



Нүүрсний уурхайн хаягдал шаврын хими, эрдсийн найрлага ба каолинитыг
цэвэршүүлэх боломж

Пүрэвсүрэн Саранцэцэг¹, Бямба-Очир Нарандалай¹, Батмөнх Даваабал², Гэндэнжамц Оюун-Эрдэнэ²,
Ширчиннамжил Нямдэлгэр¹, Сүрэнжав Энхтуул^{1*}

¹Чухал металлын хими технологийн лаборатори, Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи,
Улаанбаатар 13260, Монгол улс

²Дэвшилтэт материалын хими технологийн лаборатори, Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи,
Улаанбаатар 13260, Монгол улс

*E-mail: enkhtuul@mas.ac.mn

ORCID: [0000-0002-2357-5339](https://orcid.org/0000-0002-2357-5339)

Хүлээн авсан: 10.11.2025

Хяналтад: 12.11.2025

Хэвлэлтэд авсан: 13.12.2025

Хураангуй: Манай улс нүүрсийг шатаах замаар эрчим хүч, дулаан үйлдвэрлэх, мөн баяжуулан экспортлох зэргээр ашиглаж ирсэн ч нүүрсний ордыг дагалдах эрдэс баялгийг ашиглах, хаягдалгүйгээр иж бүрэн боловсруулах судалгаа хангалтгүй байна. Иймд Монголын нүүрсний ордуудаас цуглуулсан каолинит агуулсан шавар болон хаягдлын дээжүүдийн эрдсийн болон химийн бүрэлдэхүүнийг судлав. Рентгендифрактометрийн шинжилгээгээр кварц, каолинит, мусковит зонхилж, альбит, микролин зэрэг эрдсүүд дагалдан илэрсэн бөгөөд каолинитын агуулга 2-26.2% байв. Шигшүүрийн шинжилгээгээр УН-S2 болон УН-N4 дээжүүдийн -0.074 мм ба -0.045 мм ширхэглэлтэй фракцуудад каолинитын эрдсийн агуулга хамгийн өндөр буюу 16% ба 35.6% тус тус байсан. Ширхэглэгээр ангилан ялгаж, суспензжүүлэн тунаах аргаар баяжуулсан дээжийг хүчлийн уусгалтаар боловсруулахад каолинитын агуулга 53% хүртэл нэмэгдсэн. Хүчлийн уусгалтын дараа каолинитын талст бүтцийн оронд торын параметрууд бага зэрэг өөрчлөгдөж, триклин системийн P1 сингон (хавтгайн параметр: a=5.17Å; b=8.98 Å; c=7.35Å; α=91.68°; β=105.1°; γ=89.75°)-оос C1 сингон (хавтгайн параметр: a=5.15Å; b=8.94Å; c=7.40Å; α=91.70°; β=104.8°; γ=89.82°) руу шилжсэн өөрчлөлт ажиглагдав.

Түлхүүр үг: нүүрсний уурхайн хаягдал шавар, каолинит, ширхэглэл, дисперсант, хүчлийн боловсруулалт

ОРШИЛ

Манай орны шаварлаг эрдсийн эрэл хайгуул, судалгааны ажил 1940-өөд оноос эхэлж, каолинит, монтмориллонит, иллит болон холимог найрлагатай 200 гаруй орд, илэрцийг тогтоон судалсан байдаг [1]. Хэдийгээр шаварлаг эрдсийн бусад төрлийн орд илэрц харьцангуй элбэг боловч, каолин шаврын нөөц хязгаарлагдмал хэвээр байна. Каолин нь металл биш ашигт малтмалын чухал нөөцийн нэг бөгөөд каолинит эрдсийг голчлон агуулсан, үйлдвэрлэлийн өргөн хэрэглээтэй, түгээмэл ашиглагддаг шаварлаг ашигт малтмал юм [2]. Түүний бүтэц нь Al-(O,OH) октаэдр болон Si-O тетраэдрууд энгийн хүчилтөрөгчөөр холбогдсон нэг төрлийн алюмосиликат байдлаар тогтдог [3]. Каолины физик-химийн шинж чанар, жижиг ширхэглэлтэй, ялтаслаг хэлбэртэй, химийн идэвх багатай, хоргүй, цагаан тод өнгө, талст бүтэц зэрэг онцлог нь түүний олон салбарт өргөн хэрэглэх боломжийг бүрдүүлдэг [4, 5]. Сүүлийн жилүүдэд зах зээлийн эрэлт хэрэгцээ нэмэгдэж, түүнтэй уялдан судалгаа шинжилгээ гүнзгийрэхийн хэрээр нүүрсийг дагалдах хатуу каолины нөөц анхаарал татах болсон. Нүүрсний ордыг дагалдах каолин нь нүүрсний үеийн дээд болон завсрын үе давхаргын тунамалд орших, үндсэн эрдэс бүрэлдэхүүн нь каолинит бүхий шавар бөгөөд нүүрс олборлолт, боловсруулалтын явцад үүсэх үйлдвэрийн

хатуу хаягдлын нэг төрөлд хамаарна [2; 6]. Нүүрсийг олборлох, угаах явцад механикаар ялгарч хуримтлагдсанаар хөрс, ус, агаарын бохирдол үүсгэх эрсдэлтэй [7]. Ерөнхийдөө шаварлаг эрдэс нь олон төрлийн найрлагатай бөгөөд кварц, кальцит, хээрийн жонш, органик бодис зэрэг бусад эрдэс, органик бүтээгдэхүүнийг агуулдаг. Эдгээр нь байгалийн тунадасжилтын явцад шаврын эрдсүүдтэй генетикийн хувьд хамт хуримтлагдсан бүрэлдэхүүнүүд юм. Ийм эрдэс бүрэлдэхүүнүүд нь шаврын физик-химийн шинж чанарт чухал нөлөөтэй боловч их хэмжээтэй агуулагдах тохиолдолд шаврыг боловсруулан ашиглахад сөргөөр нөлөөлдөг [5]. Ялангуяа нүүрсний ордыг дагалдах каолинит нь төмөр, нүүрстөрөгч, хар гялтгануур, хлорит зэрэг бохирдлыг их хэмжээгээр агуулдаг тул байгалийн байдалдаа бараан өнгөтэй байдаг бөгөөд энэ нь өндөр чанарын каолины зах зээлийн шаардлагыг хангахад хүндрэл учруулдаг [8; 9]. Иймээс нүүрсний ордыг дагалдах каолинитын чанарыг сайжруулж, оновчтой ашиглахын тулд дагалдах хольц, бохирдлыг үр дүнтэйгээр салган цэвэршүүлэх нь зайлшгүй шаардлагатай [8; 10]. Одоогоор ширхэглэлээр ангилан ялгах, уусгах, шатаах, хөөсөн флотаци, гравитацийн аргаар ялгах зэрэг уламжлалт технологиудыг нүүрсний ордыг дагалдах каолинитын эрдсийг цэвэршүүлэлтэд

ашиглаж байна [2, 10]. Түүнчлэн, шаварлаг эрдсийн гадаргуугийн янз бүрийн боловсруулалт нь сайжруулсан шинж чанартай шинэ материалыг гарган авах боломжийг олгож, тэдгээрийн хэрэглээг нэмэгдүүлдэг [5, 11].

