FOSFOGIPS CHIQINDISI ASOSIDA $(NH_4)_2SO_4$ HAMDA CaF_2 OLISH JARAYONINI TADQIQ QILISH VA ULARNING FAZAVIY TARKIBINI O‘RGANISH

To‘raxonov Ravshanbek Sattorxon o‘g‘li
Tayanch doktorant, Namangan davlat texnika universiteti
E-mail: ravshanbekturaxonov@gmail.com
Sherquziyev Doniyor Shermamatovich
Texnika fanlari doktori, professor. Namangan davlat texnika universiteti

Annotatsiya. Ushbu ishda ekstraksion fosfor kislota chiqindisi fosfogipsni ammiak (NH_3) hamda ftorid kislota(HF) bilan qayta ishlash orqali ammoniy sulfat $(NH_4)_2SO_4$ hamda kalsiy ftorid (CaF_2) olish jarayoni va ularning kimyoviy hamda fazaviy tarkiblari rentgen difraktsion tahlil (XRD) usuli yordamida o‘rganilgan. Tadqiqot jarayonida fosfogipsning boshlang‘ich mineralo-fazaviy holati, uning ammiak va sulfat kislotasi bilan reaksiyaga kirishishi natijasida $(NH_4)_2SO_4$ fazasining shakllanishi, ftorid ionlarining reaksiya muhitida kalsiy bilan birikib CaF_2 kristall fazasini hosil qilishi ilmiy asosda o‘rganilgan. XRD texnologiyasi yordamida har ikki mahsulotning kristall tuzilishi, asosiy difraksion piklar, fazalarning tozaligi, kristallik o‘lchamlari va fazaviy o‘zgarishlar jarayoni aniqlangan. Mazkur tadqiqot fosfogipsni qayta ishlash samaradorligini oshirish, chiqindi hisoblangan florli komponentlarni iqtisodiy qiymatga ega bo‘lgan CaF_2 ko‘rinishida ajratib olish hamda olingan ammoniy sulfat o‘g‘itining sifat ko‘rsatkichlarini ilmiy asoslashga qaratilgan.

Kalit so‘zlar: Fosfogips, ammoniy sulfat, XRD tahlili, ammiak, ftorid, kristal faza, kalsiy ftorid, difraktogramma.

Аннотация. В данной работе методом рентгенофазового анализа (РФА) изучен процесс получения сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$ и фторида кальция (CaF_2) обработкой отхода экстракции фосфорной кислоты – фосфогипса аммиаком (NH_3) и плавиковой кислотой (HF), их химический и фазовый составы. В ходе исследований научно изучены исходное минерально-фазовое состояние фосфогипса, образование фазы $(NH_4)_2SO_4$ в результате ее взаимодействия с аммиаком и серной кислотой, а также образование кристаллической фазы CaF_2 при соединении фторид-ионов с кальцием в реакционной среде. С помощью рентгеноструктурного анализа (РФА) определены кристаллическая структура, основные дифракционные пики, фазовая чистота, размер кристаллов и процесс фазовых превращений обоих продуктов. Целью данного исследования является повышение эффективности переработки фосфогипса, выделение фторсодержащих компонентов, рассматриваемых как отходы, в виде экономически ценного

ISSN 3030-3907

CaF_2, а также научное обоснование качественных показателей получаемого удобрения на основе сульфата аммония.

Ключевые слова: фосфогипс, сульфат аммония, рентгеноструктурный анализ, аммиак, фторид, кристаллическая фаза, фторид кальция, дифрактограмма

Abstract. In this work, the process of obtaining ammonium sulfate $(NH_4)_2SO_4$ and calcium fluoride (CaF_2) by treating the extraction phosphoric acid waste phosphogypsum with ammonia (NH_3) and hydrofluoric acid (HF) and their chemical and phase compositions were studied using the X-ray diffraction (XRD) method. In the course of the research, the initial mineral phase state of phosphogypsum, the formation of the $(NH_4)_2SO_4$ phase as a result of its reaction with ammonia and sulfuric acid, and the formation of the CaF_2 crystal phase by combining fluoride ions with calcium in the reaction medium were scientifically studied. The crystal structure, main diffraction peaks, phase purity, crystal size, and phase transformation process of both products were determined using XRD technology. This study aims to improve the efficiency of phosphogypsum processing, separate the fluorine components considered waste in the form of economically valuable CaF_2, and scientifically substantiate the quality indicators of the resulting ammonium sulfate fertilizer.

