

ФОСФАТ АГУУЛСАН ЗЭВРЭЛТЭНД ТЭСВЭРТЭЙ ПИГМЕНТИЙН ТҮҮХИЙ ЭДИЙН ФИЗИК-ХИМИЙН СУДАЛГААНЫ ДҮНГЭЭС

Д. Баяраа, дэд проф, Д. Наранчимэг, дэд проф, МУБИС
Р. Уламбаяр, ХХТХ, А. Март ЭХ-3 курс

Аннотация: Фосфорит является важным полезным ископаемым, добывается как сырьё для производства фосфора и его химических соединений в том числе минеральных удобрений и пигментов. Главными сопутствующими апатиту минералами фосфоритов являются силикаты, алюмосиликаты и минералы железа. В исходном образце исследованного нами фосфорита месторождения Цахир-Ула помимо апатита и кварца присутствовал тосудит, а образце месторождения Алагийн Даба-апатит, кварц и гематит. В результате исследований методом ИК спектроскопии установлено что после активации происходит изменения в положениях анионов и катионов, и ослабление координационных связей в результате которого реакционная способность исходных фосфоритов увеличивается. А также наше исследование установлена возможность проведения твердофазного синтеза для получения пигментов взаимодействием фосфорита с металл-содержащими соединениями.

Түлхүүр үг: фосфорит, апатит, тетраэдр, орд, рентгенбүтэц, спектроскопи, рентгенграмм, спектрограмм

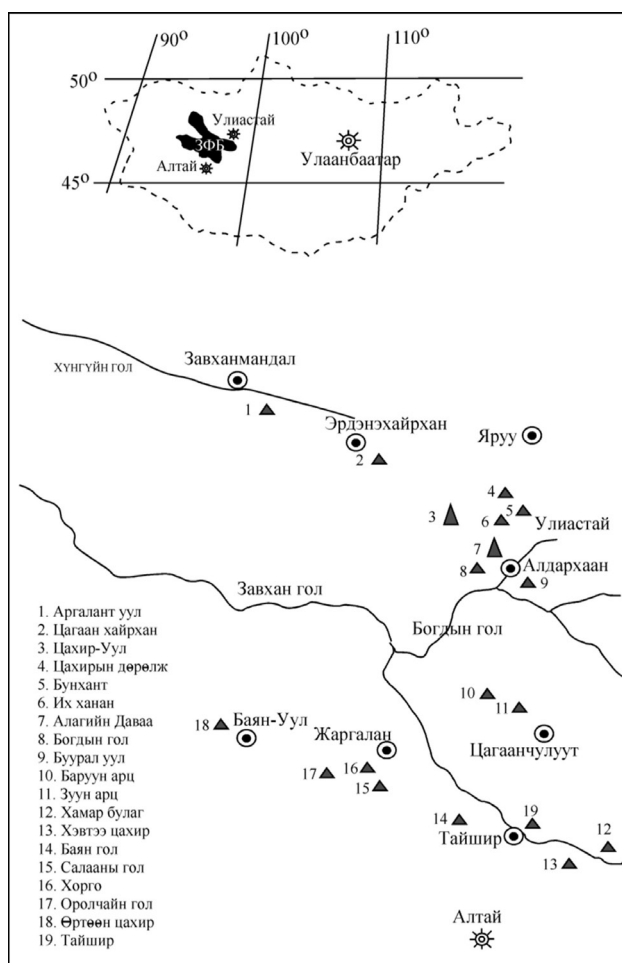
Удиртгал

Фосфатад суурилсан пигментын үндсэн түүхий эд болох Завханы фосфоритын зарим ордын хүдрийн химийн найрлага, эрдэсийн бүтцийг тогтоон улмаар гариган тээрэм ашиглан идэвхжүүлэлтийн процесст оруулах үед фосфатын бүтцэд гарах өөрчлөлтийг Нил улаан туяаны спектроскопийн аргаар тогтоон хатуу фазын синтезийн урвал явагдах боломжтой эсэхийг тогтоох зорилгоор энэхүү ажлыг гүйцэтгэлээ.

