

NAMANGAN DAVLAT
UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-9]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427



02.00.00-KIMYO FANLARI
journal.namdu.uz
CHEMICAL SCIENCES

FOSFAT XOM ASHYOSINI QAYTA ISHLASH VA UNING CHIQINDILARIDAN FOSFAT KISLOTASINI OLIISH USULLARI

Sultonov Boxodir Elbekovich

Namangan davlat universiteti

Kimyo kafedrasi professori, t.f.d., prof.,

E-mail: bse-chemist-68@mail.ru, ORCID:0000-0001-9992-0859

Turdaliyeva Surayyo Xusniddin qizi

Namangan davlat universiteti 1- kurs tayanch-doktoranti, ORCID:0009-0006-8255-3806

Annotatsiya: Ushbu maqolada fosfat xom ashyosining tabiiy zahiralari, kimyoviy-mineralogik tarkibi va sanoat ahamiyati, shuningdek undan fosfat kislotasini olishning zamonaviy sanoat usullari — termik (elektrotermik) va ekstraksiya ("nam") usullar - tahlil qilingan. Fosfat kislotasi ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan asosiy chiqindi mahsulot - fosfogips, shuningdek fforli birikmalar va minerallashgan massa, ulardan qo'shimcha fosfat kislotasi va boshqa qimmatli komponentlarni ajratib olish texnologiyalari ko'rib chiqilgan. Qizilqum fosforitlari misolida xom ashyoning texnologik xususiyatlari tahlil etilib, digidrat, yarimgidrat va angidrit jarayonlarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari qiyoslangan. Chiqindisiz va kam chiqindili texnologiyalarni joriy etishning ekologik-iqtisodiy samaradorligi asoslab berilgan.

Kalit so'zlar: fosforit, apatit, fosfat kislotasi, ekstraksiya usuli, termik usul, fosfogips, chiqindilarni qayta ishlash.

МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ И ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ЕГО ОТХОДОВ

Аннотация: В данной статье проанализированы природные запасы, химико-минералогический состав и промышленное значение фосфатного сырья, а также современные промышленные методы получения из него фосфорной кислоты - термический (электротермический) и экстракционный ("мокрый") способы. Рассмотрен основной побочный продукт, образующийся в процессе производства фосфорной кислоты - фосfogипс, а также фторсодержащие соединения и минерализованная масса, и технологии извлечения из них дополнительной фосфорной кислоты и других ценных компонентов. На примере кызылкумских фосфоритов проанализированы технологические особенности сырья, сопоставлены технико-экономические показатели дигидратного, полугидратного и ангидритного процессов. Обоснована экологическая и экономическая эффективность внедрения безотходных и малоотходных технологий.

Ключевые слова: фосфорит, апатит, фосфорная кислота, метод экстракции, термический метод, фосfogипс, переработка отходов.

METHODS FOR REPROCESSING PHOSPHATE RAW MATERIALS AND OBTAINING PHOSPHORIC ACID FROM ITS WASTE

Abstract: This article analyzes the natural reserves, chemical-mineralogical composition, and industrial significance of phosphate raw materials, as well as the modern industrial methods used to obtain phosphoric acid from them - the thermal (electrothermal) method and the extraction ("wet") method. It examines phosphogypsum, the main by-product formed during phosphoric acid production, along with fluorine compounds and mineralized mass, and the technologies for recovering additional phosphoric acid and other valuable components from them. Using Kyzylkum phosphorites as an example, the technological properties of the raw material are analyzed, and the technical and economic indicators of the dihydrate, hemihydrate, and anhydrite processes are compared. The environmental and economic efficiency of introducing waste-free and low-waste technologies is substantiated.

Keywords: phosphorite, apatite, phosphoric acid, extraction method, thermal method, phosphogypsum, waste processing.

1. KIRISH

Fosforit zahiralari 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 [1]. 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' lgani aniqlangan. Ba'zi hududlarda fosfatli jinslar vavellit, biryuza, kvars va boshqa minerallar bilan birga uchraydi [2]. Shuningdek Qoraqalpog' iston fosforitlarining umumiy zahirasi 70–80 mln tonna deb hisoblanadi. Ular tarkibidagi fosfor (P_2O_5) ozuqasi nisbatan kam bo' lib 6,19–22,84% ni tashkil etadi. Xo' jako' l, Borlitog' va Sulton Uizdog' fosforitlarining 3 mm dan kichik fraksiyalarida P_2O_5 ning miqdori yuqoriligi kuzatiladi. 2,5–5,5% gacha P_2O_5 limon kislotada eruvchan birikmalar holida bo' ladi. Sulton Uizdog' fosforitlarida 16–19,9% P_2O_5 , 15,5–21,0% CaO, 10–11% b.q. va 7,70% gacha CO_2 bo' ladi. Rudada karbonat minerallari kalsiy hisobida 26–45% gacha yetadi. Ularda Fe_2O_3 : Al_2O_3 < 2% Beshtepa, Ushtagon, Borlitog' fosforit namunalari tarkibidagi P_2O_5 bo' yicha ancha kambag' al hisoblanib ulardagi miqdori 5,80 dan 7,78% gacha bo' ladi. Barcha namunalarda natriyning miqdori kaliyga nisbatan ikki va undan yuqori, ulardagi F: P_2O_5 nisbati 0,025–0,049 oralig' ida bo' ladi. 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. [3,4]