Key words: phosphogypsum, ammonium sulfate, X-ray diffraction analysis, ammonia, fluoride, crystalline phase, calcium fluoride, diffraction pattern

Kirish

Fosfogips mineral o‘g‘it sanoatida ekstraksion fosfor kislotasi olish jarayonida hosil bo‘ladigan katta hajmdagi sanoat chiqindisi bo‘lib, uning dunyo miqyosidagi yillik ishlab chiqarish hajmi 200 million tonnadan oshadi. O‘zbekiston hududida, xususan, Qizilqum fosforitlarini qayta ishlash jarayonida har yili yirik miqdorda fosfogips hosil bo‘lib, ularning asosiy qismi maxsus poligonlarda saqlanadi. Bunday chiqindilarni katta maydonlarda to‘plash ekologik xavf tug‘diradi, chunki tarkibida $CaSO_4$ dan tashqari F_2, P_2O_5 qoldiqlari, organik modda izlari ham mavjud. Fosfogipsning katta miqdorda to‘planishi natijasida quyidagi muammolar yuzaga keladi: [1,2,9]

a) Yer maydonlarining yaroqsiz holga kelishi;

b) Grunt suvlarining ifloslanish xavfi;

c) Atmosferaga chang ajralishi;

d) Florli birikmalarning atrof-muhitga tarqalishi.

Shu sababli fosfogipsni oddiy chiqindi sifatida saqlab qo‘yish o‘rniga uni qayta ishlash orqali iqtisodiy qiymatga ega mahsulotlar olish dolzarb masalaga aylangan. Fosfogipsning kimyoviy tarkibida ko‘p miqdorda $CaSO_4$ bo‘lgani sababli uni turli texnologik jarayonlarda qayta ishlash, jumladan ammoniy sulfat

ISSN 3030-3907

$(NH_4)_2SO_4$, kalsiy karbonat, sement qo‘shimchalari va boshqa sanoat mahsulotlari ishlab chiqarishda xom ashyo sifatida qo‘llash mumkin[11].

Fosfogipsni qayta ishlashning eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri uni ammiak va sulfat kislotasi bilan reaktsiyaga kiritib qimmatli o‘g‘it bo‘lgan ammoniy sulfat olishdir. Bu jarayon nafaqat fosfogips muammosini bartaraf etadi, balki qo‘shimcha ravishda kalsiy ftorid (CaF_2) kabi sanoat uchun ahamiyatga ega mahsulot hosil bo‘lishiga imkon yaratadi. Mazkur yondashuv chiqindisiz texnologiya sari qadam bo‘lib, atrof-muhit barqarorligini ta’minlashda muhim o‘rin tutadi. Ammoniy sulfat qishloq xo‘jaligi uchun eng muhim azotli o‘g‘itlardan biri hisoblanadi. Uning tarkibida 21% gacha azot (N) va 24% gacha oltingugurt (S) mavjud bo‘lib, bu uni ozuqa elementlariga boy o‘g‘it sifatida katta qiymatli qiladi. $(NH_4)_2SO_4$ ayniqsa oltingugurt yetishmovchiligi kuzatiladigan tuproqlarda muhim ahamiyatga ega. U o‘simliklarda oqsil sintezi, klorofill hosil bo‘lishi, metabolik jarayonlar va hosildorlikning oshishiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Ammoniy sulfatning yana bir afzalligi uning pH ni biroz pasaytiruvchi xususiyati bo‘lib, ishqoriy tuproqlarda serhosillikni oshirishga xizmat qiladi Ammoniy sulfat ishlab chiqarishda arzon xom ashyo sifatida fosfogipsdan foydalanish texnologiya qiymatini pasaytiradi va sanoat chiqindilarini qayta ishlashga imkon beradi. Shu bois ushbu o‘g‘itni fosfogips asosida olish iqtisodiy va ekologik jihatdan nihoyatda samarali hisoblanadi.CaF_2 ko‘plab sohalarda qo‘llaniladigan muhim mineral bo‘lib, uning asosiy qimmatli jihatlari quyidagilardan iborat:[3,5,8,9]

a) metallurgiyada erituvchi (flux) sifatida ishlatiladi;
b) alyuminiy ishlab chiqarishda ftorli tuzlar sintezi uchun xom ashyo;
c) kimyo sanoatida HF (frit kislotasi) olishda asosiy mineral;
d) keramika va optik shisha ishlab chiqarishda qo‘llaniladi;
e) ftoroplastlar va sovutilgan texnik moylar ishlab chiqarishda zarur komponent.

