

Toshtemirova Sadoqatxon Baxtiyor qizi
Namangan davlat universiteti tayanch doktoranti
Mamajanov Sobir Boqiyevich
Namangan davlat universiteti, dotsent

**FOSFATLI CHIQINDILARNI O'G'ITGA AYLANTIRISH
TEKNOLOGIYASI: AZNEK FOSFORITINI ORGANIK KISLOTALAR
BILAN FAOLLASHTIRISH VA IQ-SPEKTROSKOPIK TAHLILI.**

Annotatsiya. Ushbu maqolada Aznek fosforitini organik modda — oksalat kislotasi bilan qayta ishlash orqali fosforning eruvchan tuzlarini hosil qilish imkoniyatlari o'rganildi. Tadqiqot jarayonida fosforit namunalariga ishlov berilib, reaksiyadan so'ng suyuq va qattiq fazaga ajratildi va ularning IQ-spektroskopik tahlili olib borildi. Spektral ma'lumotlar asosida fosforning agronomik foydali tuzlari — monokalsiyfosfat va dikalsiyfosfat hosil bo'lgani aniqlandi. Shu bilan birga, filtratsiyadan so'nggi qoldiqda kremniyli va kam yeruvchi metall tuzlarining saqlanishi qayd etildi. Olingan natijalar organik kislotalar yordamida fosforli o'g'itlar ishlab chiqarish imkoniyatini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: Aznek fosforiti, oksal kislotasi, IQ-spektroskopiya, fosfat tuzlari, agronomik samaradorlik, organik qayta ishlash

Тоштемирова Садоқатхон Бахтиёр кизи
Докторант Наманганского государственного университета
Мамажанов Собир Боқиевич
Дотцент Наманганского государственного университета

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕВРАЩЕНИЯ ФОСФАТНЫХ ОТХОДОВ В
УДОБРЕНИЕ: АКТИВАЦИЯ ФОСФОРИТА АЗНЕК
ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ И ИК-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ
АНАЛИЗ**

Аннотация. В данной статье рассматривается возможность получения растворимых фосфорных соединений путём переработки Азнекского фосфорита органическим реагентом — щавелевой кислотой. Образцы фосфорита подвергались обработке, после чего осадок и раствор анализировались методом ИК-спектроскопии. На основе спектров установлено образование агрономически ценных фосфатов — монокальцийфосфата и дикальцийфосфата. Остаток после фильтрации содержал преимущественно кремнийсодержащие и труднорастворимые соединения металлов. Результаты подтверждают эффективность органических кислот для получения фосфорных удобрений.

Toshtemirova Sadoqatkhon

doctoral student of Namangan State University

Mamajanov Sobir

associate professor of Namangan State University

TECHNOLOGY FOR CONVERTING PHOSPHATE WASTE INTO FERTILIZER: ACTIVATION OF AZNEK PHOSPHORITE WITH ORGANIC ACIDS AND IR-SPECTROSCOPIC ANALYSIS

Abstract. This study investigates the potential of obtaining water-soluble phosphate compounds through the processing of Aznek phosphorite with an organic reagent — oxalic acid. Phosphorite samples were treated and then separated into solid and liquid phases, followed by FTIR spectroscopic analysis. The spectral results confirmed the formation of agronomically valuable phosphate salts such as monocalcium phosphate and dicalcium phosphate. The residual solid contained primarily silicate-based and low-solubility metal compounds. The findings demonstrate the viability of using organic acids for the production of phosphorus fertilizers.

Keywords: Aznek phosphorite, oxalic acid, IR spectroscopy, phosphate salts, agronomic efficiency, organic processing