Манай орны томоохон нүүрсний ордууд нь олон давхаргат тунамал бүтэцтэй бөгөөд давхаргуудын хооронд каолинит агуулсан шаварлаг завсрууд орших боломжтой. Гэвч одоогоор аль ордод, ямар давхаргад, ямар агууламжтай каолин илэрч буй талаарх нарийвчилсан судалгаа хангалтгүй байна. Энэхүү судалгаанд Багануур, Ухаа худаг, Адуунчулууны нүүрсний ордуудаас авсан өрөмдлөгийн дээж, уурхайн талбайн шаврын дээж болон уурхайн хаягдлын дээжүүдэд шинж чанарын судалгаа хийж, каолинитын эрдсийг ялган авах боломжийг судалсан. Үүнд каолинит агуулсан дээжүүдийг ширхэглэлээр ангилан ялгаж, дисперсант урвалж ашиглан тунаан салгах аргаар том ширхэглэлтэй эрдсийн агуулгыг бууруулан, улмаар хүчлийн уусгалтаар төмөр зэрэг хольцыг зайлуулж, каолинитыг цэвэршүүлэх боломжийг судлав.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Материал: Судалгаанд Багануур, Ухаа худаг, Адуунчулууны нүүрсний ордууд (Зураг 1)-ын өрөмдлөгийн дээж, уурхайн талбайгаас авсан шаврын дээж болон уурхайн хаягдлын дээжүүдийг Хятад (Inner Mongolia Yidong Group Co., Ltd)-аас ирүүлсэн дээжтэй харьцуулан ашигласан. Багануурын уурхайгаас цооногийн болон хаягдлын нийт 158 дээж, Дорнод аймагт байрладаг Адуунчулууны уурхайгаас уурхайн талбайн шаврын дээж, хаягдлын дээж нийт 27 дээж, Өмнөговь аймагт байрладаг Ухаа худаг уурхайгаас цооногийн



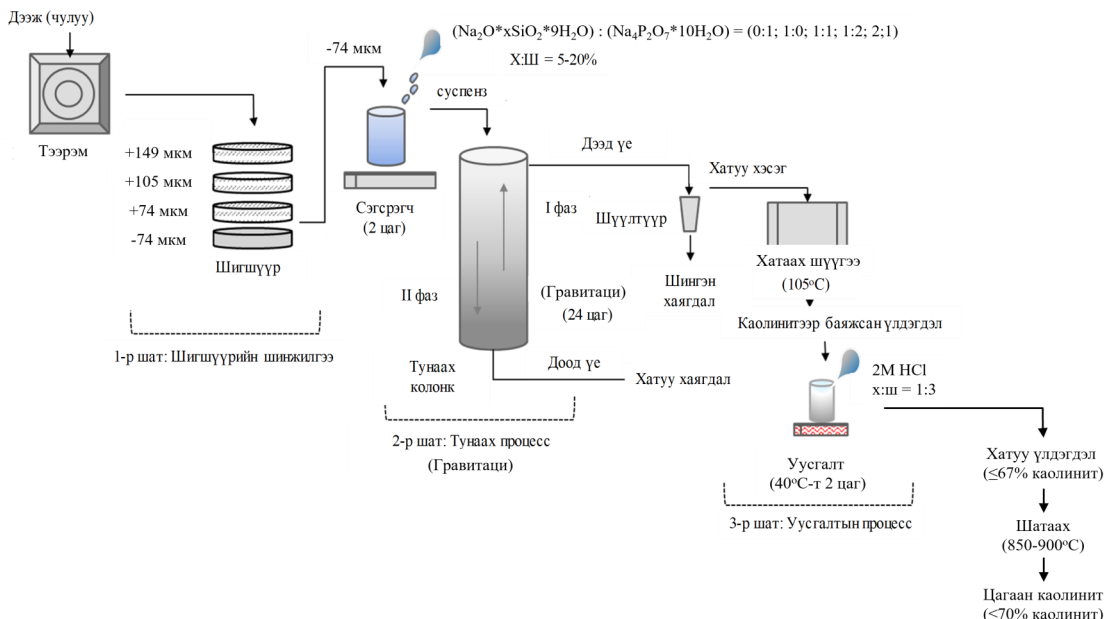
Зураг 1. Судалгааны дээж авсан нүүрсний ордуудын байршил

дээж, уурхайн талбайн шаврын дээж, хаягдлын дээж зэрэг нийт 60 дээж цуглуулсан.

Дисперсант урвалж натрийн гуравч полифосфат ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ба натрийн силикат ($\text{Na}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), суспензийн орчинг тохируулагч NaOH болон бусад урвалж, бодисыг Грийн химистри ХХК-аас худалдаж авсан.

Туршилт, арга зүй: Дээжүүдийн эрдэжилт, шинж чанарыг тодорхойлохын тулд тасалгааны температурт дэлгэж хатаасан дээжийг Fulverisette-VCM 3 загварын чичиргээт тээрмээр 3-5 минутын хугацаанд нунтаглаж, дараа нь +0.149 мм-ээс -0.045 мм хүртэлх хэмжээст шигшүүрээр шигшиж фракцлан ялгасан. Фракцлан ангилсан дээжүүдийг дараах туршилтын бүдүүвч (Зураг 2)-ийн дагуу боловсруулав.

Эхлээд, I шатанд дээжээ бутлаад, дараа нь 3-5 минутын турш автомат нунтаглагчаар нунтаглан нэгэн төрлийн болтол сайтар хутгаж холино. Нунтагласан дээжийг гурван үе шаттайгаар боловсруулан каолинитын эрдсийн агуулгыг нэмэгдүүлэх боломжтой. Нэгдүгээр шатанд нунтагласан дээжийг 0.149 мм, 0.105 мм, 0.074 мм шигшүүрээр шигшин фракцалж ангилна. Шигшүүрийн аргаар ангилан ялгасан фракц тус бүрийн шигшүүрийн нүхний хэмжээнд харгалзах



Зураг 2. Нүүрсний уурхайн хаягдал шавраас каолинитыг цэвэршүүлэх аргын бүдүүвч

гарцын жингийн утгыг хувиар тооцон жижиг хэсгийн тархалтын муруйг байгуулна. Мөн тухайн шигшүүрийн хэмжээнд харгалзаж байгаа жижиг хэсгийн хувь хэмжээнд үндэслэн жигд байдлын коэффициент (coefficient of uniformity, C_u)-ийг тооцоолон тодорхойлдог. Жигд байдлын коэффициент нь хөрс, шороо, шаврын нунтгийн ширхэглэлийн хэмжээний тархалт буюу, өөрөөр хэлбэл ширхэглэлийн жигд байдлыг илэрхийлдэг бөгөөд тухайн шигшүүрийн ангилалд хамаарагдаж байгаа жижиг хэсгийн эзлэх хувь (D_{60}), дараагийн шигшүүрийн хэмжээнд харгалзах жижиг хэсгийн эзлэх хувь (D_{10}) бол эдгээр жижиг хэсгийн хувийн харьцаагаар тодорхойлогддог ба $C_u = D_{60}/D_{10}$ гэсэн томъёогоор илэрхийлэгдэнэ. $C_u < 4$ (элс), $C_u < 6$ (шаварлаг хайрга) бол уг хөрс, шороо нь нэгэн төрлийн жижиг хэсгээс бүрдсэн, жигд тархалттай байх бол; $C_u > 4-6$ үед хөрс, шороо нь жигд бус, олон төрлийн жижиг хэсгээс бүрдсэн байгааг илэрхийлнэ. C_u коэффициент өндөр байх нь ширхэглэлийн тархалт өргөн, нягтрал сайн, ус нэвтрүүлэх чадвар сайн байгааг илтгэж байгаа бол бага C_u коэффициент бага байх нь ширхэглэлүүдийн хэмжээ ойролцоо, нягтрах боломж муу, ус нэвтрүүлэх чадвар сул байгааг илтгэнэ [12].

