori unumda va ancha aniq o‘lcham bo‘yicha ajratish imkonini beradi. Gidrosiklonning asosiy diagrammasi 3–rasmda ko‘rsatilgan. Gidrosiklon asosan silindrsimon yuqori qism va konussimon pastki qismdan iborat.

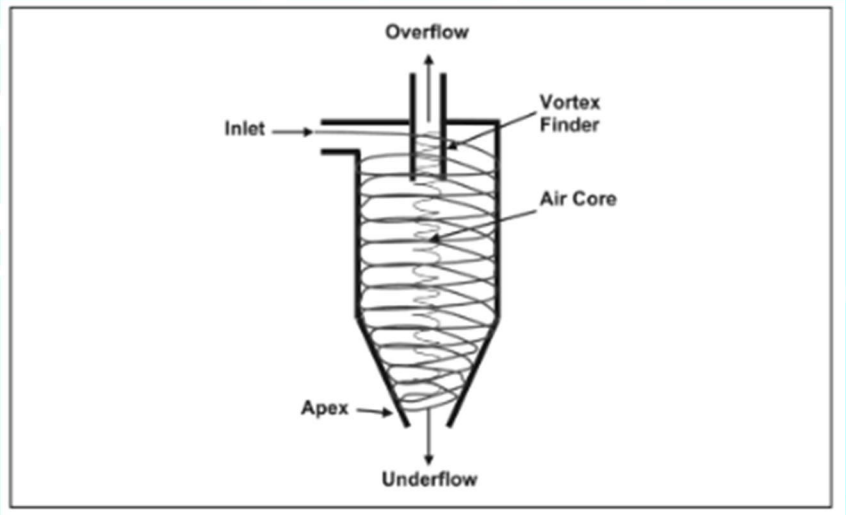
Berilayotgan dastlabki ruda kirish qismining yon tomonidan tangensial tarzda kiradi va ichkarida girdobli “siklon” harakati hosil qiladi. Bu oqim loyqaga markazdan qochirma kuch beradi, natijada yirik va zichroq zarrachalar siklon devoriga qarab siljiydi va oxir-oqibat qum (quyi oqim) orqali chiqib ketadi.

Mayda va yengilroq zarrachalar esa suyuqlik bilan birga oqimning markaziy qismida qoladi hamda ularning katta qismi suyuqlik bilan birgalikda sliv (quyilma yoki yuqori oqim) orqali chiqariladi [7].

Gidrosiklonning samaradorligi ko‘p jihatdan uning konstruksiyasi (diametri, konus burchagi, kirish va chiqish teshiklarining diametri va h.k.), ish sharoitlari (bosim, suyuqlikdagi qattiq modda miqdori foizi) va oziqlanayotgan materialning xususiyatlariga (zarracha o‘lchami taqsimoti, zichligi, shakli va boshqalar) bog‘liq.

Fosfat rudalarini shlamdan tozalashda qo‘llaniladigan gidrosiklonlar odatda 61–76,2 sm diametrga ega bo‘ladi (Lawver va boshq., 1978).

ISSN 3030-3907



3-rasm. Gidrosiklon.

Fosforit rudalarini flotatsiya usulida boyitish usuli. Mineral yuzasining xususiyatlari flotatsiyani boshqarish uchun juda muhimdir, chunki ular texnologik jarayonning asosiy tushunchalarini ifodalaydi. Ular mineral-reagent, mineral-muhit va mineral-mineral o‘zaro ta’sirlarning fizik va kimyoviy yuza o‘zaro ta’sirlarini bashorat qilish va tavsiflash imkonini beradi.

Fosfat minerallari va ularning qo‘shimchalarining (ya’ni, bo‘sh minerallarning) sirt zaryadiga ko‘plab o‘zgaruvchilar, masalan, pH va RPO qiymatlari (qaytarilish/oksidlanish potensiali) ta’sir qiladi. Shunga ko‘ra, sirt zaryadini boshqarish mexanizmlari ba’zi hollarda ko‘pikli flotatsiya bilan ajratish murakkab bo‘lib, qiyinchilik tug‘diradi. Apatit guruhi minerallari eng ko‘p tarqalgan. Ularning faol sirt markazlari kalsiy gidroksid (≡CaOH) va fosfor gidroksid (≡POH) guruhlari tomonidan hosil qilinganligi taxmin qilingan [3]. ≡Ca-OH2+ va ≡P-O- dominant sirt guruhlari hisoblanadi [3]. H* va OH ionlari sirtda maxsus adsorbsiyalanadi. Asosan pH ga bog‘liq holda gidroksidlangan apatit yuzasida ikki xil yuza guruhlari (ham metall ionlari, ham ligandlar) adsorbsiyalanishi mumkin. Demak, flotatsion modifikatsiyalovchi agentlarning mineral yuzalaridagi adsorbsiyasi odatda kritik parametr bo‘lgan pH ga nisbatan ifodalanadi. Apatitning sirt zaryadi nafaqat pH ga, balki turli xil kimyoviy moddalarning konsentratsiyasiga, shuningdek, dastlabki ishlovlarga ham bog‘liq. Shu nuqtai nazardan, vodorod, gidroksid, kalsiy, ftorid va fosfat apatitning potensialini belgilovchi ionlardir [4]:

- H+ va OH− ionlari muhim ahamiyatga ega, chunki ular eritmaning pH qiymatini va oxir-oqibat mineralning sirt zaryadini boshqaradi [3];
- Fosfat (PO43-) har qanday pH sharoitida mineralning sirt zaryadini kamaytiradi [4];
- Kalsiy barcha pH sharoitlarida mineralni yanada musbat zaryadlaydi [4];

ISSN 3030-3907

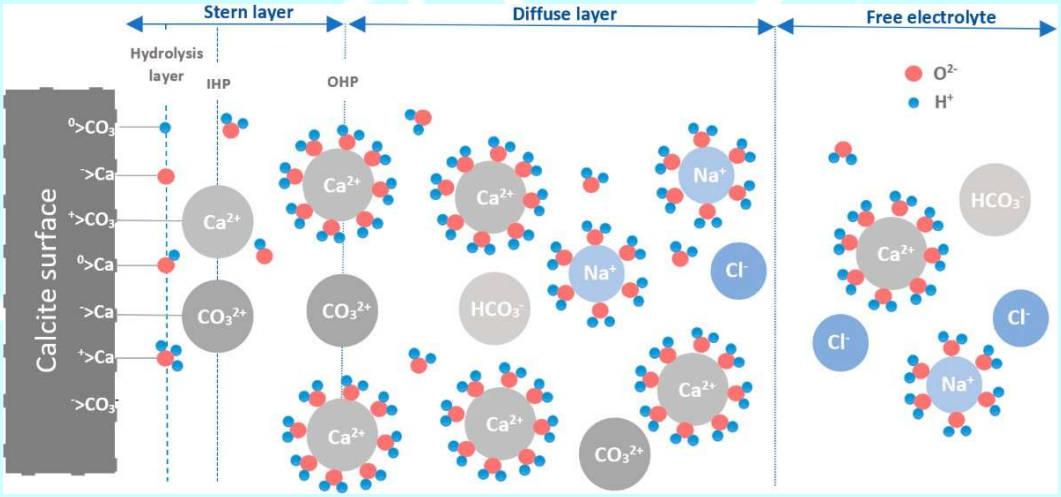
- Ftorid kislotali muhitda sirt zaryadini oshirishi va asosli eritmalarda mos ravishda flyuorit (CaF2) va ftorapatit (Ca5(PO4)3F) hosil bo‘lishi mumkin bo‘lganidan keyin uni biroz kamaytirishi aniqlangan [4].

Kalsitning suvli muhitda eruvchanligi Ca2+ va CO32- eritma pH iga bog‘liq holda mineral yuzalarida ajralib chiqishiga yoki cho‘kishiga olib keladi. Oxirgisi va Ca2+, CO32-, HCO3 larning konsentratsiyasi atmosferadagi erigan CO2 ta’sirida o‘zgarib turishi mumkin. Bundan tashqari, gidratlangan kalsit yuzasida protonlangan anion markazlari (>CO3H) va gidroksillangan kation markazlari (>CaOH) bo‘lishi mumkin. Demak, ko‘pikli flotatsiya tizimida eritmaning pH qiymati kalsitning sirt zaryadini boshqaradi. Shunga qaramay, kalsiy ionlarining konsentratsiyasi o‘zgarmas saqlanganda, kalsit sirtining zaryadi pH ga bog‘liq emasligi tajribada ko‘rsatilgan [6]. Mineral yuzasiga Ca2+ va CO32- larning adsorbsiyalanishi (4-rasm) quyidagi yuza komplekslanish reaksiyalari orqali ifodalanadi: Reaksiyalar (CO2 ishtirokida yoki ishtirokisiz) [6].

$$>CO3H + Ca2+ \rightarrow >CO3Ca+ + H+ \quad (1)$$

$$>CaOH + CO2 \rightarrow >CaCO3- + H+ \quad (2)$$

$$>CaOH + CO2 \rightarrow >CaHCO3 \quad (3)$$



4-rasm. NaCl elektrolit bo‘lgan suvdagi kalsit sirtining elektr qo‘sh qatlamining tasviri. IHP va OHP mos ravishda ichki va tashqi Gelmgols sirtlarini ifodalaydi [6].