Kirish. Fosforning tabiiy manbalari — ya'ni fosforitlardan oqilona va samarali foydalanish butun dunyodagi oziq-ovqat xavfsizligini kafolatlashda hal qiluvchi ahamiyat kasb etadi. Buning asosiy sababi shundaki, qazib olinayotgan fosforit zaxiralarning katta qismi to'g'ridan-to'g'ri qishloq xo'jaligi ekinlariga mineral o'g'it sifatida qo'llaniladi va ularning hosildorligini oshirishda muhim o'rin tutadi. Dunyo miqyosida ko'plab dehqonchilik yerlarida fosfor besh oksidining biologik faol shaklda mavjud bo'lishi yetarli emas. Shu bois, fosforli o'g'itlarni qo'llash qishloq xo'jaligi amaliyotida asosiy agrotexnik chora-tadbirlardan biri sifatida qo'llaniladi. Biroq, jaxonda mavjud fosforit konlarining ko'p qismida uchraydigan namunalarda tarkibidagi fosfor besh oksidining faollikka ega bo'lmagan rudalar shaklida bo'ladi. Bunday rudalar to'g'ridan-to'g'ri dehqonchilikda o'g'it sifatida qo'llanilganda, fosforning o'simlik tomonidan o'zlashtirilishi juda past bo'ladi va ular samarali fosfor manbai sifatida ishlatishga mos kelmaydi [1].

Shu sababli, fosforli o'g'itlar ishlab chiqarish jarayonida fosforitlar asosan yuqori tarkibidagi fosfor besh oksidining o'zlashuvchan shaklga o'tishi mineral kislotalar, ayniqsa sulfat (H_2SO_4) kislotasi bilan kimyoviy ishlov berishga juda katta bog'liqdir. Bu jarayonda fosforit tarkibidagi fosfor besh oksidining o'simliklar tomonidan o'zlashtiriladigan shaklga aylantirishni ta'minlaydi. Biroq, so'nggi yillarda yuqori sifatli, ya'ni tarkibida faol fosfor besh oksidi bo'lgan fosforit konlarining zaxiralari tobora kamayib borayotgani kuzatilmoqda. Shu bilan

birga, qazib olish ishlari, mineralni tozalash, qayta ishlash hamda uni logistika orqali iste'molchiga yetkazish bilan bog'liq xarajatlar izchil ravishda oshib bormoqda. Bu esa o'g'itlarni ishlab chiqarish tan narxining o'sishiga olib kelmoqda [2].

Qolaversa, ayrim xalqaro tahlilga ko'ra, kelgusi 100 yil ichida yuqori sifatli fosforit konlari to'liq tugashi ehtimoli mavjud. Shu sababli, fosforitni qayta ishlash jarayonida xarajatlarni qisqartirishga qaratilgan innovasion yondashuvlar fosforli o'g'itlar sanoatida katta ahamiyatga ega bo'ladi. Ayniqsa, bunday texnologiyalar kam xarajatlikka ega past sifatli fosforit rudalarini iqtisodiy va texnologik jihatdan maqbul tarzda qayta ishlash imkonini bersa, bu fosforit zaxiralaridan kengroq va samarali foydalanishga, ularning umumiy foydali xizmat muddatini uzaytirishga hamda hozirda chiqindilarga kiritilayotgan mineral rudalarni qayta ishlash jarayoniga jalb qilishga sharoit yaratadi[3].

Fosfatlarni parchalab tarkibidagi fosfor besh oksidining o'simliklar tomonidan o'zlashtiriladigan shaklga o'tkazuvchi mikroorganizmlar (PSM – Phosphate-Solubilizing Microorganisms) fosforitlarni biotexnologik yo'l bilan qayta ishlashning zamonaviy va istiqbolli texnologiyalar sifatida keng muhokama qilinmoqda. Bu mikroorganizmlar tabiiy holda kam eruvchan bo'lgan fosfat minerallari tarkibidagi fosfor besh oksidining o'simliklar tomonidan o'zlashtiriladigan shaklga o'tish qobiliyatiga ega bo'lib, ularning faoliyati mineral yuzasiga ta'sir etuvchi organik kislotalarni hosil qilishi orqali amalga oshadi. Bu kislotalar minerallarni parchalab, fosforit tarkibidagi fosfor besh oksidining o'simliklar tomonidan o'zlashtirishga tayyor holdagi shaklga aylantiradi[4].

Shuningdek, mikroorganizmlar chiqaradigan organik kislotalar mineral tarkibidagi metall kationlari (Ca^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} va boshqalar) bilan barqaror kompleks birikmalar hosil qilib, fosfat anionining (PO_4^{3-}) muhitga ajralib chiqishiga ko'maklashadi. Bu jarayon fosforit tarkibidagi fosfor besh oksidining o'simlik tomonidan singdiriladigan shaklda mavjud bo'lishiga asos yaratadi.