2. MATERIALLAR VA USULLAR

2.1. Fosfat xom ashyosining tavsifi va sanoat ahamiyati

Fosfor — tabiatda keng tarqalgan elementdir. Uning yer qobig' idagi miqdori og' irlik bo' yicha 0,08–0,12% ni yoki yer qobig' idagi atomlarning umumiy soni bo' yicha ~0,07% ni tashkil qiladi. Elementar fosfor va uning oksidlari yuqori kimyoviy aktivlikka ega bo' lganligi sababli u yer qobig' ida kimyoviy barqaror, suvda va tuproq eritmalarida erimaydigan minerallar shaklida bo' ladi. Bu minerallar tarqoq va ba'zan esa yirik to' planishlar tarzida uchraydi. 20 sm chuqurlikkacha 1 gektar tuproqdagi fosforning zahirasi 300 dan 6000 kg gachani tashkil etadi. [5] Tabiatda 120 dan ortiq turdagi fosfatli minerallar uchraydi. Apatit guruhidagi minerallar, ulardan eng asosiysi — ftorapatit $Ca_5F(PO_4)_3$ eng keng tarqalgan va sanoat ahamiyatiga ega bo' lgan mineral hisoblanadi. [5] Fosfat xom ashyosi tabiatda ikki asosiy shaklda uchraydi: magmatik kelib chiqishga ega apatit rudalari (Kola yarim oroli, Rossiya) va cho' kindi kelib chiqishga ega fosforitlar (Qizilqum, Marokash, Xitoy, AQSh konlari). Apatit rudalari yuqori sifatli bo' lib, tarkibida 36–39% P_2O_5 saqlanadi, fosforitlarda esa bu ko' rsatkich odatda 18–32% oralig' ida bo' ladi, bu esa ularni boyitish (flotatsiya, yuvish) zaruriyatini keltirib chiqaradi [5]. Qizilqum fosforitlari asosan kremniyli-karbonatli tipga mansub bo' lib, tarkibida 22–26% P_2O_5 , sezilarli miqdorda kalsiy va magniy karbonatlari, kremniy oksidi hamda organik moddalar saqlanadi. Bunday xom ashyoni qayta ishlashda karbonatlarning yuqori miqdori kislota sarfini oshiradi va tayyor mahsulot sifatiga salbiy ta'sir ko' rsatadi, shuning uchun boyitish bosqichi (mexanik-kimyoviy boyitish, termik faollashtirish) muhim ahamiyat kasb etadi [6]. Fosfat konlarini geologik jihatdan o' rganish shuni ko' rsatadiki, ular hosil bo' lish sharoitiga ko' ra uch guruhga bo' linadi: magmatik (apatit-nefelinli rudalar), cho' kindi (fosforit qatlamlari, plitalari) hamda metamorfik kelib chiqishga ega konlar. Qizilqum havzasidagi fosforitlar bo' r davri cho' kindilariga mansub bo' lib, ular asosan qatlamli va donador-qatlamli teksturaga ega. Bu konlarning xarakterli xususiyati - P_2O_5 miqdorining qatlam bo' ylab notekis taqsimlanishi bo' lib, bu esa konni ochiq usulda qazib olishda selektiv qazish va aralashtirish (shixtalash) choralari ko' rishni taqozo etadi. Fosfat xom ashyosini boyitishning asosiy usullari qatoriga flotatsiya, gravitatsion boyitish (yuvish, sinflash), magnitli separatsiya va termik boyitish (kalsinatsiya) kiradi. Qizilqum fosforitlari uchun eng samarali usul — mexanik yuvish bilan flotatsiyani birgalikda qo' llash hisoblanadi, bu esa konsentratdagi P_2O_5 miqdorini 26–28% gacha, ayrim hollarda 30% gacha oshirish imkonini beradi [7,8]. Boyitish jarayonida ajralib chiqadigan mayda fraksiyalari chiqindilar (shlamlar) ham o' z navbatida qo' shimcha qayta ishlashni talab qiladigan ikkilamchi xom ashyo hisoblanadi. Fosfat xom ashyosining sifat ko' rsatkichlari nafaqat P_2O_5 miqdori bilan, balki texnologik xususiyatlar — karbonat (CaO/P_2O_5 nisbati), kremniy va organik moddalar miqdori bilan ham baholanadi. Karbonat miqdorining yuqori bo' lishi kislota sarfini oshiribgina qolmay, balki ekstraktsiya jarayonida ko' pik hosil bo' lishi va uskunalarning tez yeyilishiga ham sabab bo' ladi. Shu bois xom ashyoni qabul qilishdan oldin uning to' liq texnologik-kimyoviy tahlili o' tkazilishi shart. Apatit konsentrati va Qizilqum fosforitining o' rtacha kimyoviy tarkibi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Apatit konsentrati va Qizilqum fosforitining o' rtacha kimyoviy tarkibi