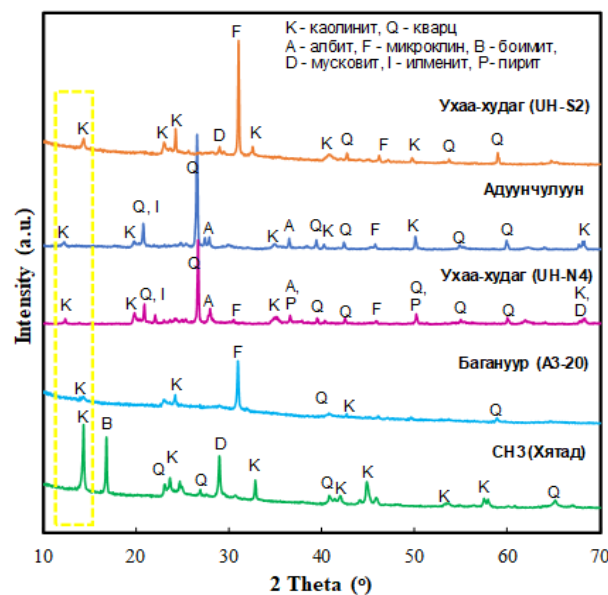
II шатанд фракцлан ялгасан -0.074 мм ширхэглэгтэй дээжээс 10 г жинлэн авч, хатуу шингэний харьцаа (х:ш)-г 1:5; 1:10; 1:20 харьцаагаар, дисперсангийн холимгийг 1:1; 1:2; 2:1 харьцаагаар (0.01-0.0025 г хүртэлх хэмжээтэй) авч усанд дисперсжүүлэн суспенз үүсгэн гравитацийн туршилтыг явуулав. Каолинит агуулсан дээжийг дисперсантаар боловсруулснаар каолинитын ширхгүүдийг усан суспенз болон бусад орчинд жигд тарааж, бөөгнөрөл (флокуляци)-ийг задалж, тогтвортой тархалт үүсгэдэг [13]. Дисперсант хэрэглэж байгаа шалтгаан нь каолинитын эрдэс нь гадаргуу дээрээ сөрөг цэнэгтэй боловч устөрөгчийн холбоо болон Ван-дер-Ваальсын хүчний нөлөөгөөр бөөгнөрөх хандлагатай. Дисперсант нэмснээр каолинитын ширхгүүдийн хоорондох таталцах хүчийг багасгаж, зөвхөн нэг ширхэглэг хэлбэрээр тархана. Ингэснээр зуурамтгай чанар буурч суспензийн тогтвортой байдал нэмэгдсэнээр ширхэглэлийн жигд тархалт бий болно [14]. Дисперсант урвалжаар натрийн полифосфат ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) ба натрийн силикат ($Na_2O \cdot xSiO_2 \cdot 9H_2O$)-ийг шаардагдах хэмжээгээр авна. Суспензийн орчинг тохируулах нь чухал бөгөөд ихэвчлэн рН 7-10 орчимд каолинит сайн дисперслэгддэг тул 20 % NaOH-ийн уусмалаар орчинг рН 7; 8; 10 болгон тохируулан, үүнийгээ сайтар сэгсэрч хольсны дараа автомат сэгсрэгчид 250 эрг/мин хурдтайгаар 2 цаг сэгсрээд, дараа нь 1000 мл-ийн хэмжээст цилиндрт юүлж 24 цаг хөдөлгөөнгүй байлгаж тунаан хүндийн жингээр нь ялгана. Тунаан салгах аргаар ялгарсан фазуудын

дээд үе (I фаз)-ийг пипеткээр соруулан авч, 50 мл центрифугийн түбэнд хийж 4000 эрг/мин хурдтайгаар 30 минутын хугацаанд төвөөс зугтах хүчний нөлөөгөөр хатуу хэсгийг ялган авна. III шатанд тунаах аргаар баяжуулсан каолинитын эрдсийг бусад дагалдах хольц эрдсүүдээс салгахын тулд хүчлийн уусмалаар уусган, каолинитын эрдсийн агуулгыг нэмэгдүүлнэ.

Нүүрсний уурхайн хаягдал шаврын хүчлийн боловсруулалтыг дараах байдлаар гүйцэтгэв. 5г дээж авч, дээр нь 2М HCl уусмал нэмж (хатуу шингэний харьцааг 1:3 болон 1:4 байхаар) уусган, 40°C -ийн температурт, тасралтгүй халааттайгаар 2 цагийн турш соронзон хутгагчаар хутгав. Дараа нь тунадасыг шүүж, ионгүйжүүлсэн усаар угааж, рН-ийг саармагжуулан 105°C-т хатаав. Эх дээж болон боловсруулсан дээжийн эрдсийн болон элементийн агуулгыг рентгендифрактометр (XRD X-ray diffractometer TD-3500 Tongda), рентгенфлуоресценц (XRF), химийн задаргаа (Mars 7), (ICP-OES)-ийн багажит болон химийн шинжилгээгээр тодорхойлов.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Каолинитын эрдсийн химийн найрлага нь хөнгөнцагаан ба цахиураас бүрдэх $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ бөгөөд онолын хувьд 46.54% SiO_2 ; 39.50% Al_2O_3 ; ба 13.96% H_2O агуулна. Гэвч каолинитын химийн болон талстографийн шинж чанар нь тухайн ордын үүсэл гарвал, геологийн тогтцын онцлогоос ихээхэн хамаардаг [15]. Энэ судалгаанд өөр өөр байршлаас авсан дээжүүдийг судалсан. Нүүрсний ордуудын каолинит агуулсан дээжүүдийн рентгендифрактометрийн шинжилгээний харьцуулсан дүнг Зураг 3, Хүснэгт 1-т тус тус үзүүлээ.



Зураг 3. Монголын нүүрсний ордуудын каолинит агуулсан хаягдал шаврын эрдсийн харьцуулсан рентгенграмм

Хүснэгт 1. Нүүрсний ордуудын хаягдал шаврын эрдсийн бүрэлдэхүүн

Эрдсүүд, %	Дээж				
	Багануур (A03-20)	Адуун чулуун	Ухаа худаг (UH-S2)	Ухаа худаг (UH-N4)	Хятад (CH-3)
Кварц, SiO ₂	30.8	16.4	2.9	60.3	1.0
Каолинит, Al ₂ H ₄ O ₉ Si ₂	26.2	2.1	5.0	12.3	80.5
Альбит, AlNaO ₈ Si ₃	5.1	4.5	19.4	-	12.3
Микроклин, Al _{0.93} KO ₈ Si _{3.07}	15.1	-	53.3	-	6.1
Анортит, Al ₂ CaO ₈ Si ₂	22.8	76.9	-	-	-
Доломит, Ca _{0.5} Mg _{0.5} CO ₃	-	-	2.5	3.1	-
Мусковит, Al ₃ H ₂ KO ₁₂ Si ₃	-	-	-	24.2	-
Илменит, FeTiO ₃	-	-	-	0.2	-

Зураг 3-аас харахад рентгендифрактометр (XRD)-ийн шинжилгээгээр нүүрсний уурхайн шаврын дээжүүдэд кварц, каолинит, альбит гэсэн эрдсүүд зонхилж, анортит, микроклин зэрэг эрдсүүд бага хэмжээгээр илэрсэн бөгөөд рентгенграммын CuKa анодын цацаргалтын өнцөг (2 Theta) 12.5°, 20°, 25° (PDF#29-1488)-ийн үед каолинитын пикийн эрчим илэрч байв. Монголын нүүрсний ордуудын шаврын дээжүүдэд каолинитын эрдсийн агуулга 2-26.2%, Хятадаас ирүүлсэн нүүрсний уурхайн шаврын дээжид 80.5% агуулагдаж байв.

Нүүрсний ордуудын хаягдал шаврын дээжүүдийн элементийн агуулгыг рентген флуоресценцийн (XRF) шинжилгээгээр тодорхойлж Хүснэгт 2-т харьцуулан үзүүлэв

Монголын нүүрсний уурхайн шаврын дээжүүдийн XRF болон химийн шинжилгээг харьцуулан үзэхэд Al₂O₃-ын агууламж харьцангуй бага 13.64-25.17%, SiO₂-ийн агууламж ихтэй буюу 49.75-64.64%, төмрийн ислийн агууламж өндөр буюу 1.45-5.35% байгаа нь силикат эрдсүүдийн агууламж өндөр, органик бодисын агууламж бага байгааг харуулж байна. Адуунчулууны дээжид хөнгөнцагааны ислийн хэмжээ хамгийн бага агуулагдаж байгаагаас каолинитын эрдсийн агуулга багатай болох нь харагдаж байна. Голлох хувийг эзэлж байгаа силикатын эрдсээс гадна, ялангуяа Багануурын уурхайн шаврын дээжин дэх төмрийн ислийн агуулга 5.35% хүртэл агуулагдаж байгаа нь хаягдал шаврыг боловсруулж ашигтай эрдсийг ялгах, бүтээгдэхүүн гарган авахад хүндрэлтэй болгож байна. Нүүрсний олборлолтын нөхцөлд каолинит нь

ихэвчлэн нүүрсний давхаргатай холбоотой ганг (эрдэс чулуулгийн үе) эрдэс хэлбэрээр олддог. Хаягдал шаврын найрлага, каолинитын эрдсийн агуулгад тухайн нүүрсний ордын геологийн тогтоц нөлөөлж болно.