Fosfatlarni parchalovchi mikroorganizmlar keng turdagi organik kislotalarni ishlab chiqaradi. Ular qatoriga sitrat, glyukonat, itakonat, malat va ayniqsa shavel kislotasi (oksal kislotasi) kiradi. Bu kislotalar har xil funksional guruhlariga va kislotalik darajalariga ega bo'lib, ularning mineral bilan o'zaro ta'siri turlicha bo'ladi.

Ushbu kislotalarning minerallarni parchashdagi samaradorligi avvalo ularning molekulyar-strukturaviy xususiyatlariga (masalan, karboksil va gidroksil guruhlarining soni va joylashuvi, kislotalarning dissotsiatsiya konstantalari) bog'liq. Shuningdek, ularning faolligi mineral muhit sharoiti – ya'ni metall ionlarining konsentratsiyasi, hamda muhitning kislotalik darajasi (rN) kabi omillar bilan ham belgilanadi[5].

Fosforitlar tarkibidagi asosiy mineral modda — apatit $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})]$ hisoblanadi. Ammo ushbu mineralning kimyoviy tarkibi va mineralogik tuzilishi fosforitning geologik kelib chiqishiga, ya'ni qanday shakllanganiga qarab turlicha

bo'ladi. Fosforitlarning reaksiyaga kirishish qobiliyati, boshqacha aytganda, faolligi, apatit kristallining fosfat ionlari (PO_4^{3-})ning karbonat ionlari (CO_3^{2-}) bilan izomorf almashinuv darajasiga bog'liq. Bu almashinuv apatit kristallining yaxlitligini zaiflashtiradi va uning kislotalar bilan ta'sirlashishiga moyilligini oshiradi[6].

Mineralogik farqlar organik kislotalar bilan olib boriladigan fosforni parchalash reaksiyasining samaradorligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi, chunki kislotalarning ruda bilan ta'sirlanish qobiliyati ruda tarkibidagi kimyoviy elementlar bilan belgilanadi. Ayrim tarkibiy moddalar kislotalarning faolligini kamaytirishi yoki aksincha, reaksiyani tezlashtirishi mumkin.

Shuningdek, fosforitlarni parchalashda organik kislotalar muhim vosita sifatida ishtirok etsada, bu sohadagi ilmiy tadqiqotlar yetarli darajada rivojlanmagan. Mavjud bo'lgan kam sonli ishlarda organik kislotalar qo'llangan bo'lsada, ularning konsentratsiyasi past darajada bo'lgan. Bu esa fosforning to'liq parchalashiga to'sqinlik qilgan va har bir kislotalarning potensialini baholash imkoniyatini cheklagan. Shuningdek, natijalar asosida aniq matematik modellar tuzish va ularni keng miqyosda umumlashtirish imkoni ham cheklangan[7].

Bundan tashqari, fosforitlarni parchalash qobiliyatiga ega bo'lgan glyukonat va itakonat kabi kislotalari bilan fosforitlarni parchalashga bog'liq tadqiqotlarda qayd etilgan bo'lsada, mavjud ba'zi ilmiy ishlar doirasida ular tahlilga jalb qilinmagan. Aslida, bu organik kislotalarning salohiyatini to'liq baholash fosforitlarning qayta ishlash jarayonlarini samarali tashkil etish uchun muhim ahamiyatga ega[8].

Turli geologik manbaalardan olingan va bir-biridan farq qiluvchi mineralogik tuzilishiga ega fosforit namunalari nisbatan aniq organik kislotalarning parchalash samaradorligini aniqlash, ular orqali fosforitlarni qayta ishlashning texnologik usullarini takomillashtirish va eruvchanligi yuqori bo'lgan fosforli o'g'itlar ishlab chiqarishni rivojlantirishda hal qiluvchi omillardan biridir.

Shu sababli, ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi — fosfatlarni parchalashda ishtirok etuvchi organik kislotalar ta'sirida fosforitlarning eruvchanligini baholashdan iborat bo'ldi. Bu maqsadda fosforitlarni parchalash jarayonida organik kislotalarni ta'sirini maq'bul imkonini o'rganiladi.