Судалгааны объект: Энэхүү судалгааны ажлын объект болгон Завханы фосфоритын бассейны (ЗФБ) Алагийн-Даваа, Цахир-Уулын ордын хүдрийг авлаа.

Завханы фосфоритын бассейн нь Хөвсгөл, Янзцы, Жоржина, Каратау зэрэг фосфатын бассейнуудтай эрдэсийн найрлагын хувьд нилээд төстэй. Газарзүйн байршлын хувьд Завхан, Говь-Алтай аймгуудын хил залгах Завханмандал, Эрдэнэхайрхан, Яруу, Алдархаан, Цагаанхайрхан, Цагаанчулуут, Шилүүстэй, Тайшир, Жаргалан, Баян-Уул сумдын нутгыг хамарсан нийт 24000 км² талбайг эзлэнэ (Доржнамжаа, Соёлмаа, х.18 2001). Тус бассейн нь одоогоос 500 сая гаруй жилийн өмнө гүехэн устай нуур, тэнгисийн нөхцөлд фосфатын арвин хэмжээний үе давхрага бүхий тунамал чулуулгийг хуримтлуулсан зүй тогтолтой томоохон бүтэц юм. Завханы фосфоритын бассейны орд илрэлийн байршлыг 1-р зургаар үзүүлээ.

Зураг 1
Завханы фосфоритын бассейны орд илрэлийн байршил



Алагийн Давааны фосфоритын орд: Энэ орд нь Завхан аймгийн Улиастай хотоос баруун зүгт 50 км, Алдархаан сумаас баруун хойт зүгт 25 км, Алаг Уулаас (2449.0 м) баруун хойш 9.5 км зайд оршино. Орд венд-цагаан оломын давхрагадасын карбонат хурдастай холбоотой.

Цахир-Уулын фосфоритын орд: Завхан аймгийн Яруу сумын нутагт орших ба Алагийн Давааны ордоос баруун хойш 10-20 км, Цахир Уулын (2285.0 м) баруун хойт толгодыг дамнан байрлана. Далайн төвшнөөс дээш 2200-2500 м өндөрт өргөгдсөн. Ордын хувьд венд-цагаан

оломын давхрагадасын карбонат хурдастай холбоотой. Алагийн Даваа, Цахир Уулын ордуудын фосфорит нь бүтцийн хувьд фосфат, карбонат, цахиур, цахиурын бүрэлдэхүүнт хэсгээс тогтоно. Карбонат болон цахиур ихэнхдээ хоёрдогч үүрэгтэй. Хайгуулын тороор суваг малтаж, цооног өрөмдөн нөөцийг C_1 - категориор (16%-иас дээш P_2O_5 -ын агуулгаар) Алагийн Даваа-2,54 сая.тн, Цахир Уулын хувьд 4,25 сая. тн гэж тогтоосон байна (Уламсайхан, Амгалан ба бусад, 1999, х.18).

Хүснэгт 1

ЗФБ-ы зарим ордын, хүдрийн биетүүдийн голлох үзүүлэлт

Ордын нэр	P_2O_5 -ын агуулга, %	Давхаргын зузаан, м	Суналтын урт, км	Орших газар, илрэцийн шинж	Тархалтын байдал	Геологийн байршил
Цахир Уул	6-34	8-20	9-10	Завханы Яруу сумын нутагт уулын хяр толгодыг дагаж илэрсэн	Гадаргууд их ил гарсан, давхаргын баруун хэсэгт хөндий рүү шургасан	Давхаргын энгийн (34°) байрлалтай ба заримдаа хагарлын дагуу зөрөлттэй
Алагийн Даваа	5-36	5-10	9-10	Завханы Алдархаан сумын нутагт уулын орой ба хярыг дагаж сайтар илэрсэн	Ихэвчилэн налуу огшсон байрлалаар нэн сайтар илэрсэн тогтоцтой	Энгийн налуу ($30-40^\circ$) тогтоцтой ба хагарлын дагуу зөрөлттэй