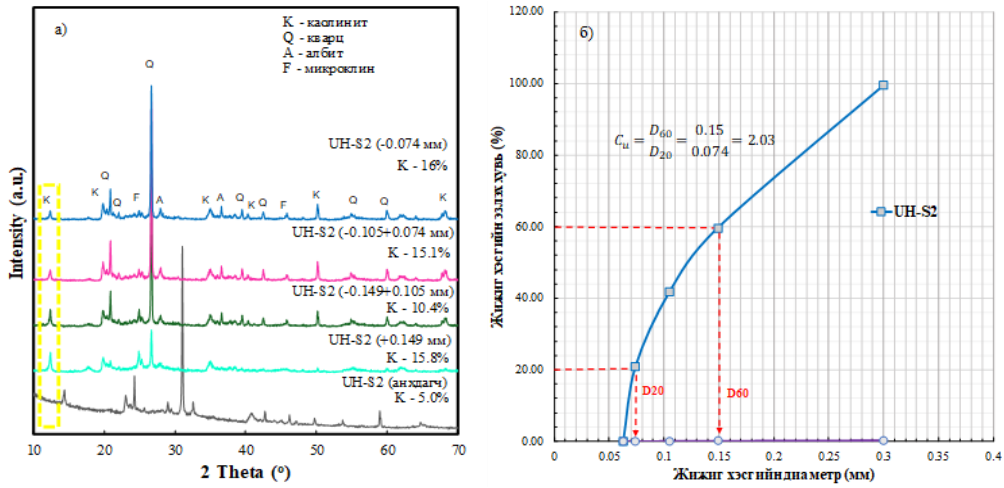
Өмнөговь аймагт Монгол орны нүүрсний нөөцийн дийлэнх хэсэг оршдог бөгөөд эдгээр ордуудын үе давхарга зузаан, тогтвортой байрлалтай байдгаараа эдийн засгийн өндөр ач холбогдолтой. Гэвч олборлолтын хэмжээ өсөхийн хэрээр түүнийг дагалдаж гарах хаягдлын хэмжээ ч нэмэгддэг. Хэрэв нүүрсний олборлолтын 10-15%-ийг каолинит агуулсан шавар эзэлнэ гэж тооцвол манай улсын хэмжээнд нийтдээ ойролцоогоор 5.19 тэрбум тонн шаврын нөөц бий гэж үзэж болно. Ухаа худаг ордын хувьд нүүрсний үе давхаргуудын хооронд элсэн давхарга, занар, шаварлаг занар зэрэг зузаан хурдас давхаргууд байрладаг. Нүүрсний ордуудын хаягдал шаврын эрдсийн болон химийн шинжилгээний дүнгүүдэд үндэслэн цаашдын боловсруулалтын судалгаанд Ухаа худаг уурхайн талбайгаас авсан шаврын дээж (UH-S2) болон хаягдлын овоолгоос авсан дээж (UH-N4)-ийг сонгон ширхэглэлээр ангилан ялгах, гравитаци, хүчлээр уусгах туршилтыг гүйцэтгэв.

Ширхэглэлээр ангилан ялгах: Энэ шинжилгээнд Ухаа худаг уурхайн талбайгаас авсан шаврын дээж (UH-S2) болон уурхайн хаягдлын овоолгын дээж (UH-N4)-ийг сонгон ашигласан. Нунтаглагч тээрмээр 3 минутын турш нунтагласан UH-S2 дээжийг 0.149 мм, 0.105 мм, 0.074 мм хэмжээтэй шигшүүрээр ангилан ялгаж, фракцуудын эрдсийн

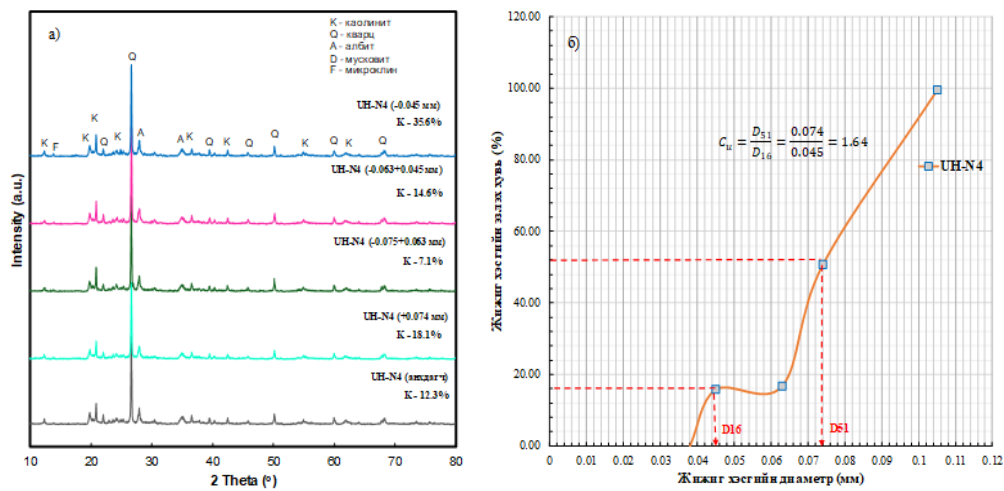
Хүснэгт 2. Нүүрсний ордуудын хаягдал шаврын дээжүүдийн элементийн шинжилгээний дүн

Нэгдлүүд	Агуулга, %				
	Багануур (A03-20)	Адуунчулуун	Ухаа худаг (UH-S2)	Ухаа худаг (UH-N4)	Хятад (CH-3)
SiO ₂	49.75	64.43	62.28	64.64	41.61
Al ₂ O ₃	19.01	13.64	21.31	25.17	41.04
TiO ₂	1.095	0.427	1.21	1.66	0.544
Fe ₂ O ₃	5.35	2.99	1.45	2.19	0.70
CaO	0.97	0.22	0.44	0.58	0.17
MgO	1.78	0.61	0.97	1.11	0.26
Na ₂ O	0.26	1.13	1.12	1.06	0.20
K ₂ O	2.62	1.54	2.15	2.83	0.11
MnO	0.057	0.010	0.032	0.021	0.006
P ₂ O ₅	0.140	0.021	0.242	0.288	0.076
LOI*	18.6	10.57	8.09	-	15.02

*LOI – loss on ignition буюу шатаалтын хорогдол



Зураг 4. (а). UH-S2 Фракцлан ангилсан дээжнүүдийн эрдсийн рентгенграмм; (б). жижиг хэсгийн тархалт



Зураг 5. (а). UH-N4 дээжийн ширхэглэлээр ангилсан фракцуудын эрдсийн рентгенграмм, (б). жижиг хэсгийн тархалт

бүрэлдэхүүний рентгендифрактометрийн дүнг Зураг 4а-д, жижиг хэсгийн тархалтын муруйг Зураг 4б-д харуулав. Рентгендифрактометрийн дүнгээс харахад -0.074 мм ширхэглэлтэй фракцад каолинитын эрдсийн агуулга хамгийн их буюу 16% байв. Зураг 4б-д үзүүлсэн жижиг хэсгийн тархалтын муруйн 0.15 мм-ийн шигшүүрийн ангилалд харгалзах жижиг хэсгийн эзлэх хувь 60% (D₆₀) байгаа тул дээжийн 60% нь 0.15 мм хэмжээтэй буюу түүнээс нарийн ширхэглэлтэй болно. 0.074 мм -д харгалзах жижиг хэсгийн эзлэх хувь 20% (D₂₀) байгаа тул дээжийн 20% нь 0.074 мм хэмжээтэй буюу түүнээс нарийн ширхэглэлтэй болж байна. Үүнээс үндэслээд нунтагласан дээжний жигд байдлын коэффициент (C_u)-ийг C_u=D₆₀/D₂₀ гэсэн томъёогоор тооцоолоход 2.03 буюу 4-өөс бага байгаа нь нэгэн жигд нарийн ширхэгтэй хэсгүүдийг илэрхийлж байна. Мөн C_u – коэффициент бага байх нь ширхэглэлүүдийн хэмжээ ойролцоо, нягтрах боломж муу, ус нэвтрүүлэх чадвар сул байгааг илтгэж байна.