Ko' rsatkich	Apatit konsentrati	Qizilqum fosforiti
P_2O_5 , %	36–39	22–26
CaO, %	50–52	42–46
Karbonat moduli CO_2/CaO	Kam	Ko' p
SiO_2 , %	1,0–3,0	8,0–14,0

Ftor (F), %	2,8–3,2	2,0–2,6
Kalsiyli modul (CaO/P ₂ O ₅)	1,3–1,4	2,3–2,9

2.2. Fosfat kislotasini olishning sanoat usullari

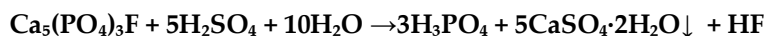
Sanoatda fosfat kislotasini olishning ikki asosiy usuli qo' llaniladi: termik (elektrotermik) usul va ekstraksion ("ho' l") usul. Ularning tanlanishi xom ashyo sifati, talab etiladigan mahsulot tozaligi va iqtisodiy omillarga bog' liq.

2.2.1. Termik (elektrotermik) usul

Termik usulda fosfat xom ashyosi kremniy oksidi va koks bilan aralashtirilib, elektr pechlarida 1400–1500°C haroratda qaytariladi. Natijada elementar fosfor (P₄) bug' hoida ajralib chiqadi, u suv ostida kondensatsiya qilinib, keyin havoda yoki kislorod bilan yondirilib P₂O₅ hosil qilinadi, so' ngra u suvda eritilib yuqori tozalikdagi termik fosfat kislotasi olinadi. Bu usul bilan olingan kislota tarkibida deyarli metall aralashmalari bo' lmaydi, shuning uchun u oziq-ovqat, farmatsevtika va elektronika sanoati uchun ishlatiladi. Usulning kamchiligi — yuqori energiya sarfi (1 tonna fosfor olish uchun 13–15 ming kVt-soat elektr energiya talab qilinadi), bu esa uni faqat elektr energiyasi arzon hududlarda iqtisodiy jihatdan maqbul qiladi [9].

2.2.2. Ekstraksion ("ho' l") usul

Ekstraksion usul — sanoatda eng ko' p tarqalgan usul bo' lib, dunyo bo' yicha fosfat kislotasi ishlab chiqarishining 90% dan ortig' ini tashkil etadi. Bu usulda fosfat xom ashyosi (apatit yoki fosforit kukuni) sulfat kislotasi bilan parchalanadi [10]:



Reaksiya natijasida fosfat kislotasi eritmasi va yonma-yon mahsulot sifatida kalsiy sulfat (fosfogips) cho' kmaga tushadi, ular filtrlash orqali ajratiladi. Jarayon davomida hosil bo' ladigan kalsiy sulfatning kristall shakliga qarab uchta asosiy jarayon farqlanadi:

Digidrat jarayoni (CaSO₄·2H₂O) — 60–80°C haroratda olib boriladi, texnologik jihatdan eng sodda va keng tarqalgan, biroq olingan kislota konsentratsiyasi past (26–32% P₂O₅) [11].

Yarimgidrat jarayoni (CaSO₄·0,5H₂O) — 90–100°C haroratda olib boriladi, yuqori konsentratsiyali kislota (40–45% P₂O₅) olish imkonini beradi, biroq korroziyaga chidamli uskunalar talab etadi [11,12].

Angidrit jarayoni (CaSO₄) — yuqori harorat (100–120°C) sharoitida olib boriladi, eng yuqori sifatli fosfogips (qurilish sanoatida qo' llash uchun) hosil bo' ladi, biroq energiya sarfi yuqori [11].

2.2.3. Klinker usulida ekstraksion fosfat kislota olish usuli

Klinker usuli ekstraksion fosfat kislota ishlab chiqarishning maxsus turi bo' lib, u birinchi navbatda past sifatli, karbonatliligi yuqori fosforitli xomashyoni qayta ishlash muammosini hal qilish maqsadida ishlab chiqilgan. Odatiy digidrat yoki yarimgidrat usullarida CaCO₃ va MgCO₃ miqdori 5–8% dan oshgan xomashyoni qayta ishlash quyidagi muammolarni keltirib chiqaradi:

Sulfat kislota sarfining ortishi (karbonatlar ham kislota bilan reaksiyaga kirishadi)

Ko' p miqdorda CO₂ gazi ajralib chiqishi natijasida pulpaning ko' pirishi

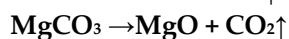
Gips kristallarining mayda va notekis shakllanishi, natijada filtrlash tezligining pasayishi

Tayyor mahsulotda erimaydigan qoldiqlarning ko' payishi [13,14]

Klinker usuli aynan shu kamchiliklarni bartaraf etadi, chunki karbonatlar termik yo' l bilan oldindan chiqarib yuboriladi.