Туршилт судалгааны ажлыг МУБИС-ийн Хими технологийн лаборатори, ШУА-ийн ХХТХ-ийн Түүхий эд, ашигт малтмалын физик химийн лаборатори, МУИС-ийн Материалын бүтцийн лаборатори, ШУТИС-ийн Спектр шинжилгээний лабораторид тус тус гүйцэтгэлээ. Фосфоритын механохимийн идэвхижүүлэлтийг РҮ (БНХАУ) маркийн гариган тээрэмд МУБИС-ийн хими технологийн лабораторид явууллаа.

Судалгааны ажлын явц

Фосфатын хүдэрт: P_2O_5 , CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CO_2 , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , F , шатаалтын дараах хорогдол, H_2O зэрэг компонентуудыг зохих аргачлалын дагуу ашиглан тодорхойлов. Үүнд:

-Фосфор: Уусмал дахь молибдат аммони, ванади хүчлийн аммоний хольцтой фосфор урвалд орж, $P_2O_5-V_2O_5-22MoO_3-nH_2O$ томъёотой тогтвортой өнгөт комплекс нэгдэл үүсгэх бөгөөд энэ өнгөт нэгдлийн өнгөний эрчмээр хэмжихэд үндэслэгдсэн фотоколориметрийн аргаар

-Фтор: Th болон арсеноза- I -ийн өнгөт комплекс дахь Th нь фосфоритын найрлаган дахь F -той ($pH=2.0$) урвалд орсоноор өнгөний эрчим буурах ба энэ бууралтын хэмжээгээр F -ын агуулгыг

тодорхойлох фотоколориметрийн аргаар

-Цахиур: Уусмал дахь цахиурын хүчлийг желатин ашиглан коагуляцад оруулан уусмалаас шүүн салгаж, HF -ой урвалд оруулан үүссэн фторт цахиурыг ууршуулж, жингийн хорогдлыг тооцох жингийн аргаар,

-Нүүрсхүчлийн хий: дээжийг давсны хүчлээр задлан үүссэн CO_2 -г шүлтэнд шингээж, илүүдэл шүлтийг хүчлээр титрлэхэд үндэслэгдсэн титрметрийн аргаар

- $Fe(III)$: хүчиллэг орчинд ($pH=1.0-1.5$) сульфосалицилын хүчилтэй нэгдэж үүсгэдэг өнгөт комплекс нэгдлийн өнгөний эрчмийг хэмжихэд үндэслэгдсэн фотоколориметрийн аргаар,

-Кальци: шүлтлэг орчинд флуорексон индикаторын оролцоотой кальцийг тодорхойлох шууд титрлэлтийн аргаар

-Магни: аммиакийн уусмалд ($pH=10$) крезолфталеkson индикаторын оролцоотой $Tr-B$ -ээр титрлэхэд үндэслэгдсэн комплексометрийн аргаар

-Хөнгөнцагаан: Ацетатын буферын орчинд ксиленоранж индикаторын оролцоотой цайрын хлоридын уусмалаар илүүдэл Трилон Б-г титрлэхэд үндэслэгдсэн комплексометрийн аргаар,

-Натри, Кали: сул хүчиллэг орчинд ($\text{pH}=2.0-2.5$) атом шингээлтийн спектрофотометрийн тусламжтай эмиссийн фотометрийн аргаар,

-Титан: Хүхрийн хүчлийн орчинд Ti -ны H_2O_2 -эй үүсгэх өнгөт нэгдлийн эрчмийг хэмжихэд үндэслэгдсэн фотоколориметрийн аргаар

-Манган: Хүчиллэг орчинд исэлдүүлэгчийн оролцоотой HMnO_4 үүсгэх ба үүссэн өнгөт нэгдлийн эрчмийг хэмжихэд үндэслэгдсэн фотоколориметрийн аргаар тус тус тодорхойлолт хийлээ. Мөн жингийн аргаар ус болон шатаахад гарах алдагдлыг тодорхойлсон.