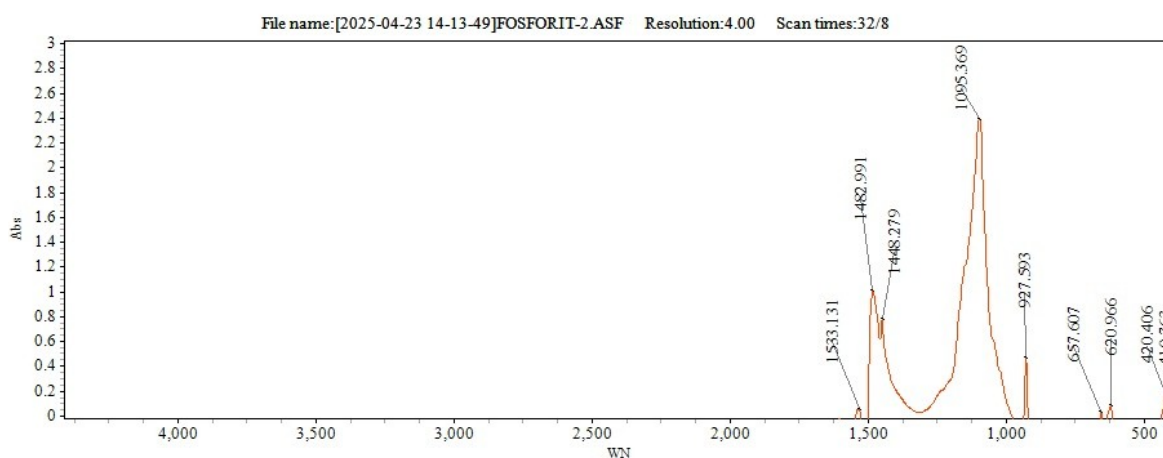
Tadqiqot usuli

Tadqiqot ob'yekti sifatida Navoiy viloyatida joylashgan Aznek kon zonasidan olingan fosforit namunasi tanlandi. Namuna quritilgandan so'ng, 0,25 mm li donachalar hajmigacha maydalanib, tahlil uchun gomogen holatga keltirildi. Tajribada texnik tozalikdagi oksal kislotasi ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ishlatildi. 10 g fosforit namunasi 100 ml 0,5 M oksal kislotasi eritmasi bilan 1 soat davomida 60°C haroratda shisha idishda magnit aralashtirgich yordamida reaksiyaga kiritildi. Reaksiyadan so'ng suspenziya vakuum filtratsiya usulida ishlov berilib, suyuq va qattiq fazaga ajratildi. Olingan cho'kma suvda yuvilib, 90°C da quritildi va keyinchalik tahlil uchun saqlandi.

Barcha namunalar (boshlang'ich fosforit, ishlov berilgan fosforit va filtratsiyadan keyingi erimagan qattiq qoldiq) FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) usuli orqali tahlil qilindi. Tahlil Nicolet 6700 FTIR spektrometrda $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ diapazonda, KBr tabletka usulida olib borildi. Har bir spektr 32 ta skan orqali o'rtacha olindi, spektral ma'lumotlar fosfat, karbonat, silikat va metall tuzlariga xos tebranish piklarini aniqlashda foydalanildi. Olingan spektrlar to'g'ridan-to'g'ri solishtirma tahlil qilish orqali baholandi. Asosiy piklarining joylashuvi va intensivligi fosfor va boshqa komponentlarning strukturasi o'zgarishlarni kuzatish imkonini berdi. Qo'llanilgan usullar asosida fosforning yuruvchan tuzlar shaklida ajralishi va qoldiqda qaysi komponentlar saqlangani aniqlandi[9-10].

Tahlil natijalari va muhokama

Azneq koni fosforiti tarkibidagi asosiy kimyoviy moddalar tahlili shuni ko'rsatadiki, unda kalsiy oksidi (CaO) miqdori eng yuqori bo'lib, 44,78% ni tashkil etadi, bu esa fosfatli o'g'itlar ishlab chiqarish uchun muhim resurs sanaladi. Fosfor besh oksidi (P_2O_5) miqdori 23,39% bo'lib, fosfor manbai sifatida uning agrokimyoviy qiymati yuqori ekanini ko'rsatadi. Karbonatlar (CO_2) 13,58% ni tashkil etib, kalsiy karbonat va shunga o'xshash birikmalar tarkibida mavjud. Kremniy dioksidi (SiO_2) miqdori 9,14% bo'lib, inert modda sifatida reaktiv faollikni pasaytirishi mumkin.