Fosfogipsni qayta ishlash jarayonida CaF_2 ajralib chiqishi qo‘shimcha iqtisodiy foyda beradi, chunki bu mahsulot toza ko‘rinishda yuqori bozor qiymatiga ega. Uni sanoatga qayta sotish yoki texnologik jarayonlarda foydalanish korxona uchun muhim iqtisodiy samaradorlik yaratadi. XRD – qattiq jismning fazaviy tarkibi, kristall tuzilishi va mineralojik holatini aniqlash uchun eng ishonchli analitik usullardan biridir. Uning asosiy ilmiy ahamiyati quyidagilardan iborat:

1) kristall fazalarning aniq identifikatsiyasi;
2) fazalar ulushini miqdoriy baholash;
3) kristallit o‘lchamlarini aniqlash;
4) reaksiya jarayonida fazaviy o‘zgarishlarni kuzatish;
5) mahsulotning tozaligi va kristall tuzilmasini baholash

Fosfogipsdan $(NH_4)_2SO_4$ olish jarayonida XRD yordamida boshlang‘ich fosfogipsning tarkibini baholash, reaksiyadan keyingi ammoniy sulfat fazalarini

ISSN 3030-3907

aniqlash va ikkilamchi mahsulot bo‘lgan CaF_2 kristallining shakllanishini tasdiqlash muhim ahamiyatga ega. Bu texnologiyaning ilmiy asoslanishini kuchaytiradi va jarayonni optimallashtirishga imkon yaratadi [10,12].

ADABIYOTLAR TAHLILI

Fosfogipsni atrof-muhitga ta’siri, uning tarkibidagi elementlari bo‘yicha mahalliy hamda xorijdagi olimlar tomonidan o‘rganilgan. Jumladan Hanan Tayibi, Muhammad Choura, Francheko Alguasil (2009) fosfogipsning ekologik muammolari, tarkibidagi zararli aralashmalar, og‘ir metall ionlari va ftor birikmalarining atrof-muhitga ta’siri haqida chuqur tahlil bergan. Ularning tadqiqotlarida fosfogipsni qayta ishlash jarayonlari ekologik xavfni kamaytirishning eng samarali yo‘li sifatida qayd etilgan. Bu manba fosfogipsni kimyoviy qayta ishlash zarurligini ilmiy asoslaydi [1]. G.Murali va M.Azab (2023) fosfogipsdan qurilish materiallari ishlab chiqarish bo‘yicha zamonaviy ishlanmalarni tahlil qilgan. Ular fosfogipsning kimyoviy tarkibi, kristall tuzilishi va reaktivligi uni kimyoviy jarayonlarda (masalan, $(NH_4)_2SO_4$ olish) qayta ishlashga qulay ekanini ta’kidlaydi [2]. Kseniya Levickaya, Nataliya Alfimova, Ivan Nikulin, Natalia Kozhukhova, Aleksander Buryanovlar (2024) fosfogipsning xomashyo sifatidagi mavjud imkoniyatlari, istiqbollari va hozirgi sanoat texnologiyalaridagi o‘rnini o‘rgangan. Tadqiqot fosfogipsni ftorli mahsulotlar (jumladan CaF_2) olish uchun ham qiymatli manba ekanini ko‘rsatadi [3]. Khalid Abbas (2011) fosfogipsdan ammiakli sulfat olishning texnologik sharoitlarini o‘rgangan. Uning tajribalari reaksiyaning pH, harorat, aralashtirish tezligi va ion kuchiga bog‘liqligini ko‘rsatib, optimal parametrlarni belgilaydi [4]. Cemre Avshar, Suna Ertunch $(NH_4)_2SO_4$ ishlab chiqarishda reaksion parametrlarning optimallashtirilishini tahlil qilgan. Ular sulfat-ionlarining ammiak bilan reaksiyasi kinetikasini, fosfogipsdagi aralashmalar ta’sirini batafsil yoritgan [6]. Hajer Douahem, Halim Hammi, Ahmed Hichem Hamzaoui, Adel M’nif (2016) fosfogipsning CaF_2 va Na_2SO_4ga aylanish mexanizmini modellashtirgan. Ular ftor-ionlari bilan kaltsiyning birikish jarayonida faza o‘zgarishlarini matematik model orqali ko‘rsatishgan [7].