Рентгендифрактографийн судалгааг МУИС-ийн Материалын бүтцийн лабораторийн SIEMENS

D500 маркийн багажин дээр $\text{K}\alpha$ өвөрмөц туяа, Ni шүүлтүүр, Cu катод бүхий рентген хоолойг ашиглан сарнилын өнцгийн $2\theta^0 = 10^0-80^0$ мужид рентген дифракцийг бичиж боловсруулалт хийлээ.

НУТ-спектроскопийн анализыг FTIR-8300 (ШУТИС-ийн НУТ-спектроскопийн лаборатори) багажаар гүйцэтгэлээ. Дээжийг агатан нухуурт сайтар нунтаглан 105°C -д тогтмол житэй болтол нь хатаагаад спектрийн шинжилгээнд зориулсан 250 мг KBr -той холин тусгай цагирагт пресслэж бэлтгэв.

Силикатын химийн шинжилгээний дүнг 2-р хүснэгтээр үзүүлээ.

Хүснэгт 2

Цахир Уулын ордын фосфоритын химийн найрлага

№	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	ппп	H ₂ O	CO ₂	F	Σ
1	43.1	26.4	20.8	0.24	0.85	1.55	0.27	0.39	0.2	0.01	0.8	-	1.1	2.2	98.0
2	40.1	28.5	18.0	0.06	1.9	2.93	0.52	1.65	0.4	0.03	3.1	-	1.1	1.4	99.7
3	43.0	29.0	16.8	0.12	1.14	1.4	1.6	0.45	0.3	0.03	2.3	-	2.1	1.6	99.8
4	41.5	27.6	17.8	0.05	1.22	3.47	0.52	0.74	0.4	0.04	3.1	0.04	1.10	1.63	99.34
5	39.4	25.8	22.33	0.29	2.35	2.48	0.17	0.45	0.41	0.14	3.15	-	0.15	2.08	99.2
6	29.82	23.35	37.8	0.1	0.86	1.26	0.49	0.14	0.32	0.17	1.78	0.14	0.40	1.06	99.1
7	21.46	23.45	33.0	0.1	1.28	0.6	0.93	0.08	0.36	0.15	8.75	0.14	7.78	2.07	99.13
8	34.14	23.40	31.92	0.54	1.18	2.18	0.54	0.49	0.35	0.02	1.15	-	1.34		99.58

Хүснэгт 3

Алагийн Давааны ордын фосфоритын химийн найрлага

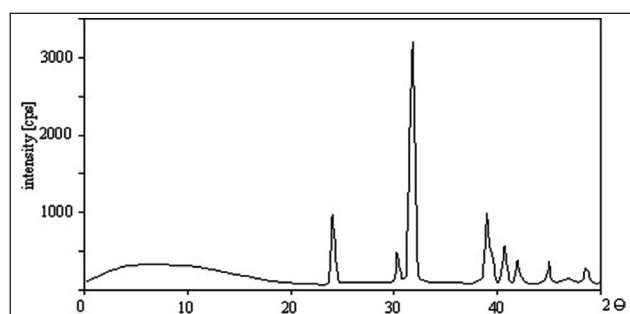
№	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	ппп	H ₂ O	CO ₂	F	Σ
1	21.5	23.5	33.0	0.1	1.01	0.60	0.92	0.08	0.4	0.36	8.7	0.1	7.8	1.1	98.9
2	17.5	14.6	33.9	0.10	1.28	1.40	3.21	0.09	0.7	0.22	13.0	0.1	11.	1.5	99.0
3	13.50	14.65	55.22	0.09	2.15	0.68	2.00	0.08	0.43	0.10	4.57	0.01	4.17	1.38	99.33
4	18	14.85	50.04	0.08	1.14	0.63	0.73	0.08	0.42	0.04	1.36	0.07	<0.4	0.90	99.02
5	23.29	16.90	52.84	0.11	1.15	0.89	0.30	0.09	0.31	0.06	1.56	0.04	<0.4	1.58	99.52
6	23.80	29.60	39.74	0.09	0.82	0.81	0.79	0.08	0.35	0.14	2.02	0.03	<0.4	1.12	99.79
7	31.01	23.91	39.28	0.1	0.12	0.87	0.46	0.18	0.43	0.10	1.45	0.02	<0.4	1.02	99.01
8	27.02	23.44	43.20	0.1	0.84	0.79	0.65	0.12	0.43	0.18	1.58	0.01	<0.4	0.95	99.31