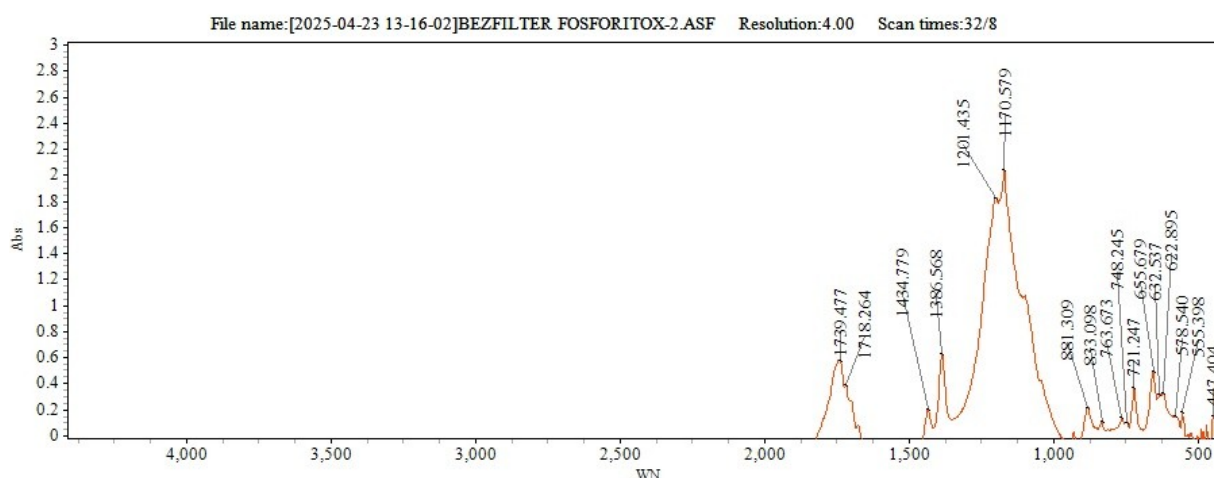


1.rasm. Azneq fosforit namunasining IQ spektroskopik taxlili.

Alyuminiy oksidi (Al_2O_3) – 2,31%, magniy oksidi (MgO) – 1,78%, va temir(III) oksidi (Fe_2O_3) – 0,71% miqdorda bo'lib, ular yordamchi minerallar sifatida qayd etilgan. Shuningdek, tarkibida 2,17% fluor (F) va 2,14% erimas qoldiq mavjud bo'lib, ular fosforit strukturasi bilan bog'liq. Ushbu natijalar Azneq fosforitini fosforli o'g'itlar ishlab chiqarishda istiqbolli xomashyo sifatida baholashga asos yaratadi.

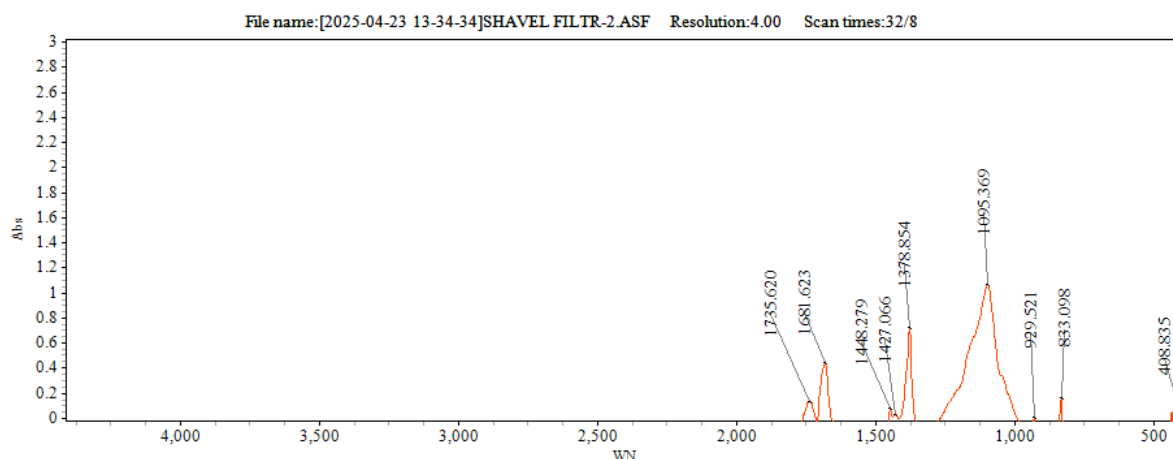
Azneq fosforit namunasining IQ spektroskopik taxlili (1-rasm) natijalari ko'rsatdiki namunasida fosfat (PO_4^{3-}) ionlariga oid 1055 cm^{-1} va 929 cm^{-1} atrofidagi piklar juda aniq va intensiv bo'lib, bu namunada fosfat strukturasi yaxshi saqlanganligini ko'rsatadi. Karbonot guruhlari (CO_3^{2-}) 1482 va 1448 cm^{-1} da aniqlanib, kalsiy karbonat yoki apatit strukturasi izomorf almashinuvlarning