Shuningdek birqator O‘zbekistonlik olimlar ham fosfogips chiqindisi asosida tadqiqotlar olib borishgan. Jumladan A.A.Nodirov, B.E.Sultonov, D.Sh Sherkuziyev, A.A. Abdulxayevlar (2025) Qizilqum mineral massasi asosidagi fosfogips tarkibini o‘rganib, fosfogipsdagi ftor birikmalari miqdori, $CaSO_4$ polimorflari va aralashmalar tahlilini berib, dastlabki tarkibida 2,95% P_2O_5, 30,30% CaO va 42,85% SO_3 borligi aniqlashgan. Nopokliklarni kamaytirish uchun optimal parametrlarni aniqlash uchun turli xil yuvish sharoitlari sinovdan o‘tkazilgan. Ushbu optimallashtirilgan sharoitlarda yuvilgan fosfogips 0,85% P_2O_5, 30,91% CaO va 43,98% SO_3 ni ko‘rsatgan [9]. A.A. Nodirov, B.E. Sultanov, D.S.

ISSN 3030-3907

Holmatov fosfogipsning asosiy kimyoviy tarkibini aniqlagan va uning ftorli mahsulotlar olishdagi ahamiyatini ko‘rsatishgan[10]. J.Kholmurodov, U.Temirov, Sh.Namazov, R. Radjabovlar (2024) tabiiy gips va fosfogipsdan ammiakli sulfat hamda kaltsiy karbonat olish jarayonlarini tahlil qilgan. Ularning tadqiqotida ammiak bilan reaksiyada kaltsiyning turli fazalarga o‘tish mexanizmi va fosfor kislotasini (EFK) ajratib olishning qo‘shimcha mahsuloti sifatida tasniflangan mahalliy tabiiy gips va fosfogipsning suyuq usulda ammoniy karbonatga aylanishini o‘rganilgan[11]. U. Muxammatova, R. Ruziyeva, D. Azimovalar (2024) fosforit chiqindilaridan kompleks o‘g‘itlar olishni o‘rganishgan. Fosfogipsni qayta ishlashda olingan $(NH_4)_2SO_4$ ning qo‘llanilishi, qattiq va suyuq o‘g‘itlarda qo‘shimcha komponent sifatida ishlatilishi haqida ma’lumotlar keltirilgan[12].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, fosfogips chiqindisi tarkibi murakkab bo‘lib, undan $(NH_4)_2SO_4$ va CaF_2 kabi iqtisodiy jihatdan qimmatli mahsulotlar olish texnologik hamda ilmiy asosga ega. Jarayonning asosiy omillari pH, harorat, ion kuchi, aralashmalar miqdori va reaksion muhitning faolligidir. CaF_2 kristall fazasining shakllanishi yuqori pH sharoitiga bog‘liq bo‘lsa, $(NH_4)_2SO_4$ hosil bo‘lishi sulfat-ionlarining ammiak bilan bog‘lanishi orqali sodir bo‘ladi.

TADQIQOT METODI

Fosfogips asosida ammoniy sulfat $(NH_4)_2SO_4$ hamda kalsiy ftorid CaF_2 olish uchun 25%li ammiak (NH_3), 40% li ftorid kislotasi (HF) dan foydalanildi. Namunani tayyorlash uchun dastlab 40,8 gr. 25%li ammiak (NH_3) hamda 40 %li ftorid kislotasi (HF)ni 1:3 nisbatda analitik tarozida tortib olib, muzli vannada ammoniy ftorid (NH_4F) hosil qilindi. Fosfogips chiqindisidan 13,6 gr. olib idishga solindi, ustiga hosil bo‘lgan ammoniy ftorid (NH_4F) sekin asta tomchilab quyib aralashtirilib, konversiya jarayoni 180 daqiqa davom etdi. Tayyor bo‘lgan suyuq bo‘tqa shaklidagi namunani ikki qavatli filtr qog‘ozidan o‘tkazildi. Filtrdan o‘tgan suyuqlikni 80^0C haroratda bug‘latib ammoniy sulfat $(NH_4)_2SO_4$ ajratib olindi. Filtrda qolgan cho‘kma kalsiy ftorid (CaF_2) ni quritish pechida 12 soat davomida 80^0C haroratda quritib har ikki namuna XRD tahlili uchun tayyorlandi.