Цахир-Уулын ордын фосфоритын хувьд нийт P_2O_5 : 23.4-29.0% (дунджаар 26% орчим) буюу фосфатын дундаж агуулгатай, CaO : 21.46-43.1% (дунджаар 37% орчим) буюу их, SiO_2 : 16.8-37.8 (дунджаар 24% орчим) буюу дундаж фосфоритын төрөлд хамаарагдаж байна.

Алагийн Давааны ордын фосфоритын нийт P_2O_5 : 14.6-29.60% (дунджаар 20% орчим) буюу фосфатын дундаж агуулгатай, CaO : 13.5-32.88% (дунджаар 22% орчим) буюу дутмаг, SiO_2 : 33.0-55.52 (дунджаар 43.57% орчим) маш ихтэй фосфоритын төрөлд хамаарагдаж байна.

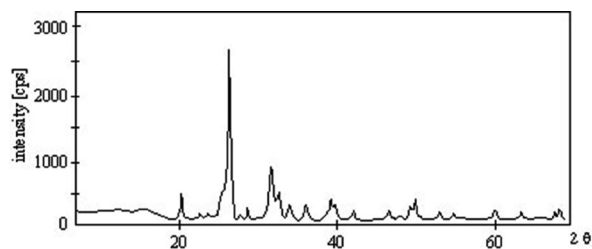
Зураг 2

Алагийн Давааны ордын байгалийн фосфоритын рентгенграмм



Зураг 3

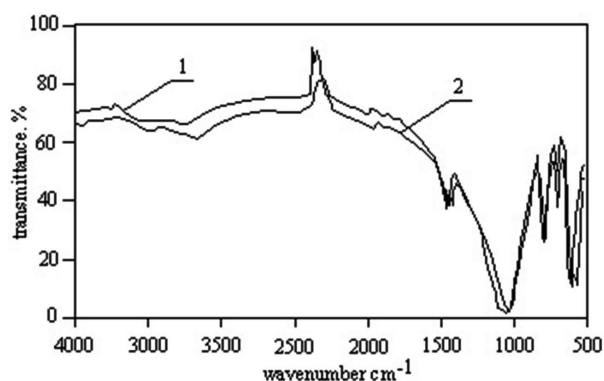
Цахир Уулын ордын байгалийн фосфоритын рентгенграмм



Алагийн Даваа, Цахир-Уулын байгалийн фосфоритын рентгенграммаас (2, 3-р зураг) үзэхэд, ордын хувьд голлох эрдсүүд нь апатит- $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$, кварц- SiO_2 бөгөөд 10%-иас доош агууламж бүхий алюмосиликатууд, мөн гематит (Fe_2O_3)-аас тогтсон байна. Хүдрийн дийлэнх хэсгийн SiO_2 эзэлж буйгаас үзэхэд эдгээр ордын фосфорит нь цахиурлаг төрлийнх байна.