Ухаа худаг уурхайн хаягдлын дээж (UH-N4) нь хэт нарийн ширхэглэлтэй учир +0.074 мм; -0.074

мм+0.063 мм; -0.063 мм+0.045мм; -0.045 мм хэмжээтэйгээр шигшүүрийн шинжилгээг хийж, фракцалж ангилсан дээжийн эрдсийн агуулгыг рентгендифрактометрийн шинжилгээгээр тодорхойлж рентгенграммын зургийг Зураг 5а-д, жижиг хэсгийн тархалтын муруйг Зураг 5б-д, эрдсийн фазын агуулгыг Хүснэгт 3-т тус тус харуулав. UH-N4 дээжийн шигшүүрийн шинжилгээний дараах фракцуудын эрдсийн рентгенграмм (Зураг 5а)-аас харахад 0.074 мм -ээс 0.045 мм хүртэлх ширхэглэлтэй фракцуудад кварц (SiO₂), каолинит (Al₂H₄O₉Si₂) гэсэн эрдсүүд зонхилж, мусковит (Al₃H₂KO₁₂Si₃), альбит (AlNaO₈Si₃), кальцит (CaCO₃), пирит (FeS₂) зэрэг эрдсүүд бага хэмжээгээр илэрсэн. Зорилтот эрдэс болох каолинитын пикийн эрчим рентгенграммын CuKα анодын цацаргалтын өнцөг (2 Theta) 12.5°, 20°, 25°-ийн үед илэрч байв.

Шигшүүрийн ангиллаар UH-N4 дээж нь 0.074 мм шигшүүрээр 50% нь +0.074 мм ширхэглэлтэй, 50.72% -ийг нь -0.074 мм буюу нарийн ширхэглэл (D₅₀)-тэй хэсгүүд эзэлж байгаа ба 0.045 мм шигшүүрээр 15.78% -ийг -0.045 мм буюу нарийн

Хүснэгт 3. УН-N4 дээжийн шигшүүр (+0.074мм; -0.074+0.063; -0.063+0.045; -0.045мм)-ийн ангиллын дараах фракцууд дахь эрдсийн агуулга

Дээжийн нэр	Ширхэглэлийн хэмжээ, мм	Эрдсүүд (%)						
		Кварц SiO ₂	Каолинит Al ₂ H ₄ O ₉ Si ₂	Мусковит Al ₃ H ₂ KO ₁₂ Si ₃	Доломит C ₂ CaMgO ₆	Альбит AlNaO ₈ Si ₃	Кальцит CaCO ₃	Пирит FeS ₂
	анхдагч	60.2	12.3	24.2	3.1			
	+0.074	43.0	18.1	16.6	0.0	10.4	-	0.4
УН-N4	-0.074+0.063	41.6	7.1	14.6	-	21.6	0.0	0.1
	-0.063+0.045	27.7	14.6	23.7		24.5	0.9	0.8
	-0.045	10.6	35.6	8.8	0.3	30.4	6.6	0.5

ширхэглэл (D₁₀)-тэй хэсгүүд эзэлж, 84%-ийг +0.045 мм-ээс -0.074 мм хүртэлх ширхэглэлтэй хэсгүүд эзэлж байв. Эдгээр ширхэглэлийн шинжилгээний дүнд үндэслэлд жигд байдлын коэффициент (C_u)-ийг тооцоолоход 1.64 буюу 4-өөс бага байгаа нь нэгэн жигд нарийн ширхэглэлтэй хэсгүүдийг илэрхийлж байна. УН-S2, УН-N4 дээжүүдийн хувьд C_u < 4 нь ширхгүүдийн хэмжээ бараг адилхан, дээж нэг төрлийн, маш жигд байгааг харуулж байна. Эндээс харахад шавар нь голчлон нарийн ширхэгт хэсгүүдээс тогтсон байна. Иймд УН-N4 дээжийн нарийн буюу -0.045 мм-ийн ширхэглэлтэй фракцыг сонгон авч, каолинитыг цэвэршүүлэх дараагийн туршилтуудад ашигласан.

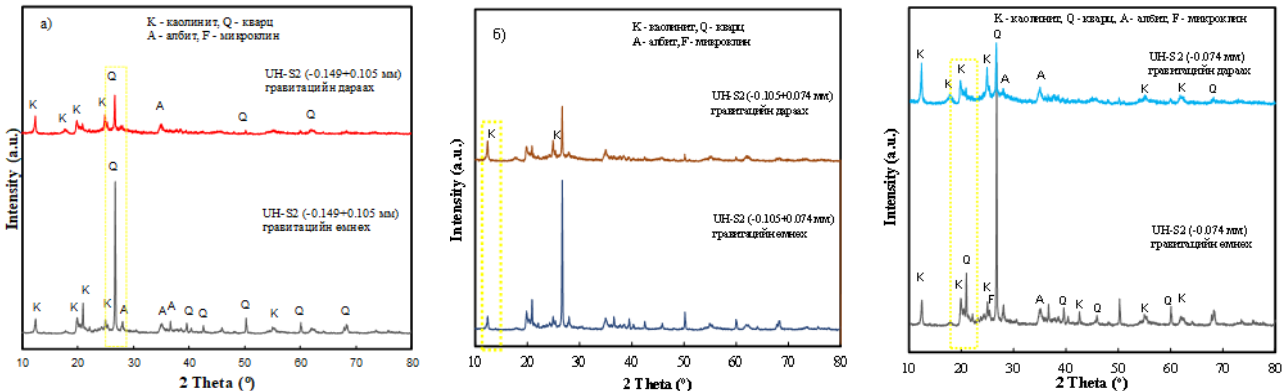
УН-N4 дээжийн шигшүүрийн шинжилгээний дүнд хамгийн нарийн ширхэглэлтэй буюу -0.045 мм хэмжээтэй фракцад каолинитын эрдсийн агууламж хамгийн өндөр (35.6%) байв (Хүснэгт 3). Каолинит нь бүтцийн онцлогоосоо шалтгаалан уусмалд маш нарийн ширхэгтэй хэсгүүд хэлбэрээр оршиж, шаварт амархан хуримтлагддаг. Иймээс ширхэглэлийн ангиас хамаарч ашигт эрдсийн агуулга нэмэгдэж байна. Учир нь анхдагч дээжид өндөр агуулгатай байсан том ширхэгтэй эрдсүүд болох кварц, альбит, микроклины эрдсүүдийн нарийн ширхэглэлтэй фракцад агуулагдах хэмжээ нь буурсан байгаа нь рентгенграмм (Зураг 5а) дээрх пикүүдийн эрчим болон фазын шинжилгээний дүн (Хүснэгт 3)-ээс харагдаж байна.