1-jadval

Quyidagi jadvalda olingan namunalar tarkibi va ularning massasi ko‘rsatilgan

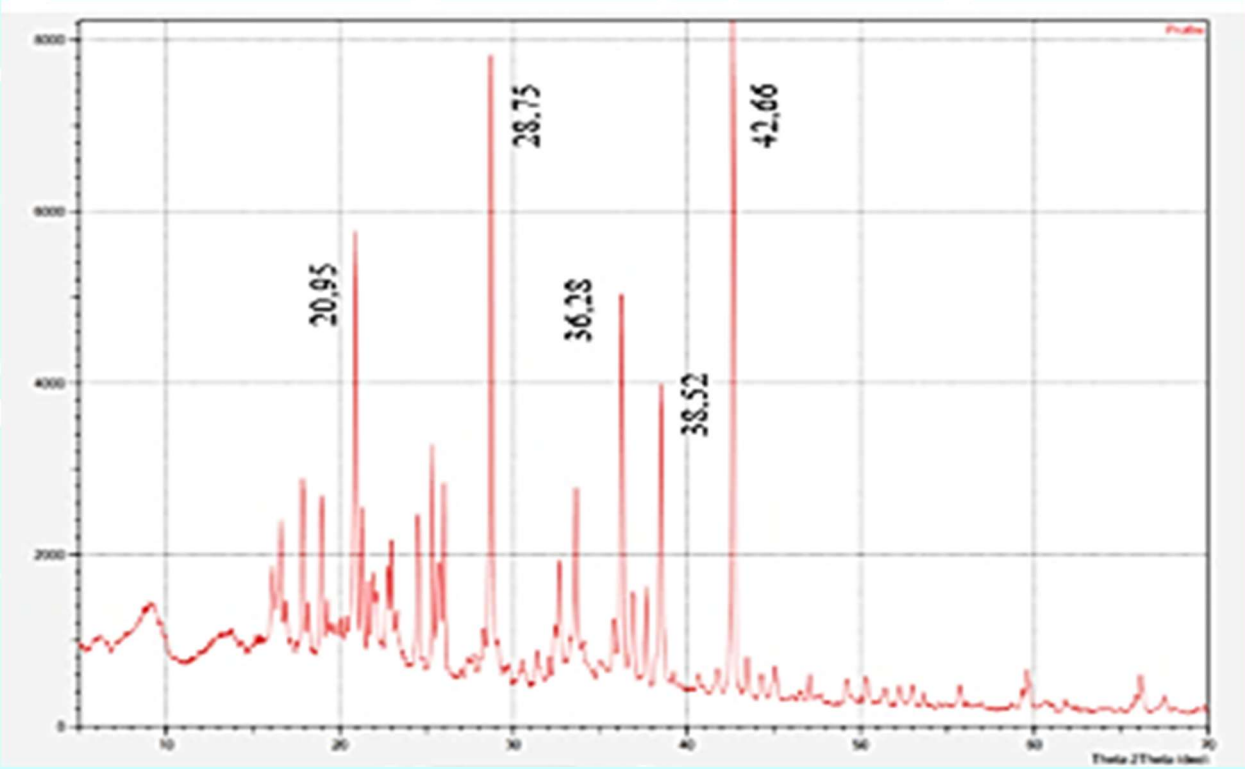
№	Namuna nisbati	Fosfogips (PG), gr.	Ammiak (NH_3), gr.	Ftorid kislota(HF), gr.
1	1:0,5	13,6	6,8	2,5
2	1:1	13,6	13,6	5,0
3	1:1,5	13,6	20,4	7,5
4	1:2	13,6	27,2	10,0