Зураг 4

Алагийн Даваа¹, Цахир-Уул²-ын байгалийн фосфоритын НУТ-ны спектрограмм

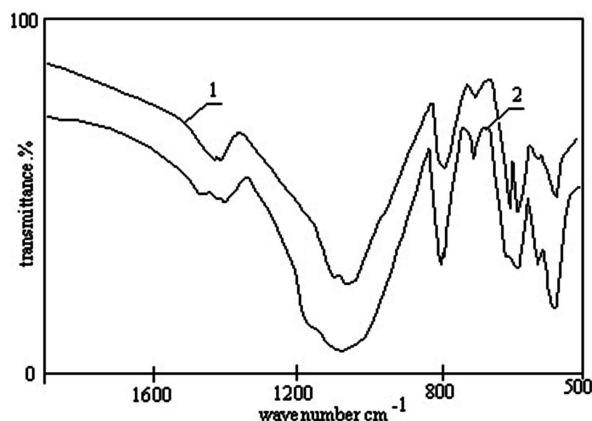


Алагийн Даваа, Завханы Цахир-Уулын байгалийн фосфоритын НУТ-ны спектрийн судалгааг явуулсан дүнгээс үзэхэд, ИК-спектрийн ерөнхий шинж төлөв, ялангуяа төрөл бүрийн ионуудын шингээлтийн чанарын найрлага өөр хоорондын адил төстэй буюу $560\text{--}610\text{ cm}^{-1}$ мужид PO_4^{3-} -ын деформацийн, харин $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ -д PO_4^{3-} -ын валентын хэлбэлзлүүд тэмдэглэгдэж байна. Мөн $780\text{--}800\text{ cm}^{-1}$ мужийн орчимд Si-O холбооны байршил Алагийн Даваа, Цахир-Уулыг ордын хувьд бараг ижил шигээлт өгсөн байна. харин $1350\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ орчимд CO_3^{2-} , CO_3^{2-} -ын хос хоёр шингээлт хоёр ордын фосфоритод бараг ижил байгаа нь ордын дээжүүд найрлага, бүтцийн хувьд адилхан байна гэж үзлээ. Спектрограммаас үзэхэд нил улаан туяаны спектрийн $3600\text{--}2600\text{ cm}^{-1}$ мужид сул шингээлт илэрсэн нь түүний найрлаганд молекул хэлбэрийн ус болон гидроксильн ион байрлах боломжтойг үзүүлж байна.

Механик идэвхижүүлэлтэнд орох үед фторапатитын оронт торны тетраэдр бүтцэнд өөрчлөлт орсоноос урвалын идэвхи ихээхэн өөрчлөгддөг байна. Үүнийг механик идэвхижүүлэлтийн үед CaI анионы, фосфатын тетраэдрийн хүчилтөрөгчтэй харилцан үйлчлэлцэх ионы холбоо нилээд сулрахын хамт CaII ионы фосфатын тетраэдрийн хүчилтөрөгчтэй үйлчлэлцэх хүч (ионжилтын зэрэг) ихсэхтэй холбон тайлбарлаж болно.

Зураг 5

Алагийн Давааны ордын эх болон механик идэвхижүүлсэн дээжний НУТ-ны спектрограмм. 1-эх дээж, 2-гариган тээрэмд 30 мин идэвхижүүлсэн дээж