Тунаах процесс: УН-S2 дээжийн 0.105 мм ба 0.074 мм-ийн хэмжээст шигшүүрээр ангилан ялгасан фракцуудаас тус бүр 10 г дээж авч, Зураг 2-т үзүүлсэн туршилтын бүдүүвчийн дагуу

боловсруулсан. Дээжийг 1000 мл-ийн хэмжээст цилиндрт хийн, дээрээс нь 500 мл нэрмэл ус хийж 30 минутын турш шилэн саваагаар хутгаад, үүссэн суспенз уусмалыг тогтворжуулан усан дахь хатуу хэсгүүдийн хүндийн жингийн ялгаагаар явагдах гравитацийн процессыг фаз хоорондын үе тод ялгаран харагдах хүртэл 96 цагийн хугацаанд явуулав. Үүний дараагаар ялгарсан эрдсийн фазуудыг эхлээд дээд үе (I фаз) буюу суспензлэгдсэн хөнгөн фракцыг түрүүлж шилэн соруулаар аваад центрифугийн тيوبэнд хийн төвөөс зугтах хүчний нөлөөгөөр уснаас салган авч хатаах шүүгээнд 105°C-ийн температурт хатаав. Харин усан үеийн доор үлдсэн хүнд фракц (II фаз)-ыг цаасан шүүлтүүрээр шүүж мөн хатаах шүүгээнд хатаасан.

Ухаа худаг уурхайн УН-S2 дээжийн 0.105 мм, 0.074 мм-ийн шигшүүрээр ангилан ялгасан фракц тус бүрийн гравитацийн өмнөх болон дараах дүнг харьцуулан Зураг 6-д харуулав.

Рентгенграмм (Зураг 6)-аас харахад фракцуудад кварц (SiO₂) болон каолинит (Al₂H₄O₉Si₂)-ын эрдсүүд зонхилж, албит (AlNaO₈Si₃) болон микроклин (Al_{0.93}KO₈Si_{3.07}) дагалдах байдлаар илэрч байна. Хүндийн жингээр тунаан ялгасаны дараа рентгендифрактограммын CuKα анодын цацаргалтаар хэмжихэд 2θ=12.5°, 20°, 25° орчимд илрэх каолинит (Al₂H₄O₉Si₂)-ын пикийн эрчим бүх фракцуудад адилхан нэмэгдсэн байв. Харин кварцын пикийн эрчим 2θ=25° дээр мэдэгдэхүйц буурсан нь бүх фазуудад ажиглагдсан. Энэ нь гравитацийн туршилтаар ширхэглэл томтой кварцын агуулга буурсныг илтгэнэ.



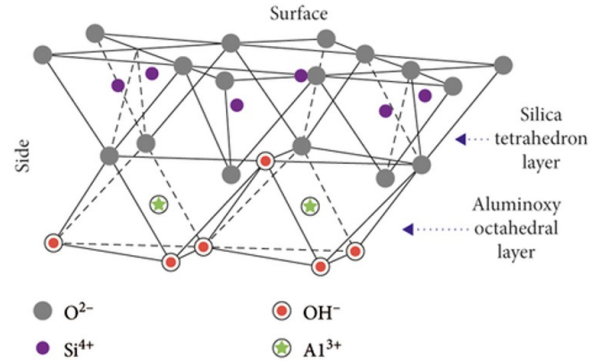
Зураг 6. УН-S2 дээжийн гравитацийн өмнөх болон дараах рентгенграмм (а). +0.105 мм, (б) -0.105+0.074 мм, (в). -0.074 мм

Хүснэгт 4. Гравитацийн дараах УН-S2 дээжийн фракцууд дахь эрдсийн агуулга

Дээж	Ширхэглэлийн хэмжээ, мм	Эрдсүүд, %			
		Кварц SiO ₂	Каолинит Al ₂ H ₄ O ₉ Si ₂	Альбит AlNaO ₈ Si ₃	Микроклин Al _{0.93} KO ₈ Si _{3.07}
	+0.105	28.0	46.3	9.8	15.9
УН-S2	-0.105+0.074	37.7	43.7	5.3	13.3
	-0.074	23.6	49.1	6.2	21.1

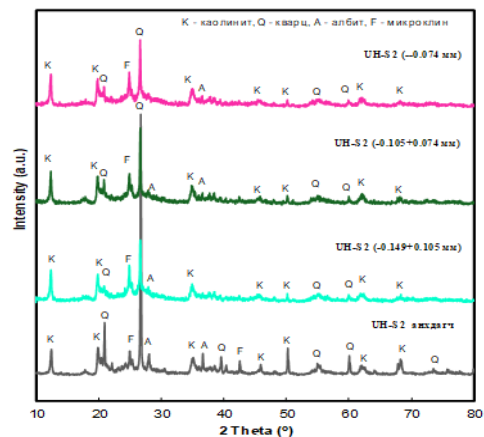
Рентгендифрактометрийн дүнгээс эрдсийн фазын тоон агуулгыг Ритвельдийн аргаар боловсруулан тооцоолж үр дүнг *Хүснэгт 4*-д нэгтгэн үзүүлэв. Эрдсийн фазуудын агуулга (*Хүснэгт 4*)-аас харахад том ширхэглэлтэй фракц буюу +0.105 мм-с дээш үед гравитацийн дараа каолинитын эрдсийн агуулга 46.3%, кварцын агуулга хамгийн бага 28.0% байв. -0.105+0.074 мм ширхэглэлтэй үед каолинитын агуулга 43.7%, кварцын агуулга 37.7% байсан ба хамгийн нарийн ширхэглэлтэй -0.074 мм ширхэглэлтэй фракцын хувьд каолинитын агуулга 49.1%, кварцын агуулга 23.6% буюу хамгийн бага байв. Үүнээс дүгнэхэд УН-S2 дээжийн хувьд хамгийн нарийн ширхэглэл буюу -0.074 мм ширхэглэлтэй байх нь каолинитын эрдсийг ялган авахад тохиромжтой нунтаглалтын нөхцөл юм гэж тодорхойлов.

Хүчлийн уусгалт: Бентонит, палигорскит, монтмориллонит болон бусад шаварлаг эрдэстэй харьцуулахад каолинит нь ион солилцох чадвар бага, урвалын идэвхт чанар муутай, оронт торын тэлэлт шахалт бараг байдаггүй. Мөн давхаргын хооронд катион солилцоо бараг явагддаггүй, тогтвортой талст бүтэцтэй тул шавар дахь хамгийн бага идэвхжилтэй байдаг. Учир нь каолинитын молекулын талст бүтэц нь дээд хэсэгтээ SiO₄-ийн тетраэдр (Si төвтэй, хүчилтөрөгчийн атомуудаар хүрээлэгдсэн) бүтэц, доод хэсэгтээ AlO₆-ийн октаэдр (Al төвтэй, OH⁻ ба O²⁻-оор хүрээлэгдсэн) байрласан (*Зураг 7*) байдаг. Эдгээр хоёр талст орон торын хавтгайн үе нь гидроксил (OH⁻) бүлгүүдээр холбогддог. Энэ хоёр хавтгайн үе ээлжлэн давтагдаж, 1:1 бүтэц үүсгэнэ. Каолинитын талст орон торын хавтгайн хооронд устөрөгчийн холбоо үүсч, усны молекулууд болон бусад ионууд завсрын давхаргад ороход хэцүү болдог [16] бөгөөд шингээх шинж чанар нь түүний гадаргуугийн бүтэц, ирмэгээр тодорхойлогддог. Ирмэг дэх цэнэгийг шаварлаг эрдсийн гадаргуу дээр ирмэгийн дагуу эсвэл усан уусмал дахь ионждог гадаргуугийн бүлгийн ионуудтай урвалд оруулснаар өөрчилж болно. Шаврын гадаргуугийн шинж чанарыг сайжруулах химийн өөрчлөлтийн арга болох хүчиллэг өөрчлөлтийг өргөнөөр ашиглаж, судалж байна. Органик бус хүчлийг шингээснээр шаврын жижиг хэсэг тархаж, эрдэс хольц багасч, гаднах давхаргын бүтэц эвдэрч, улмаар шаврын химийн найрлага, бүтэцэд өөрчлөлт ордог [6]. Иймд хүчлийн уусгалтаар каолинитын эрдсийн талст бүтэцэд өөрчлөлт орж байгаа эсэхийг судалсан.