mavjudligidan dalolat beradi. 3531 cm^{-1} atrofida keng pik esa gidroksil guruhlari yoki namlik ishtirokini bildiradi. $490\text{--}410\text{ cm}^{-1}$ orasidagi piklar esa metall-kislorod bog'lari, xususan Ca–O va Fe–O strukturalari bilan bog'liq bo'lishi mumkin.



2.rasm. Aznek fosforitning oksalat kislotasi bilan ishlov berilgan namunasining IQ spektroskopik taxlili.

Aznek fosforitning oksal kislotasi bilan ishlov berilgan namunasining IQ-spektroskopik tahlili natijalari (2-rasm), unda fosforning eruvchan tuzlari hosil bo'lganini ko'rsatadi. $1170\text{--}1201\text{ cm}^{-1}$ va $1045\text{--}1080\text{ cm}^{-1}$ atrofida piklar fosfat ionlarining simmetrik va asimmetrik tebranishlariga to'g'ri kelib, monokalsiyfosfat ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yoki dikalsiyfosfat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kabi eruvchan fosfat tuzlarining hosil bo'lganini anglatadi. $900\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ orasida kuzatilgan piklar fosfor va metall ionlari (Mg, Ca) o'rtasidagi bog'lanishlar natijasidagi tebranishlarga to'g'ri kelib, metall-fosfat birikmalarining mavjudligini tasdiqlaydi. Shu bilan birga, 1385 va 1470 cm^{-1} dagi piklar oksal kislotasining C=O va C–O tebranishlariga mos kelib, CaC_2O_4 kabi metall-okсалat tuzlarining hosil bo'lganidan dalolat beradi. Ushbu ma'lumotlar umumiy holda fosforitning oksal kislotasi ta'sirida yemiralib, fosforni eruvchan va agronomik jihatdan foydali tuzlar shaklida ajralib chiqishi jarayoni muvaffaqiyatli kechganini tasdiqlaydi.



3.rasm. Aznek fosforitining oksalat kislotasi bilan ishlov berilgandan so'ng erimagan qoldiq namunasining IQ spektroskopik taxlili.

Aznek fosforitining oksalat kislotasi bilan ishlov berilganidan so'nggi filtratsiyada ajratib olingan erimagan qattiq qoldiqning IQ-spektroskopik tahlili (3-rasm) shuni ko'rsatdiki, qoldiq tarkibida asosan kremniyli birikmalar — ya'ni Si–O–Si va Si–O–Al bog'lanishlariga xos $1000\text{--}1100\text{ sm}^{-1}$ va $460\text{--}500\text{ sm}^{-1}$ oralig'idagi piklar orqali amorf silikatlar, kvars yoki gidrosilikatlarning mavjudligini ko'rsatadi. Shuningdek, $600\text{--}700\text{ sm}^{-1}$ atrofida tebranishlar metall–kislorod (Mg–O, Ca–O, Fe–O) bog'lariga xos bo'lib, kam yeruvchi metall oksid yoki silikati tuzlarining qolganini anglatadi. $850\text{--}900\text{ sm}^{-1}$ va 1400 sm^{-1} piklari esa ba'zi oksal kislotasi bilan to'liq reaksiyaga kirishmagan metall oksalatlar (Fe, Mg, Ca tuzlari) saqlanganini ko'rsatadi. Bu natijalar fosforit tarkibidagi faolsiz silikat va metall komponentlari oksal kislotasi ta'sirida ham erimasdan, qoldiqda saqlanib qolganini tasdiqlaydi.

Xulosa.