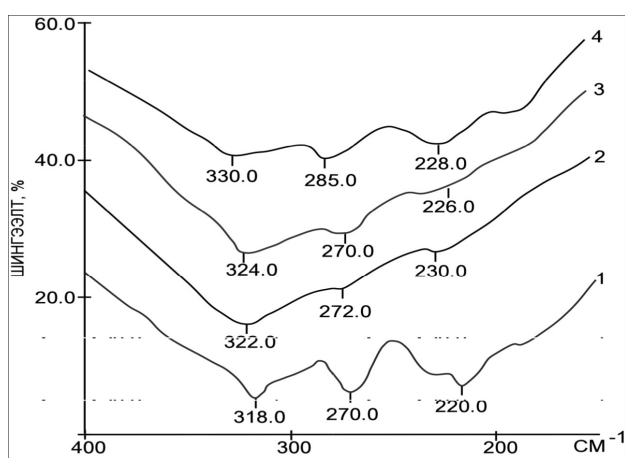
Алагийн Давааны ордын фосфоритын эх болон гариган тээрэмд механохимийн идэвхижүүлэлтэнд оруулсан дээжний (5-р зураг. 1, 2-р спектр) НУТ-ны спектрт ялгаа бага ажиглагдаж байна. 1-р спектрт $500\text{--}470\text{ cm}^{-1}$, $800\text{--}790\text{ cm}^{-1}$ мужид Si-O холбооны деформацийн, $1200\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ Si-O холбооны валентын хэлбэлзэл P-O холбооны валентын хэлбэлзлийн шугамтай давхцаж илэрч байгаа нь кварц (SiO_2) агуулагдаж буйг, 720 cm^{-1} , 890 cm^{-1} мужид C-O холбооны деформацийн, $1450\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ мужид валентын хэлбэлзлийн шингээлт илэрсэн нь карбонат агуулагдаж буйг илтгэж байна.

Механохимийн идэвхижүүлэлтийн явцад апатитын $610\text{--}570\text{ cm}^{-1}$ муж дахь P-O холбооны деформацийн хэлбэлзлийн эрчим хэд дахин буурснаас гадна C-O бүлгийн байршилтанд өөрчлөлт гаран $1450\text{--}1420\text{ cm}^{-1}$ давтамж бүхий шингээлтээс гадна 1500 cm^{-1} мужид шинээр шингээлтийн шугам илэрсэн байна. Энэ нь PO_4^{3-} ионыг CO_3^{2-} ион изоморф халалцалд орсонтой холбогдон шингээлтийн зурвасуудын шилжилт 50 cm^{-1} -ээр ихсэн хамгийн өндөр давтамж бүхий 1500 cm^{-1} мужид тод илэрч байгаа нь апатитын бүтэц дэх σ_3 тэнхлэг дээрхи CO_3^{2-} ионы шилжилт болсоноор тайлбарлагдана (Баяраа ба бусад, 2003,).

Гариган тээрэмд 30 минут идэвхижүүлэлт хийхэд кварцын аморфжилтоос бус харин түүний диспержилтийн өндөр зэргээс болж, Si-O холбооны $1200-1000\text{ см}^{-1}$ муж дахь валентын шингээлтийн шугам өссөнөөр $1100-980\text{ см}^{-1}$ мужийн P-O холбооны валентын хэлбэлзлийн шингээлтийн шугамыг халхалсан байна (5-р зураг.2-р спектр).

Зураг 6

Цахир уул (1.3), Алагийн Даваа (2.4) ордын эх болон механик идэвхижүүлсэн дээжний НУТ-ны спектрограмм. (1, 3- эх дээж, 2, 4- гариган тээрэмд 20 мин идэвхижүүлсэн дээж).



Монголын фосфоритын эх болон идэвхижүүлсэн дээжинд хийсэн НУТ-ны спектрограммаас үзэхэд $320-270\text{ см}^{-1}$ долгионы мужид CaI, CaII ионы холбооны шингээлтийн зурвас илэрсэн байна. Эх дээжний хувьд CaI ионы фосфатын тетраэдрийн хүчилтөрөгчтэй холбогдсон холбоонд өөрчлөлт орсноор $280-275\text{ см}^{-1}$ мужид шинээр үүссэнээс гадна CaII ионы шингээлтийн эрчим ихсэж, $330-320\text{ см}^{-1}$ мужид шилжсэн байна (5-р зураг). Энэ нь механик идэвхижүүлэлтийн дүнд апатитын ионы талст оронт торны хүчдэл өөрчлөгдөх болон хөдлөл бий болсонтой холбоотой байна (М. В. Чайкина ба бусад. 2001).