Зураг 7. Каолинитын молекулын бүтэц [17]

Гравитацийн аргаар баяжуулсан дээжүүд болох УН-S2 (+0.105 мм), УН-S2 (-0.105+0.074), УН-S2 (-0.074 мм) дээжүүдийн каолинитын эрдсийн агуулгыг нэмэгдүүлэх, түүнчлэн төмөр зэрэг бусад хольцоос цэвэршүүлэхийн тулд хүчлийн уусгалтыг х:ш-ний харьцааг 1:3 байх үед 2M HCl-ийг ашиглан 40°C-ийн температурт тогтмол халаалттайгаар 2 цагийн турш хутгалттай соронзон хутгагч дээр уусгалтын туршилтыг гүйцэтгэсэн. Уусгалтын дараах фракцуудын эрдэс бүрэлдэхүүнийг рентгендифрактометрийн багажаар Kα1 (Cu) = 1.540598 Å долгионы урттай металл (Cu) агуулсан анод рентген туяаны үүсгэврээр хэмжиж, фракц тус бүрийн рентгенграммын үр дүнг анхдагч УН-S2 дээжтэй харьцуулан *Зураг 8*-д харуулав. Рентгенграмм (*Зураг 8*)-аас харахад хүчлийн уусгалтын дараа фракцуудад мөн кварц (SiO₂), каолинит (Al₂H₄O₉Si₂)-ийн эрдэс зонхилж, альбит (AlNaO₈Si₃), микроклин (Al_{0.93}KO₈Si_{3.07}) гэсэн эрдсүүд дагалдаж байна. Анхдагч дээж (УН-S2)-тэй харьцуулахад сулруулсан давсны хүчлээр уусгасны



Зураг 8. УН-S2 дээжийн хүчлийн уусгалтын дараах харьцуулсан рентгенграмм

Хүснэгт 5. Хүчлээр уусгасны дараах дээжийн эрдсийн агуулга

Дээж	Ширхэглэлийн хэмжээ, мм	Эрдсүүд, %			
		Кварц SiO ₂	Каолинит Al ₂ H ₄ O ₉ Si ₂	Альбит AlNaO ₈ Si ₃	Микроклин Al _{0.93} KO ₈ Si _{3.07}
UH-S2	+0.105	28.6	50.9	1.8	18.6
	-0.105+0.074	37.3	50.2	2.8	9.6
	-0.074	30.1	53.2	8.6	8.1

дараа 0.105 мм-ээс доош бүх фракцуудын хувьд рентгендифрактограммын CuKα анодын цацаргалтын 2θ=12.5°, 20°-ийн өнцгүүд дээр каолинитын пикийн эрчим өндөр болсон бөгөөд кварцын эрдсийн пикийн эрчмийн бууралт 2θ= 21° ба 26.8°-ийн өнцөг дээр илүү тод ялгарч байна. Энэ нь хүчлийн уусгалтын нөлөөгөөр том ширхэглэлтэй эрдсүүдийн агуулга сайн буурч байгааг харуулж байна.

Рентгендифрактометр (XRD)-ийн дүнгээс эрдсийн фазын агуулгыг Ритвельдийн аргаар тооцоолон боловсруулж тодорхойлсон дүнг Хүснэгт 5-д үзүүлэв.

Хүснэгт 5-аас харахад хүчлийн уусгалтын боловсруулалтаар +0.105 мм-ээс -0.074 мм хүртэлх фракцуудад каолинитын агуулга 50.2-53.2% болтол нэмэгдсэн байна. Цаашлаад уусгалтын процессыг каолинитын эрдсийн талстын бүтцэд хэрхэн нөлөөлж байгааг XRD-ийн үр дүн дээр үндэслэн FullProf Suite software ашиглан талст үүрийн хэмжээс ба талстын дундаж хэмжээг тооцоолж, хүчлийн боловсруулалтын өмнөх дээжтэй харьцуулан Зураг 9-д харуулав.

Хүчлийн уусгалтын өмнөх болон дараах UH-S2 (<0.074 мм) дээжид агуулагдах каолинитын эрдсийн молекулын талст бүтцийн зураг (Зураг 9)-аас харахад каолинитын талст бүтэц хүчлийн уусгалтаар эвдрэлд ороогүй боловч оронг торын параметруудад бага зэрэг өөрчлөлт ажиглагдсан. Үүний үр дүнд каолинитын молекулын талст оронг тор триклин системийн P1 сингоноос C1 сингон руу шилжсэн байв. Тодруулбал, UH-S2 (0.105–0.074 мм) дээжийн хувьд уусгалтаас өмнө каолинитын талст оронг тор x, y, z симметртэй, триклин P1 төрлийн бүтэцтэй байсан ба талст үүрийн хэмжээсүүд нь a = 5.17 Å, b = 8.91 Å, c = 7.39 Å,

өнцгүүд нь α = 92.28°, β = 104.89°, γ = 89.68° байв. Харин хүчлээр уусгасны дараа талст оронг тор x, y, z ба x+1/2, y+1/2, z симметртэй, триклин C1 төрөлд шилжиж, үүрийн хэмжээсүүд a = 5.12 Å, b = 9.00 Å, c = 7.39 Å, α = 92.48°, β = 105.20°, γ = 89.30° болж өөрчлөгдсөн байна. Түүнчлэн талст үүр доторх SiO₄ тетраэдр болон AlO₆ октаэдр бүтцүүдийн давхарласан үе илүү тод ялгарч харагдаж байсан нь хүчлээр боловсруулсны дараа дагалдах хольц буурснаар каолинитын үндсэн молекулын бүтэц илүү тодорч илэрснийг илтгэж байна.

ДҮГНЭЛТ

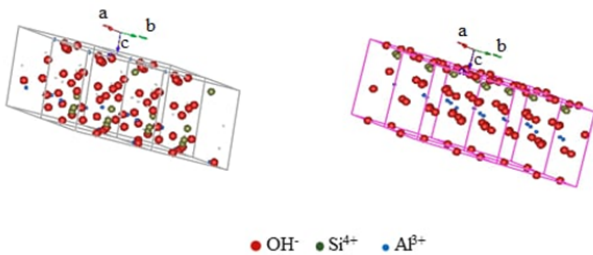
Багануур, Ухаа худаг, Адуунчулууны уурхайн шаврын дээжүүдэд хийгдсэн эрдсийн шинжилгээний дүнгээр кварц, каолинит, альбит зонхилж, анортит, микроклин зэрэг эрдсүүд дагалдаж илэрсэн нь ерөнхийдөө дээрх 3 нүүрсний ордыг дагалдах шаврын эрдэс бүрэлдэхүүн ижил төстэй болохыг харуулж байна. Каолинитын агуулга 2-26.2% байсан бөгөөд кварцын өндөр агууламж нь каолинитыг цэвэршүүлэх, цаашдын боловсруулалтад хүндрэл үүсгэж байна.

Төмрийн ислийн агууламж бүх дээжид өндөр, ялангуяа Багануурын уурхайн хаягдлын овоолгын дээжинд илүү байгаа нь каолинитыг ялган цэвэршүүлж, дүүргэгч материал зэрэг зарим төрлийн шинэ материал гарган авах хэрэглээнд нэмэлт боловсруулалтыг шаардаж байна.

Ухаа худаг уурхайн шаврын дээж (UH-S2), хаягдлын дээж (UH-N4)-үүдийн ширхэглэгийн ангиллын дүнгээр каолинитын агууламж нарийн ширхэгтэй фракцад өсч, UH-S2 дээжийн -0.074 мм фракцад 16%, UH-N4 дээжийн -0.045 мм фракцад хамгийн өндөр буюу 35.6% байв. Фракцлан ангилж, гравитацийн аргаар каолинитын агуулгыг нэмэгдүүлсэн UH-S2 (-0.074 мм) дээжийг хүчлээр уусгахад каолинитын агуулга 53% болтол нэмэгдэж, каолинитын эрдсийн талст оронг торын параметруудад бага зэрэг өөрчлөлт ажиглагдсан нь химийн боловсруулалт каолинитын бүтцэд үл ялиг нөлөө үзүүлдэг болохыг харуулав. Ийнхүү, нүүрсний ордыг дагалдах шавраас каолинитыг ялган цэвэршүүлэхэд эхлээд ширхэглэлээр ангилж, дараа нь хүндийн жингээр тунаах гравитацийн аргаар дагалдах том ширхэгтэй бүрэлдэхүүн хольцоос нь салган, бусад хольц нэгдлийг хүчлээр уусгах зэрэг аргуудыг хослуулан ашиглах нь үр дүнтэй гэж үзэж байна.