Kimyoviy jarayonning fizik-kimyoviy mohiyati

Klinkerlash bosqichida quyidagi asosiy reaksiyalar sodir bo' ladi:



Bundan tashqari, yuqori haroratda fosforit tarkibidagi ftorapatit qisman parchalanadi va ftor birikmalari (SiF₄, HF) gaz fazasiga o' tadi, bu esa keyinchalik olinadigan kislota tarkibidagi ftor miqdorini kamaytiradi — bu sanoat uchun qo' shimcha ijobiy jihat hisoblanadi. Shu bilan birga klinkerlash natijasida hosil bo' lgan mahsulot g' ovak, yuqori solishtirma yuza maydonga ega bo' lib, uning kislotalarda eruvchanligi dastlabki xomashyoga nisbatan sezilarli darajada yaxshilanadi [15,16].

Iqtisodiy va ekologik jihatlar

Klinker usulining qo' shimcha energiya sarfi (yoqilg' i xarajatlari yuqori haroratli kuydirish uchun) uning asosiy iqtisodiy kamchiligi hisoblanadi. Biroq bu xarajatlar quyidagilar hisobiga qoplanadi:

Sulfat kislota sarfining kamayishi

Mahsulot sifatining oshishi (yuqori P₂O₅ konsentratsiyasi, kam qoldiq)

Filtrlash jarayonining tezlashishi, natijada uskunalar unumdorligining oshishi

Past sifatli, arzon xomashyoni ishlatish imkoniyati

Ekologik jihatdan, klinkerlash bosqichida ajralib chiquvchi CO₂ va ftorli gazlarni tutish uchun gaz tozalash tizimlari o' rnatilishi shart, aks holda atrof-muhitga zararli ta'sir yuzaga keladi [17,18].

2.2.4. Jarayon parametrlarining fosfat kislotasi sifatiga ta'siri

Ekstraksiya jarayonining texnologik samaradorligi bir qator omillarga bog' liq: reaksiya harorati, sulfat kislotasi konsentratsiyasi, xom ashyo maydalanish darajasi, aralashtirish intensivligi va jarayon davomiyligiga. Haroratning oshishi reaksiya tezligini oshiradi, biroq ma'lum chegaradan yuqorida kalsiy sulfat kristallarining noto' g' ri shakllanishiga va filtrlash xususiyatlarining yomonlashishiga olib keladi. Shu sababli har bir xom ashyo turi uchun optimal texnologik rejim tajriba yo' li bilan aniqlanadi. Sulfat kislotasi ortiqcha yoki yetarli bo' limgan miqdorda berilishi ham muhim ahamiyatga ega: kislota yetishmasa, reaksiya to' liq bormay, xom ashyo tarkibidagi P₂O₅ to' liq ochilmaydi; ortiqcha kislota esa kalsiy sulfat cho' kmasining mayda kristallanishiga va natijada filtrlashning qiyinlashishiga sabab bo' ladi. Amaliyotda stexiometrik miqdordan 3–5% ortiqcha sulfat kislotasi berish optimal hisoblanadi. Shuningdek olingan fosfat kislotasi eritmasi keyingi bosqichda bug' latish orqali konsentrlanadi (odatda 40–54% P₂O₅ gacha), tozalanadi (ekstraksiya, sorbsiya yoki kristallanish usullari bilan og' ir metallar va sulfatlardan tozalash) hamda mineral o' g' itlar, texnik yoki oziq-ovqat mahsulotlari uchun mos holatga keltiriladi. Texnik fosfat kislotasi asosan ammofos, diammmofos va murakkab o' g' itlar ishlab chiqarishda, tozalangan kislota esa oziq-ovqat qo' shimchalari va farmatsevtika sanoatida qo' llaniladi.

2.3. Fosfat kislotasi ishlab chiqarish chiqindilari va ularni qayta ishlash

Ekstraksiya usulda 1 tonna P₂O₅ olish uchun o' rtacha 7–8 tonna fosfogips hosil bo' ladi. Bu chiqindi tarkibida 92–95% kalsiy sulfat bilan bir qatorda 0,5–1,5% ajratib olinmagan P₂O₅, ftor birikmalari, radioaktiv elementlar (uran, radiy) va organik aralashmalar saqlanadi. Dunyo bo' yicha yiliga 200 mln tonnadan ortiq fosfogips hosil bo' lib, uning atigi 15–20% qayta ishlanadi, qolgani esa maxsus poligonlarda saqlanadi, bu esa katta ekologik muammo tug' diradi [17,18].