Алагийн Даваа, ялангуяа Цахир Уулын ордын дээжний хувьд CaII ионы хөдлөл илүү өндөр давтамжийн мужид шилжсэн нь CaII-O холбооны ионы хүч ихсэхтэй холбон тайлбарлаж байна. Энэ нь апатитын изоморф хувирлууд дээр хийсэн бусад судлаачдын ажилтай болон рентгендифрактографын анализын дүнтэй зарчмын хувьд сайн тохирч байлаа (Чайкина 2002, Ж. Амгалан, Д. Баяраа, Д. Наранчимэг 2005, Ж. Амгалан ба бусад 2005)

Энэхүү ажлыг АХБ-ны “Дээд боловсролын шинэчлэл” төслийн хүрээнд хийж гүйцэтгэлээ.

ДҮГНЭЛТ

1. Завханы фосфоритын бассейны Алагийн Даваа, Цахир Уулын ордын хүдрийг бүрдүүлэгч гол эрдсүүд нь фторапатит- $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, кварц- SiO_2 байна. Рентгендифрактограммаас үзэхэд эдгээр ордуудын фосфорит нь цахиурлаг фосфоритын төрөлд багтаж байна.

2. Хүдрийг гариган тээрмийн тусламжтай механохимийн идэвхжүүлэлтэнд оруулахад 1430, 1465 болон 880 см^{-1} мужийн валентын болон деформацийн шингээлтийн шугамын эрчим өссөн нь PO_4^{3-} тетраэдрт карбонат анионы халалцал явагдаж байгааг илэрхийлж байна. Механохимийн процесс нь апатитын PO_4^{3-} тетраэдрийн ОIII ба Ca^{+2} ионы хооронд үүссэн координацийн холбоог сулруулснаас эгэл үүрийн цэнэгийн нягтралд нөлөөлж байна. Ялангуяа Цахир Уулын ордын дээжний хувьд CaII ионы хөдлөл илүү өндөр давтамжийн мужид шилжиж байгаа нь CaII-O холбооны ионы хүч ихсэхтэй холбон тайлбарлаж байна. Иймд механик идэвхжүүлэлтийн үед фосфатын бодисын фрагментуудын хоорондох химийн холбоо улам ионы төрхтэй болж, химийн идэвхт нөлөөлж болохыг НУТ-ны спектроскопийн судалгаагаар тогтоож байна.

3. Судалгаанд авсан хоёр ордын дээжийг механохимийн идэвхжүүлэлтэнд оруулан улмаар пигментийн суурь болгон ашиглах идэвхжсэн фосфатыг гарган авах боломжтойг тогтоолоо.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

Доржнамжаа, Д., Соёлмаа, Д. (2001). Завханы фосфоритын сав газар. Улаанбаатар

Уламсайхан, Я., Амгалан, Ж., Доржнамжаа, Д., Баярдалай, С. (1999). Завханы Алагийн Даваа, Цахир Уулын фосфоритын ордод гүйцэтгэсэн эрэл хайгуулын ажлын үр дүнгийн тайлан. Улаанбаатар

Чайкина, М. В. (2002). Механохимия природных и синтетических апатитов. Изд СОРАН. Новосибирск

Чайкина, М. В., Амгалан, Ж., Баяраа, Д., Батцэцэг, Ө. (2001). Фазовое превращение минералов Дзабханских фосфоритах при механической активации. СОРАН. Химия в интересах устойчивого развития. №5. Новосибирск

Амгалан, Ж., Баяраа, Д., Наранчимэг, Д., Мижигмаа, А. (2007). Монголын фосфоритын механохими. Монголын эрдэм шинжилгээний шилдэг бүтээлийн 81-р боть. Улаанбаатар

Амгалан, Ж., Баяраа, Д., Наранчимэг, Д. (2005). Монголын фосфоритын фосфатын бүтэц, Фосфоритын механохими. Улаанбаатар