ISSN 3030-3907

5	1:2,5	13,6	34,0	12,5
6	1:3	13,6	40,8	15,0

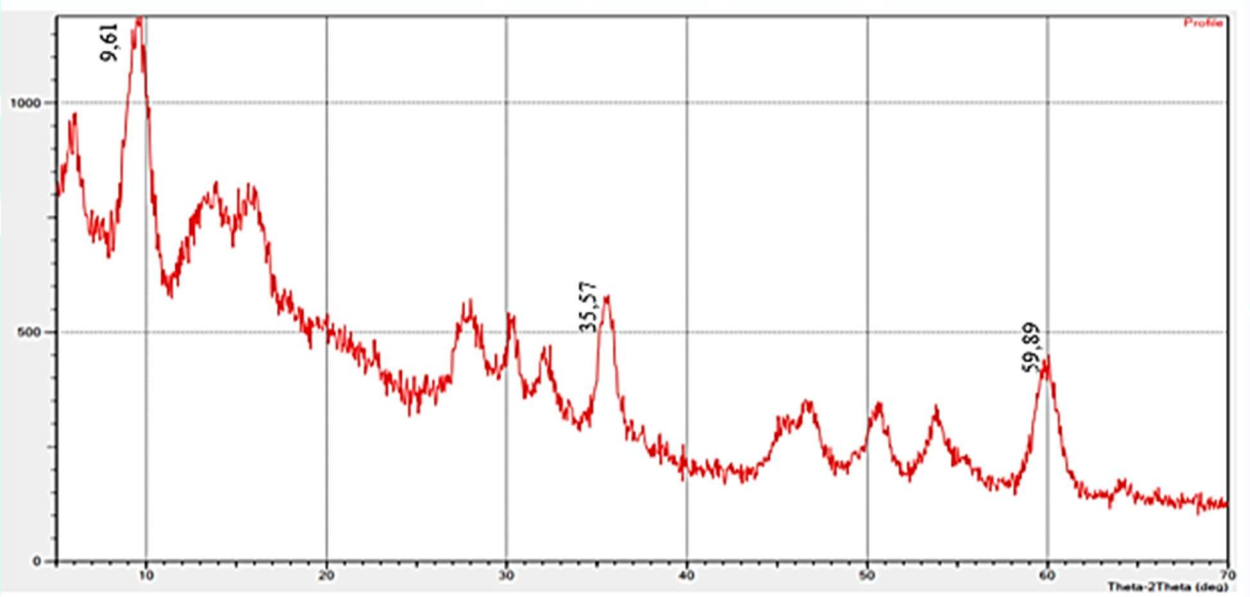
MUHOKAMA VA NATIJALAR

Olingan namunalardan 1:3 nisbatdagi ammoniy sulfat $(NH_4)_2SO_4$ ning kimyoviy tarkibi va rentgen difraktsion tahlil (XRD) usuli yordamida tahlil qilindi. XRD natijalari ammoniy sulfat kristallari hosil bo‘lganini ko‘rsatdi. Kuchli difraksion cho‘qqilar $2\theta \approx 20.95°$, $24.56°$, $25.39°$, $26.04°$, $28.75°$, $31.40°$, $33.62°$, $36.28°$, $38.52°$, $42.66°$, $50.36°$, $55.71°$, $59.65°$ va $66.16°$ da qayd etildi. Bu qiymatlar xalqaro ma’lumotlar bazasidagi ammoniy sulfat standartlari bilan mos keldi. Fosfogips, ammiak va ftorid kislota o‘zaro reaksiyasi natijasida ammoniy sulfat kristallari hosil bo‘ldi. XRD natijalari mahsulotning sof $(NH_4)_2SO_4$ fazasidan iboratligini tasdiqladi. Bu usul qimmatli azotli o‘g‘it ishlab chiqarishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri bo‘lishi mumkin.



1-rasm. Fosfogips chiqindisi asosida olingan ammoniy sulfatning XRD tahlili. Ammoniy sulfat $(NH_4)_2SO_4$ olish jarayonida ikkilamchi mahsulot sifatida hosil bo‘lgan CaF_2 ning XRD orqali fazaviy tarkibi o‘rganildi.

ISSN 3030-3907



2-rasm. CaF_2 namunalari XRD tahlili.

XRD natijalari CaF_2 fazasiga mos cho‘qqilarni aniqladi. Kuchli difraksion cho‘qqilar $2\theta \approx 9.61°$, 35.57° va 59.89° da qayd etildi. Ushbu qiymatlar CaF_2 standartlari bilan mos keldi. Bu natija CaF_2 ning kristall fazasi sifatida hosil bo‘lganini tasdiqladi. Fosfogipsni ammiak va ftorid kislota bilan reaksiyaga kiritish jarayonida CaF_2 cho‘kma sifatida hosil bo‘ldi. XRD natijalari mahsulotning CaF_2 fazasidan iboratligini ko‘rsatdi. Bu jarayon chiqindi fosfogipsdan qimmatli noorganik birikmalar olish imkoniyatini yaratadi.

Taqdim etilgan XRD ma’lumotlarida difraktogramma 2θ yo‘nalishida 5°–70° oralig‘ida o‘lchangan bo‘lib, asosiy intensiv piklar 28.75°, 36.27°, 38.52° va 42.66° atrofida kuzatildi. Bu cho‘qqilar ammoniy sulfatning standart kristall fazasiga mos keladi va sintez jarayonida yuqori kristallanish darajasiga ega mahsulot hosil bo‘lganini ko‘rsatadi. Difraktogrammadagi eng kuchli pik 42.6607° (I/I1 = 100) darajada qayd etilib, uning integrallangan intensivligi 31 414 counts ni tashkil etadi. Bunday yuqori intensivlik $(NH_4)_2SO_4$ kristall fazasining to‘liq shakllanganini tasdiqlaydi. XRD natijalari shuningdek o‘rta burchaklardagi (16°–26°) o‘rtacha intensiv piklarning mavjudligini ko‘rsatadi. Ular fosfogipsning reaksiya jarayonida to‘liq parchalanmagan qoldiq $CaSO_4$ fazalari yoki aralash mineral komponentlarini bildirishi mumkin. Biroq ularning intensivligi asosiy pik qiymatlaridan ancha past bo‘lgani sababli umumiy mahsulot sifatiga ta’siri minimal hisoblanadi.