2.3.1. Fosfogipsdan qo' shimcha fosfat kislotasini ajratib olish

Fosfogips tarkibidagi ajratib olinmagan P₂O₅ quyidagi usullar bilan qo' shimcha ekstraksiya qilinadi:

Suvli-kislotali qayta ishlash - fosfogips suyultirilgan sulfat yoki fosfat kislotasi eritmasi bilan qayta ishlanadi, natijada erimagan P₂O₅ eritmaga o' tadi va u asosiy kislota oqimiga qaytariladi [18].

Konversiya usuli - fosfogips ammiak yoki natriy karbonat bilan ishlov berilib, kalsiy karbonat va ammoniy (yoki natriy) sulfat hosil qilinadi, bunda ajralib chiqqan eritmada qo' shimcha fosfat birikmalari ajratib olinadi [19].

Termokimyoviy qayta ishlash - fosfogips koks bilan yuqori haroratda qayta tiklanib, oltingugurt oksidi (SO₂) va kalsiy oksidi hosil qilinadi; SO₂ sulfat kislotasi ishlab chiqarishga, CaO esa qurilish materiallariga yo' naltiriladi, bu esa amalda chiqindisiz aylanma texnologiyani tashkil etish imkonini beradi [20].

2-jadval.

Fosfogipsni qayta ishlash usullarining qiyosiy texnologik ko' rsatkichlari

Qayta ishlash usuli	Jarayon sharoiti	P ₂ O ₅ ajratish darajasi, %	Harajat miqdori
Suvli-kislotali qayta ishlash	40–60°C, suyultirilgan kislota	60–65	Past
Konversiya (NH ₃ yoki Na ₂ CO ₃)	20–40°C, neytrallash	70–80	O' rtacha
Termokimyoviy qayta ishlash	900–1100°C, koks bilan	90–95	Yuqori

2.3.2. Fosfogipsni tuproq va qurilish sohasida bevosita qo' llash

Fosfogipsni chuqur kimyoviy qayta ishlamasdan bevosita qo' llashning bir necha samarali yo' nalishlari mavjud. Qishloq xo' jaligida u sho' rlangan va ishqorli tuproqlarni melioratsiya qilish uchun gips-melioranti sifatida qo' llaniladi, chunki tarkibidagi kalsiy ionlari tuproqdagi natriyni almashtirib, tuproqning fizik-kimyoviy xususiyatlarini yaxshilaydi. Qurilish sohasida fosfogips gips bog' lovchi materiallar, gips kartoni, sement ishlab chiqarishda mineralizator qo' shimcha hamda yo' l qurilishida asos qatlam sifatida ishlatiladi. Bunday bevosita qo' llash chuqur qayta ishlashga qaraganda ancha arzon bo' lib, chiqindi hajmini tezkor kamaytirish imkonini beradi, biroq tarkibidagi qoldiq kislotalilik va ftor birikmalarini oldindan neytrallashni talab qiladi [21,22].