Olib borilgan tahlillar natijalari shuni ko'rsatadiki, Aznek fosforiti o'z tarkibida yuqori miqdorda kalsiy oksidi (44,78%) va fosfor besh oksidi (23,39%) saqlagan holda, fosforli o'g'itlar ishlab chiqarish uchun istiqbolli xomashyo hisoblanadi. IQ-spektroskopik tahlillar fosforit tarkibidagi fosfat ionlarining (1055 va 929 sm^{-1}), karbonat guruhlarining (1482 va 1448 sm^{-1}), hamda gidroksil va metall–kislorod bog'larining aniq piklari orqali fosforit strukturasi murakkab va minerallashgan tabiatini ko'rsatadi.

Oksal kislotasi bilan ishlov berilgan namunaning spektral tahlilida fosforning yerkín va eruvchan shaklga o'tgani aniqlandi. Xususan, $1170\text{--}1045\text{ sm}^{-1}$ diapazonidagi piklar monokalsiyfosfat va dikalsiyfosfat kabi agronomik jihatdan foydali fosfat tuzlarining hosil bo'lganini ko'rsatadi. Shu bilan birga, oksal kislotasi bilan metall ionlar o'rtasidagi bog'lanishlar tufayli metall-oksalat tuzlarining shakllanishi ham qayd etilgan. Bu jarayon fosforni yuqori samara bilan eruvchan holatga o'tkazish imkonini yaratadi.

Filtratsiyadan so'nggi erimagan qattiq qoldiq tarkibining spektroskopik tahlilida asosan kremniyli birikmalar (Si–O–Si, Si–O–Al) va kam yeruvchi metall oksidlar (MgO, CaO, Fe₂O₃) saqlangani aniqlandi. Bu holat faol reaksiya jarayonidan so'ng ham silikatli va metall komponentlarning bir qismi reaksiyaga kirishmasdan qolganini anglatadi.

Umuman olganda, olib borilgan kimyoviy va spektroskopik tahlillar Aznek fosforitining oksal kislotasi bilan ishlov berish orqali fosforni agronomik faol shaklga o'tkazish mumkinligini va ushbu jarayon fosforli o'g'itlar ishlab chiqarish uchun samarali yo'l ekanini tasdiqlaydi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Oliveira Mendes, G., Murta, H. M., Valadares, R. V., Da Silveira, W. B., Da Silva, I. R., & Costa, M. D. (2020). Oxalic acid is more efficient than sulfuric acid for rock phosphate solubilization. *Minerals Engineering*, 155, 106458.
2. Kiryanov, A. O., Pravdin, N. N., & Petrov, N. V. (2017). Razlozheniye vyatsko-kamskogo fosforita v prisutstvii karbonovyykh kislot. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (texnicheskogo universiteta)*, (39 (65)), 49-52.
3. Carmo, T. S., Moreira, F. S., Cabral, B. V., Dantas, R. C., de Resende, M. M., Cardoso, V. L., & Ribeiro, E. J. (2019). Phosphorus recovery from phosphate rocks using phosphate-solubilizing bacteria. *Geomicrobiology Journal*, 36(3), 195-203.
4. Sushenisa, B. A. (2009). Rol karbonovyykh kislot v mobilizatsii fosfora iz trudnorastvorimyykh soyedineniy pochvy. *Agroximiya*, (7), 5-10.
5. Bhatti, T. M., & Yawar, W. (2010). Bacterial solubilization of phosphorus from phosphate rock containing sulfur-mud. *Hydrometallurgy*, 103(1-4), 54-59.
6. Vassilev, N., & Vassileva, M. (2003). Biotechnological solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61, 435-440.
7. Jiglesova, S. K., Dunaysev, I. A., & Besayeva, S. G. (2010). Vozmojnosti primeneniya mikroorganizmov dlya resheniya zadach ekologicheskoy i prodovolstvennoy bezopasnosti. *Agroximiya*, (6), 83-96.
8. Amarasinghe, T., Madhusha, C., Munaweera, I., & Kottegoda, N. (2022). Review on mechanisms of phosphate solubilization in rock phosphate fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 53(8), 944-960.
9. Socrates, G. (2004). Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts. John Wiley & Sons.
10. Larkin, P. (2017). Infrared and Raman spectroscopy: principles and spectral interpretation. Elsevier.