CaF_2 ning hosil bo‘lishi jarayon davomida florid ionlarining kalsiy bilan reaksiyasi natijasida sodir bo‘ladi. CaF_2 kristall fazasiga xos piklar odatda 28–29°, 47° va 55° oralig‘ida qayd etiladi. Difraktogrammada 28.3316° va 55.7083° piklarining mavjudligi CaF_2 ning sintez qilingan mahsulot tarkibiga kirganini ko‘rsatadi. Bu jarayon fosfogips tarkibidagi florli komponentlarning to‘liq ajralib

ISSN 3030-3907

chiqishini tasdiqlaydi. XRD difraktogrammalarining tahlili fosfogips asosida olib borilgan reaksiya jarayonida kristall fazalarning shakllanishi, ularning nisbiy miqdori va strukturaviy xususiyatlari haqida muhim ma'lumotlarni taqdim etdi. Difraktogrammada qayd etilgan eng kuchli cho'qqilar 9.61°, 35.56° va 59.89° atrofida joylashgan bo'lib, ular mos ravishda 100%, 57% va 54% nisbiy intensivlikka ega. Bu cho'qqilar kalsiy ftorid (CaF_2) ning kristall fazasiga xos bo'lib, CaF_2 sintezi jarayonda faol ravishda sodir bo'lganini ko'rsatadi.

Bundan tashqari, 35.5682° va 59.8933° cho'qqilarining mavjudligi CaF_2 kristall fazasining to'liq shakllanganini, kristallitlarning o'lchamlari esa nisbatan bir xil ekanini ko'rsatadi. Bu esa reaksiya jarayonida florid ionlarining barqaror kristall panjara hosil qilganini bildiradi. Difraktogrammada 13.72°, 15.92°, 28.04°, 30.14° va 32.24° atrofida o'rtacha intensivlikka ega qo'shimcha cho'qqilar kuzatiladi. Bu cho'qqilar fosfogips tarkibidagi qoldiq mineral fazalarning — xususan gidratlangan kaltsiy sulfatning ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) yoki aralash silikatlarning izlarini anglatadi. Ularning mavjudligi namunada oz miqdorda reaksiya yakunlanmagan $CaSO_4$ fazalari borligini ko'rsatadi, ammo ular umumiy strukturaga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi. Umuman olganda, difraktogramma CaF_2 ning asosiy faza ekanini, qoldiq $CaSO_4$ va boshqa aralashmalar esa ikkilamchi fazalar sifatida minimal miqdorda saqlanib qolganini ko'rsatadi. Bu natijalar fosfogips tarkibidagi florid komponentlari reaksiya sharoitlarida to'liq ajralib chiqqanini va CaF_2 ko'rinishida kristall mahsulotga aylanganini tasdiqlaydi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Taqdim etilgan XRD natijalari asosida fosfogips asosida ammoniy sulfat ($(NH_4)_2SO_4$) olish jarayoni yuqori samaradorlik bilan amalga oshirilganini tasdiqlaydi. Difraktogrammada qayd etilgan 28.75°, 36.27°, 38.52° va 42.66° burchaklardagi yuqori intensiv cho'qqilar ammoniy sulfatning tipik kristall fazasi bilan mos keladi va mahsulotning yuqori kristallanish darajasiga ega ekanini ko'rsatadi. Jarayon davomida fosfogips tarkibidagi florli komponentlarning kalsiy bilan reaksiyasi natijasida kalsiy ftorid (CaF_2) shakllangan bo'lib, XRD difraktogrammasida 28.33° va 55.70° atrofidagi piklar uning mavjudligini tasdiqlaydi. Amalga oshirilgan reaksiya jarayoni fosfogips tarkibidagi ftorid ionlarining muvaffaqiyatli ravishda kalsiy bilan birikib CaF_2 kristall fazasiga aylanganini ko'rsatadi. 9.61°, 35.56° va 59.89° dagi kuchli piklar CaF_2 ning yuqori darajada kristallangan holatda hosil bo'lganini tasdiqladi. Bu esa jarayonning kimyoviy to'liqligi va reaksiya sharoitlarining optimal tanlanganidan dalolat beradi. XRD tahlili shuningdek oz miqdordagi qoldiq $CaSO_4$ va boshqa aralash mineral fazalar mavjudligini ko'rsatdi. Bu qoldiq fazalarning mavjudligi umumiy mahsulot sifatiga jiddiy ta'sir qilmaydi va jarayonning yuqori samaradorlik bilan amalga oshirilganini tasdiqlaydi. Ushbu natijalar fosfogipsni qayta ishlash orqali