2.3.3. Ftorli birikmalarni va boshqa qo' shimcha mahsulotlarni ajratib olish

Fosfat kislotasi ishlab chiqarish jarayonida ajralib chiqadigan vodorod ftoridi (HF) va kremniyli ftorid birikmalari (H₂SiF₆) maxsus absorbsion qurilmalarda ushlab qolib, kriolit, ftorid tuzlari va ftorit ishlab chiqarishda xom ashyo sifatida qo' llaniladi. Bu nafaqat qo' shimcha daromad manbai, balki atmosferaga zaharli ftor birikmalarining chiqishini keskin kamaytiruvchi ekologik chora hamdir [23]. Shuningdek, fosfat shlamlari va cho' kmalardan kamdan-kam yer elementlari (lantanoidlar) hamda uran birikmalarini ajratib olish bo' yicha texnologiyalar ham sanoatda sinovdan o' tkazilmoqda.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tahlil natijalari shuni ko'rsatadiki, Qizilqum fosforitlarining past sifatliqligi va yuqori karbonat moduli sababli ularni ekstraksiya usulida qayta ishlashda sulfat kislotasi sarfi 8–12% ga oshadi, bu esa yarimgidrat yoki yarimgidrat-digidrat kombinatsion jarayonlarini qo'llashni iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq qiladi, chunki bu jarayonlar yuqori konsentratsiyali kislota olish bilan bir qatorda karbonatlarning parchalanishidan hosil bo'ladigan CO₂ gazini samaraliroq ajratib chiqarish imkonini beradi. Fosfogipsni qayta ishlash texnologiyalarini qiyosiy tahlil qilish natijasida shuni ta'kidlash mumkinki, suvli-kislotali qayta yuvish usuli eng kam qo'shimcha xarajat talab qiladigan, biroq eng past samaradorlikka ega usul hisoblanadi (P₂O₅ ajratib olish darajasi 60–65%). Termokimyoviy usul esa yuqori samaradorlikka ega (95% gacha), biroq katta energiya va kapital xarajatlarni talab etadi. Shu sababli, texnologiyani tanlashda mintaqadagi energiya narxi, chiqindilarni saqlash uchun ajratilgan maydonlarning tanqisligi va ekologik talablarning hisobga olinishi lozim. Shuningdek, fosfogipsni qurilish materiallari (gips bog'lovchilari, sement ishlab chiqarishda kremniy-kalsiyli qo'shimcha, yo'l qurilishida asos qatlami) sifatida bevosita, qayta ishlamasdan qo'llash — eng arzon va tez amalga oshiriladigan yo'nalish bo'lib, u fosfat kislotasi ishlab chiqarish korxonalarining ekologik yukini sezilarli darajada kamaytiradi va bir vaqtning o'zida qo'shimcha xom ashyo tanqisligini qisman hal etadi. Umumiy holda, fosfat xom ashyosini kompleks qayta ishlash va uning chiqindilaridan qo'shimcha mahsulot olish tizimini joriy etish korxonaning P₂O₅ bo'yicha umumiy chiqim koeffitsiyentini 3–5% ga kamaytirish, ekologik to'lovlarni qisqartirish va qo'shimcha rentabellikni ta'minlash imkonini beradi. Iqtisodiy-ekologik samaradorlikni baholashda quyidagi omillar hisobga olinishi lozim: fosfogips poligonlarini tashkil etish va ularni ekspluatatsiya qilish xarajatlari, chiqindilarni saqlash uchun ajratilgan yer maydonlarining muqobil qiymati, atrof-muhitni muhofaza qilish bo'yicha to'lovlar hamda qayta ishlash natijasida olinadigan qo'shimcha mahsulotlarning bozor qiymati. Xorijiy tajriba (Marokash, Xitoy, AQSh) shuni ko'rsatadiki, fosfogipsni kompleks qayta ishlashga yo'naltirilgan investitsiyalar o'rtacha 5–7 yil ichida o'zini qoplaydi, bundan tashqari korxonaning ekologik reytingi va mahalliy aholi bilan munosabatlari ham sezilarli darajada yaxshilanadi. O'zbekiston sharoitida, xususan Qizilqum fosforitlariga asoslangan korxonalarda, fosfogipsni bosqichma-bosqich qayta ishlashga o'tish strategiyasi maqsadga muvofiq hisoblanadi: birinchi bosqichda uni qurilish materiallari sifatida bevosita qo'llash hajmini kengaytirish, ikkinchi bosqichda esa qo'shimcha P₂O₅ va ftor birikmalarini ajratib olishga mo'ljallangan mahalliy qurilmalarni joriy etish. Bunday yondashuv kapital harajatlarni bosqichma-bosqich taqsimlash va texnologik xatarlarni kamaytirish imkonini beradi.

4. XULOSA

1. Fosfat xom ashyosini qayta ishlashning ikkita asosiy sanoat usuli - termik va ekstraksiya usullari - o'z afzallik va kamchiliklariga ega bo'lib, ularning tanlanishi xom ashyo sifati, talab etiladigan mahsulot tozaligi va energiya resurslariga bog'liq.
2. Qizilqum fosforitlarining texnologik xususiyatlarini hisobga olgan holda, yarimgidrat-digidrat kombinatsion jarayonlarini qo'llash eng maqbul yechim hisoblanadi.
3. Fosfat kislotasi ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'ladigan fosfogips va ftorli chiqindilarni qayta ishlash texnologiyalari nafaqat qo'shimcha P₂O₅, ftor birikmalari va qurilish materiallari olish imkonini beradi, balki ishlab chiqarishning ekologik xavfsizligini ham ta'minlaydi.
4. Fosfat sanoati korxonalarida chiqindisiz va kam chiqindili texnologiyalarni joriy etish -nafaqat ekologik, balki iqtisodiy jihatdan ham maqsadga muvofiq strategik yo'nalish hisoblanadi va kelgusi tadqiqotlar uchun istiqbolli mavzu bo'lib qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. USGS. Mineral Commodity Summaries 2025: Phosphate Rock. U.S. Geological Survey, 2025. - <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-phosphate.pdf>
2. Кислотное разложение природных фосфоритов с применением активирующих воздействий: дис. ... канд. техн. наук / ПХТУ им. Д.И. Менделеева. — М., 2020.
3. Приложение № 7 к протоколу заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Республики Узбекистан: материалы по фосфоритовым месторождениям (Султон Уиздог, Ходжакуль, Барлитау). - Ташкент, 2026.
4. Минералогический состав фосфоритных руд месторождений Ривот и Каратаг // КиберЛенинка. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineralogicheskiy-sostav-fosforitnyh-rud-mestorozhdeniy-rivat-i-karatag>
5. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений. — Л.: Химия, 1989. — 336 с.
6. Донияров Н.А., Муродов И. ва др. Исследование комбинированной технологии обогащения низкосортных фосфоритовых руд Центральных Кызылкумов // ResearchGate, 2020.
7. Изучение влияния новых флотационных реагентов на минералы фосфоритовых руд Кызылкумов при комбинированном обогащении // Universum: технические науки. — 2019.