а) Уусгалтын өмнөх (UH-S2)

б) Уусгалтын дараах (UH-S2)



Зураг 9. UH-S2 (-0.074 мм) дээжийн хүчлийн уусгалтын дараах каолинитын эрдсийн молекулын талст бүтцийн өөрчлөлт. (а). хүчлийн уусгалтын өмнөх, (б). хүчлийн уусгалтын дараах

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг “Нүүрсний олборлолтыг дагалдах каолинитыг боловсруулах өндөр технологийн судалгаа ба хэрэглээ” сэдэвт Хятад-Монголын хамтарсан төсөл (CHN-2023/74)-ийн хүрээнд гүйцэтгэв. Судалгааны ажлын хүрээнд ХХТХ-ийн Эрдэс боловсруулалтын “Бүс ба зам” Хятад-Монголын хамтарсан лабораторийн XRD багажийг ашиглан эрдсийн шинжилгээг хийсэн болно.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Д. Ундармаа, Р. Уламбаяр. (2016) Өрмийн шаврын химийн найрлагын судалгаа. *J. Geol. Issues*. 446(14), х.201-205.
2. J. He, X. Zhang, Q. Bai, Sh. Huang, Ha. Chen, *et al.* (2023) Surface modification to enhance the decarbonization performance of coal-series kaolin by triboelectric separation. *Appl. Clay Sci.*, p.235. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2023.106857>
3. M. Chen, T. Yang, J. Han, Y. Zhang, *et al.* (2023) The Application of mineral kaolinite for environment decontamination: A Review. *Catalysts*, 13(1), p.123. <https://doi.org/10.3390/catal13010123>
4. K.A. Buyondo, H. Kasedde, J.B. Kirabira. (2022) A comprehensive review on kaolin as pigment for paint and coating: Recent trends of chemical-based paints, their environmental impacts and regulation. *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, 6, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100244>
5. M. Belghazdis, EI-K. Hachem. (2022) Clay and clay minerals: A detailed review. *International Journal of Recent Technology and Applied Science (IJORTAS)*. 4(2), p. 54-75. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0402.367>
6. S. Niu, X. Xie, Z. Wang, L. Zheng, *et al.* (2019) Enhanced removal performance for Congo red by coal-series kaolin with acid treatment. *Environ. Technol.*, 42(10). p.1472–1481. <https://doi.org/10.1080/09593330.2019.1670269>
7. D. Zhang, L. Zhu, T. Ma, X. Liang, *et al.* (2025) Process optimization and performance characterization of preparing 4A molecular sieves from coal Gangue. *Symmetry*. 17(4), p.603. <https://doi.org/10.3390/sym17040603>
8. J. He, Y. Yao, W. Lu, G. Long, Q. Bai, H. Wang. (2019) Cleaning and upgrading of coal-series kaolin fines via decarbonization using triboelectric separation. *J. Clean. Prod.*, 228, p.956-964. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.329>
9. T. Huang, Sh. Lei, M. Liu, M. Ji, *et al.* (2015) Dry separation of iron minerals from low-grade coal-series kaolin. *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.*, 30(5), p.935-940. <https://doi.org/10.1007/s11595-015-1253-z>
10. X. Bu, G. Evans, G. Xie, Y. Peng, Z. Zhang, *et al.* (2017) Removal of fine quartz from coal-series kaolin by flotation. *Appl. Clay Sci.*, 143, p.437-444. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.04.020>
11. J. Beata, V.K. Andriy, B. Mark, H. Patrick. (2017) The structural and surface properties of natural and modified coal gangue. *J. Environ. Manag.*, 190, p.80-90. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.055>
12. M.D Braja. Principles of Geotechnical Engineering. (2010) 7th Edition. p.42-47
13. A.A. Zaman, Sh. Mathur. (2004) Influence of dispersing agents and solution conditions on the solubility of crude kaolin. *J. Colloid Interface Sci.*, 271(1). p.124-130. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.09.015>.
14. F. Chargui, M. Hamidouche, R. Louahdi, G. Fantozzi. (2024) Rheological behavior of an Algerian natural kaolin: Effect of dispersant. *Ceramics*, 7, p.1159-1171. <https://doi.org/10.3390/ceramics7030076>
15. Hartati, D. Prasetyoko, M. Santoso, I. Qoniah, W.L. Leaw, *et al.* (2020) A review on synthesis of kaolin-based zeolite and the effect of impurities. *J. Chin. Chem. Soci.*, 67(6), p.911-936. <https://doi.org/10.1002/jccs.201900047>
16. M. Xie, F. Liu, H. Zhao, Ch. Ke, Zh. Xu. (2021) Mineral phase transformation in coal gangue by high temperature calcination and high-efficiency separation of alumina and silica minerals. *J. Mater. Res. Technol.*, 14, p.2281-2288. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.129>
17. Y. Tan, Y. Hu, R. Chen, W. Sun. (2020) Shrinkage mechanism of laterite modified by lime and metakaolin, *Adv. Civ. Eng.* p.6347597. <https://doi.org/10.1155/2020/6347597>

Chemical and mineral composition of coal-series kaolin and the possibility of kaolinite purification

Sarantsetseg Purevsuren¹, Narandalai Byamba-Ochir¹, Davaabal Batmunkh², Gendenjamts Oyun-Erdene², Nyamdelger Shirchinamjil¹, Enkhtuul Surenjav^{1*}

¹Laboratory for Chemistry and Technology of Critical Metals, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13260, Mongolia

²Laboratory of Advanced Materials Chemistry and Technology, Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13260, Mongolia

*E-mail: enkhtuul@mas.ac.mn

ORCID: [0000-0002-2357-5339](https://orcid.org/0000-0002-2357-5339)

Submitted: 10.11.2025

Reviewed: 12.11.2025

Accepted: 13.12.2025

Abstract: In Mongolia, coal has long been utilized for power and heat generation through combustion, as well as for export after beneficiation. However, studies on the comprehensive and waste-free utilization of mineral resources associated with coal deposits have been limited. For this purpose, the chemical and mineral composition of coal-series kaolin and the dumpsite samples accompanying Mongolian coal deposits were investigated. X-ray diffraction analysis revealed that quartz, kaolinite, and muscovite are the dominant minerals, accompanied by albite and microcline. The target mineral, kaolinite, was present in the range of 2–26.2%. Sieve analysis showed that the -0.074 mm and -0.045mm size fraction of the UH-S2 and UH-N4 samples contained the highest kaolinite contents, at 16% and 35.6%, respectively. Fractionation by particle size and beneficiation via sedimentation, followed by acid leaching, increased the kaolinite content up to 53%. Further examination of the crystal structure after acid treatment indicates slight variations in lattice parameters, leading to a change in the triclinic system of kaolinite from *PI* ($a=5.17\text{\AA}$; $b=8.98\text{\AA}$; $c=7.35\text{\AA}$; $\alpha=91.68^\circ$; $\beta=105.1^\circ$; $\gamma=89.75^\circ$) to *CI* ($a=5.15\text{\AA}$; $b=8.94\text{\AA}$; $c=7.40\text{\AA}$; $\alpha=91.70^\circ$; $\beta=104.8^\circ$; $\gamma=89.82^\circ$).

Keywords: coal-series kaolin, kaolinite, particle size, dispersant, acid treatment

© The Author(s). 2025 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

<https://doi.org/10.5564/bicct.v13i13.5217>