ISSN 3030-3907

qimmatli mahsulot CaF_2 olishning ekologik va iqtisodiy ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi. CaF_2 ning optik materiallar, metallurgiya, keramika va kimyo sanoatidagi katta qo‘llanilish darajasi bu texnologiyaning amaliy ahamiyatini yanada oshiradi. XRD tahlili esa fazaviy tarkibni aniqlash va jarayonni optimallashtirishda asosiy analitik usul ekanini yana bir bor tasdiqladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. H.Tayibi, M.Choura, F.ALópez, F.J.Alguacil, A.López-Delgado. Environmental impact and management of phosphogypsum. Journal of Environmental Management2009,90(8),2377–2386. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.03.007

2. G.Murali, M.Azab. Recent research in utilization of phosphogypsum as building materials: Review. Journal of Materials Research and Technology 2023, 25, 960–987. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423012383

3. Kseniya Levickaya, Nataliya Alfimova,Ivan Nikulin, Natalia Kozhukhova, Aleksander Buryanov The use of phosphogypsum as a source of raw materials: Current status and prospects.Resources2024,13(5),69. https://doi.org/10.3390/resources13050069

4. K.K.Abbas, Study on the production of ammonium sulfate fertilizer from phosphogypsum. Engineering and Technology Journal 2011, 29(4), 814–821. https://doaj.org/article/d754cc9b715c41ca89cd84fd1960bbcb

5. Sh.Rafie, F.M.Zaher, M.Monir, W.Osman. High valuable materials from phosphogypsum and carbon waste. Egyptian Journal of Chemistry 2024, 67(3), 865–879. https://ejchem.journals.ekb.eg/article_357731.html

6. Cemre Avshar, Suna Ertunch Reaction parameter optimization of ammonium sulfate production from phosphogypsum. Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly 2025.

7. https://www.ache-pub.org.rs/index.php/CICEQ/article/view/1449

8. Hajer Douahem, Halim Hammi, Ahmed Hichem Hamzaoui, Adel M’nif. Modeling and optimization of phosphogypsum transformation into calcium fluoride using experimental design methodology. Journal of the Tunisian Chemical Society 2016, 18, 106–113. https://www.sctunisie.org/pdf/JSCT_v18-15.pdf

9. Boukhlifi, F.; et al. Phosphogypsum conversion into calcium fluoride and sodium sulfate. International Journal of Heat and Technology 2020, 38(4), 915–922. https://www.iieta.org/journals/ijht/paper/10.18280/ijht.380405

10. Nodirov A. A. Sultonov B. E. Sherkuziyev D.Sh. Abdulxayev A. A. Research of the composition of phosphogypsum produced during the extracting of phosphoric acid from mineralized mass by the clinker method. AIP Conference Proceedings 2025, 3304, 040021. https://doi.org/10.1063/5.0269275

ISSN 3030-3907

11. A.A.Nodirov,B.E.Sultanov,D,S,Holmatov. The main chemical composition of phosphogypsum formed at the obtaining of extraction phosphoric acid by clinker method.https://cyberleninka.ru/article/n/the-main-chemical-composition-of-phosphogypsum-formed-at-the-obtaining-of-extraction-phosphoric-acid-by-clinker-method
12. J.Kholmurodov, U.Temirov, Sh.Namazov, R.Radjabov, Obtaining ammonium sulfate and calcium carbonate by processing natural gypsum and phosphogypsum. E3S Web of Conferences2024,563,02038.
https://doi.org/10.1051/e3sconf/202456302038
13. U.Muxammatova, R.Ruziyeva, D.Azimova, Production of complex fertilizers from phosphorite waste of the Central Kyzylkum. Excellencia: International Multi-Disciplinary Journal of Education2024,4(9),569–579.
https://www.multijournals.org/index.php/excellencia-imje/article/view/2291

ISSN 3030-3907