8. Экстракционная фосфорная кислота из обогащенного азотной кислотой мытого, обожженного фосконцентрата Централных Кызылкумов // Universum: технические науки. — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5051>

9. Тураев К.К. ва б. Электротермический способ получения фосфорной кислоты // Теоретические основы химической технологии. — 2022. — Т. 56, № 2.

10. Экстракция фосфорной кислоты из природных фосфатов: учеб. пособие / СПбГТИ(ТУ).- URL: <https://spbti.ru/public/userfiles/files/faculty1/minerals/efk.pdf>

11. Нодиров А.А., Султонов Б.Э., Абдуллажанов О.А., Холматов Д.С. Марказий Қизилқум фосфоритларидан экстракцион фосфат кислота олишнинг клинкер усули // НамДУ илмий ахборотномаси, 7-сон, 2021, 69-75 б.

12. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 2-2019 «Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот». Раздел 4. Производство фосфорной кислоты.

13. Турсунова З.М., Султанов Б.Э., Намазов Ш.С., Эркаев А.У., Беглов Б.М. Получение экстракционной фосфорной кислоты из химически обогащенного концентрата фосфоритов Централных Кызылкумов.// Хим. пром-сть сегодня. Москва. 2003. №8. С. 36-38.126.

14. Намазов Ш.С., Садыков Б.С., Волынскова Н.В., Сейтназаров А.Р., Исаев Р.Д., Беглов Б.М. Экстракционная фосфорная кислота из мытого обожженного фосконцентрата Централных Кызылкумов, содержащего 26% P_2O_5 // Химическая промышленность. - Санкт-Петербург, 2014. - т. 91, №5. - С. 225-236.

15. Нодиров А.А., Султонов Б.Э., Холматов Д.С., Турдалиева С.Х. Влияние нормы и концентрации серной кислоты на параметров экстракционной фосфорной кислоты, полученных клинкерным способом из мытого обожженного фосфоритового концентрата // Universum, технические науки, №3(96), март, 2022 г.

16. Б.Э.Султонов, Ш.С.Намазов, А.А.Нодиров, Д.С.Холматов. Изучение процесса клинкерного способа получения экстракционной фосфорной кислоты из мытого обожженного фосфоритового концентрата // Ўзбек кимё журнали, 2022 йил махсус сони, 39-44 б.

17. Challenges and Strategies for the Sustainable Environmental Management of Phosphogypsum // Sustainability. — 2025. — Vol. 17, № 8. — Art. 3473 (MDPI).

18. Способ переработки фосфогипса: пат. RU 2610186 C1 / Рос. Федерация. — Оpubл. 2017.

19. Способ переработки фосфогипса методом конверсии карбонатом натрия: пат. RU 2680589 C1 / Рос. Федерация. — Оpubл. 2019.

20. Способ комплексной переработки фосфогипса: пат. RU 2258036 C1 / Рос. Федерация. — Оpubл. 2005.

21. Фосфогипс — мелиорант и почвоулучшитель // ЕвроХим Россия. — URL: <https://agro.eurochem.ru/opyt-i-konsultirovanie/polevye-opyty/fosfogips-meliorant-i-pochvouluchshitel>

22. Recent research in utilization of phosphogypsum as building materials: Review // Case Studies in Construction Materials. — 2023 (ScienceDirect).

23. Методы получения гексафторсиликата натрия из отходящих газов производства фосфорных удобрений (обзор) // КиберЛенинка.

References

1. USGS. Mineral Commodity Summaries 2025: Phosphate Rock. U.S. Geological Survey, 2025. - <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-phosphate.pdf>

2. Kislотноe razlozhenie prirodnykh fosforitov s primeneniem aktiviruyushix vozdeystviy: dis. ... kand. texn. nauk / RXTU im. D.I. Mendeleeva. — M., 2020.

3. Prilozhenie № 7 k protokolu zasedaniya Gosudarstvennoy komissii po zapasam poleznykh iskopaemiy Respubliki Uzbekistan: materialy po fosforitovim mestorozhdeniyam (Sulton Uizdog, Xodjakul', Barlitau). -Tashkent, 2026.