Fosforit rudalarini kimyoviy usulda boyitish va qayta ishlash. Fosfat sanoatida rudani boyitish va 30–31% P_2O_5 tarkibli konsentrat olish jarayoniga katta sa’y-harakat sarflanadi. Biroq boyitish jarayoni davomida fosfatning muayyan qismi chiqindi oqimiga yo‘qotiladi. Masalan, tarkibida 31% P_2O_5 bo‘lgan 1 tonna ruda konsentrati olish uchun taxminan 1,69% P_2O_5 saqlovchi 6,5 tonna chiqindi massasi chiqindilar saqlash maydoniga tashlab yuboriladi.

Sanoat uchun yana bir muhim muammo — elementar oltingugurtni import qilish, undan sulfat kislotasi ishlab chiqarish va jarayonda hosil bo‘ladigan gipsni katta hajmda utilizatsiya qilishdir. Bundan tashqari, eritish uskunalari murakkab

ISSN 3030-3907

bo‘lib, muntazam texnik xizmat ko‘rsatishni talab qiladi, aralashtirgichlarning tez-tez ishdan chiqishi esa keng tarqalgan holatdir.

Hozirgi vaqtda fosfat o‘g‘itlari sanoati asosan sulfat kislotasi asosidagi texnologiyaga tayanadi. Hosil bo‘lgan fosfat kislotasi ammiak bilan reaksiyaga kiritilib, quyidagi moddalarga aylantiriladi:

$$Ca_{10}(PO_4)_6\,F_2+10H_2SO_4+20H_2O\rightarrow 6H_3PO_4+10CaSO_4\cdot 2H_2O+2HF \quad (4)$$

$$H_3PO_4+NH_3\rightarrow NH_4H_2PO_4 \quad (5)$$

$$H_3PO_4+2NH_3\rightarrow (NH_4)_2HPO_4 \quad (6)$$

Kimyoviy qayta ishlash jarayoni yondashuvning afzalliklari. Fosfat rudalarini qayta ishlashda eritish, vat-leaching yoki heap-leaching kabi kimyoviy qayta ishlash usullaridan foydalanish sulfat kislotali texnologiyalar bilan bog‘liq asosiy muammolarni bartaraf etishi mumkin. Xususan, ular:

- gips chiqindilarining katta hajmda hosil bo‘lishi;
- reaktorlar ichidagi aralashtirgichlarning korroziyasi va yeyilishi kabi muammolarni kamaytiradi.

Bunday kimyoviy qayta ishlash jarayonlar mis, oltin va uran sanoatida allaqachon yaxshi yo‘lga qo‘yilgan bo‘lib, ularni fosfat sanoatiga tatbiq etish ham iqtisodiy, ham texnologik jihatdan maqsadga muvofiq bo‘lishi mumkin.

Muhokama. Fosforit rudalarini boyitishning texnologik tahlili jarayon davomida qo‘llaniladigan har bir bosqichning o‘ziga xos ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Boyitishning mexanik, fizik-kimyoviy va kimyoviy qayta ishlash (boyitish) usullarini solishtirish shuni anglatadiki, rudaning minerallashuvi, strukturasi va parda jinslarining tarkibi tanlanadigan texnologiyaning samaradorligini belgilaydi.

Mexanik boyitish jarayonlari — maydalash, yanchish, tasniflash va yuvish — fosfat minerallarini bo‘sh jinslardan dastlabki ajratishda ma’lum samaradorlikka ega. Trommel, log-washer va gidrosiklon kabi uskunalar yordamida ruda granulometrik fraksiyalarga ajratiladi va keyingi jarayonlar uchun tayyorlanadi. Ushbu usul, ayniqsa, fizik jihatdan ixcham va kam aralashmali rudalar uchun qulay bo‘lib, katta hajmli qatlamli fosfat konlarini qayta ishlashda qo‘l keladi.

Flotatsiya jarayoni fosforit rudalarini boyitishning eng muhim bosqichlaridan biridir. Mineral yuzasining zaryadi, pH, RPO qiymati va reagentlarning adsorbsiyalanish xususiyatlari flotatsiya samaradorligini belgilovchi asosiy parametrlar hisoblanadi. Apatit yuzasining gidroksillanishi, Ca^{2+}, F^{-}, PO_4^{3-} kabi ionlarning ta’siri, kollektor va ko‘pik hosil qiluvchi reagentlarning tanlanishi jarayonning ilmiy asosini tashkil etadi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, mineral yuzasidagi faol markazlarning o‘zgarishi flotatsiyaning selektivligini o‘zgartiradi, ayrim hollarda esa reagentlarning adsorbsiyasida

ISSN 3030-3907

qiyinchiliklar tug‘diradi. Bu esa ko‘pikli flotatsiya jarayonining murakkabligini yana bir bor tasdiqlaydi.