4. Mineralogicheskiy sostav fosforitnykh rud mestorozhdeniy Rivot i Karatag // KiberLeninka. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineralogicheskiy-sostav-fosforitnykh-rud-mestorozhdeniy-rivat-i-karatag>

5. Pozin M.E. Teknologiya mineral'nykh udobreniy. — L.: Ximiya, 1989. — 336 s.

6. Doniyarov N.A., Murodov I. va dr. Issledovanie kombinirovannoy texnologii obogasheniya nizkosortnykh fosforitovix rud Sentral'nykh Kizilkumov // ResearchGate, 2020.

7. Izuchenie vliyaniya novyx flotatsionnykh reagentov na minerali fosforitovix rud Kizilkumov pri kombinirovannom obogashenii // Universum: texnicheskie nauki. — 2019.

8. Ekstraktsionnaya fosfornaya kislota iz obogashennogo azotnoy kislotoy mitogo, obojennogo foskonsentrata Sentral'nykh Kizilkumov // Universum: texnicheskie nauki. — URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/5051>

9. Turaev K.K. va b. Elektrotermicheskiy sposob polucheniya fosfornoy kisloti // Teoreticheskie osnovi ximicheskoy texnologii. — 2022. — Т. 56, № 2.

10. Ekstraksiya fosforinoy kisloti iz prirodnix fosfatov: ucheb. posobie / SPbGTI(TU).- URL:<https://spbti.ru/public/userfiles/files/faculty1/minerals/efk.pdf>
11. Nodirov A.A., Sultonov B.E., Abdullajanov O.A., Xolmatov D.S. Markaziy Qizilqum fosforitlaridan ekstraksiya fosfat kislotasi olishning klinker usuli // NamDU ilmiy axborotnomasi, 7-son, 2021, 69-75 b.
12. Informatsionno-texnicheskii spravochnik po nailuchshim dostupnim tekhnologiyam ITS 2-2019 «Proizvodstvo ammiaka, mineral'nykh udobreniy i neorganicheskikh kislot». Razdel 4. Proizvodstvo fosforinoy kisloti.
13. Tursunova Z.M., Sultanov B.E., Namazov Sh.S., Erkaev A.U., Beglov B.M. Polucheniye ekstraktsionnoy fosforinoy kisloti iz khimicheskii obogashennogo konsentratasi fosforitov Sentral'nykh Kizilkumov.// Xim. prom-st' segodnya. Moskva. 2003. №8. S. 36-38.126.
14. Namazov Sh.S., Sadikov B.S., Volinskova N.V., Seytnazarov A.R., Isaev R.D., Beglov B.M. Ekstraktsionnaya fosforinaya kislotasi iz mitogo obojennogo foskonsentratasi Sentral'nykh Kizilkumov, sodержashego 26% P₂O₅ // Ximicheskaya promishlennost'. - Sankt-Peterburg, 2014. - t. 91, №5. - S. 225-236.
15. Nodirov A.A., Sultonov B.E., Xolmatov D.S., Turdalieva S.X. Vliyaniye normi i konsentratsii sernoy kisloti na parametrov ekstraktsionnoy fosforinoy kisloti, poluchennix klinkernim sposobom iz mitogo obojennogo fosforitovogo konsentratasi // Universum, texnicheskie nauki, №3(96), mart, 2022 g.
16. B.E.Sultonov, Sh.S.Namazov, A.A.Nodirov, D.S.Xolmatov. Izucheniye prosessa klinkernogo sposoba polucheniya ekstraktsionnoy fosforinoy kisloti iz mitogo obojennogo fosforitovogo konsentratasi // O'zbek kimyo jurnali, 2022 yil maxsus soni, 39-44 b.
17. Challenges and Strategies for the Sustainable Environmental Management of Phosphogypsum // Sustainability. — 2025. — Vol. 17, № 8. — Art. 3473 (MDPI).
18. Sposob pererabotki fosfogipsa: pat. RU 2610186 C1 / Ros. Federatsiya. — Opubl. 2017.
19. Sposob pererabotki fosfogipsa metodom konversii karbonatom natriya: pat. RU 2680589 C1 / Ros. Federatsiya. — Opubl. 2019.
20. Sposob kompleksnoy pererabotki fosfogipsa: pat. RU 2258036 C1 / Ros. Federatsiya. — Opubl. 2005.
21. Fosfogips — meliorant i pochvouluchshitel' // YevroXim Rossiya. — URL: <https://agro.eurochem.ru/opyt-i-konsultirovanie/polevye-opyty/fosfogips-meliorant-i-pochvouluchshitel>
22. Recent research in utilization of phosphogypsum as building materials: Review // Case Studies in Construction Materials. — 2023 (ScienceDirect).
23. Metodi polucheniya geksaftorsilikata natriya iz otxodyashix gazov proizvodstva fosforinix udobreniy (obzor) // KiberLeninka.