Kimyoviy boyitish usullari karbonatli va loy aralashmali past navli rudalar uchun qo‘llanilganda samarali natija beradi. Kislotalar bilan ishlov berish zararli aralashmalarni parchalaydi, fosfatning kontsentratsiyasini oshiradi. Ammo sulfat kislotasi asosidagi an’anaviy texnologiyalarda gipsning katta hajmda hosil bo‘lishi, aralashtirgichlarning tez yeyilishi va ekspluatatsiya xarajatlarining yuqoriligi kabi muammolar mavjud.

Shu nuqtai nazardan, kimyoviy qayta ishlashga yondashuvlar — in situ eritish, vat-leaching, heap-leaching — fosfatni qayta ishlashning istiqbolli va ekologik xavfsiz alternativ usullari sifatida e’tirof etiladi. Bu texnologiyalar gips chiqindilarini kamaytiradi, kimyoviy reagentlardan foydalanishni optimallashtiradi va sanoat jarayonlarini soddalashtiradi. Mis, oltin va uran sanoatida keng qo‘llanilib kelinayotgan bu texnologiyalarning fosforit sanoatiga moslashtirilishi iqtisodiy va texnologik samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

Umuman olganda, fosforit rudalarini boyitish jarayoni murakkab, ko‘p bosqichli va geologik sharoitlar bilan chambarchas bog‘liq hisoblanadi. Boyitishning har bir usuli o‘zining afzallik va kamchiliklariga ega bo‘lib, ular kombinatsiyada qo‘llanilganda eng samarali natija beradi. Shu bois, fosforit resurslarini qayta ishlashda texnologiyaning ilmiy asoslarini chuqur o‘rganish, reagentlar tanlovini optimallashtirish hamda energiya-tejamkor, ekologik xavfsiz texnologiyalarni joriy etish muhim strategik vazifa hisoblanadi.

Xulosa. Fosforit rudalarini boyitish bo‘yicha olib borilgan tahlillar shuni ko‘rsatadiki, yuqori sifatli fosfat konsentratlari olish jarayoni rudaning geologik xususiyatlari, uning fizik-kimyoviy tarkibi va tanlangan texnologiyalarga bevosita bog‘liqdir. Mexanik boyitish usullari ruda tarkibini dastlabki ajratishda samarali bo‘lsa, flotatsiya usuli apatit minerallarini selektiv ajratishda eng muhim bosqich hisoblanadi. Kimyoviy boyitish past navli va aralashmalarga boy rudalar uchun qo‘shimcha imkoniyat yaratadi, kimyoviy qayta ishlash texnologiyalar esa ekologik xavfsiz va istiqbolli yechim sifatida e’tirof etiladi. Umuman olganda, fosforit resurslaridan samarali foydalanish zamonaviy texnologiyalarni kompleks qo‘llash, chiqindilarni kamaytirish va iqtisodiy-texnologik jarayonlarni optimallashtirishni talab qiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:

1. Doniyarov, N.A., Xushvaqtova, D.Sh, Xo‘jaqulov, A.M., & Boymurodov, N.A. (2025). FOSFORIT KONLARINI GEOLOGIK, IQTISODIY VA TEXNOLOGIK JIHATDAN TAHLIL QILISH MEZONLARI. Journal of Advances in Engineering Technology, (1), 33-38.

2. Yu L., va boshq. “A Critical Review on the Flotation Reagents for Phosphate

ISSN 3030-3907

Ores.” Minerals, 2024. MDPI
3. Derhy M., Taha Y., Hakkou R., Benzaazoua M. “Review of the Main Factors Affecting the Flotation of Phosphate Ores.” Minerals, 2020. MDPI
4. Kawatra S. Komar, Carlson J.T. Beneficiation of Phosphate Ore. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, 2013. Google Книги
5. Houot R. “Beneficiation of phosphatic ores through flotation: Review.” International Journal of Mineral Processing, 1982. ScienceDirect
6. Alsafasfeh A. “Optimization of flotation efficiency of phosphate minerals in …” 2022.
7. Al-Fariss T.F. “Beneficiation of Saudi phosphate ores – Part II.” 2007.

ISSN 3030-3907