



Читосан суурьтай шинэ материалын +6 валенттай хром шингээх идэвхийн судалгаа

Мажигсүрэн Энхтуяа^{1*}, Ширэндэв Насанжаргал¹, Бямбасүрэн Өлзийдэлгэр¹,
Юндэн Ганчимэг¹

¹Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль, Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Улаанбаатар 14191, Монгол улс

*E-mail: menkhtuya@must.edu.mn

ORCID: [0000-0002-8052-4466](https://orcid.org/0000-0002-8052-4466)

Хүлээн авсан: 18.11.2022

Хяналтанд: 25.11.2022

Хэвлэлтэнд авсан: 27.12.2022

Хураангуй: Тус судалгааны ажлын хүрээнд Өмнөговь аймгийн нутагт орших “Цогт-Овоо” ордын шаврын дээжийг механик хольцоос салган, хүчлийн ба дулааны боловсруулалтад оруулж бэлтгэсэн каолиныг ашиглан шинэ төрлийн шингээгч материал гарган авав. Читосан суурьтай, үрэл хэлбэрийн шинэ төрлийн шингээгч материалыг гарган авахдаа цэвэр читосан болон тодорхой харьцаа бүхий читосан ба каолины (8:1, 8:2 ба 8:3) хольцыг химийн боловсруулалтад оруулж гарган авсан. Туршилтаар 8:2 массын харьцаа бүхий читосан ба каолины хольцыг ашиглан гарган авсан үрэл хэлбэрийн шингээгч материалын +6 валенттай хром (Cr(VI)) шингээх шингээлтийн багтаамж хамгийн өндөр болохыг тогтоов. Читосан суурьтай шинэ төрлийн шингээгч материалын усан уусмалаас Cr(VI) шингээх идэвхийг уусмалын pH, хугацаа, температур, хромын уусмалын анхны концентраци ба шингээгч материалын массаас хамааруулан судалж үзэхэд уусмалын орчин pH 3, шингээлтийн хугацаа 3 цаг, шингээлтийн температур T= 25°C, хромын уусмалын анхны концентраци 50 мг/л, шингээгч материалын масс 0.1 г байх нөхцөлд шингээлтийн зэрэг хамгийн өндөр буюу 80.25% байна. Энэхүү шинэ материалыг усан уусмалаас хромыг (Cr(VI)) ялгахад ашиглах боломжтой гэж үзэж байна.

Түлхүүр үг: адсорбент, металлын ион, усан орчин, шингээлтийн багтаамж

ОРШИЛ

Дэлхий дахинд үйлдвэржилт, хотжилт үүссэний улмаас хүнд металлууд хэт их хэмжээгээр хаягдаж, байгальд сөрөг нөлөө үзүүлж байна. Усан орчинд хүнд металл агуулагдаж байгаа нь хоруу чанар ихтэй, задрах чадваргүй зэргээс шалтгаалан эрсдэлүүдийг бий болгож байна [1]. Хүнд металлууд нь хүн, амьтан, ургамалд бага тунгаар байхдаа тодорхой үүрэг гүйцэтгэдэг боловч өндөр тунгаар хэрэглэхэд хорт хавдар, цаашлаад үхэлд хүргэж болзошгүй архаг хордлого бий болгодог. Хром (VI) нь усан орчинд тогтвортой оршдог бөгөөд хүний биед хорт хавдар үүсгэдэг ба эрүүл мэндэд ихээхэн эрсдэл учруулдаг. Ундны усанд агуулагдах хром (VI) эрүүл мэндэд учруулах эрсдэл нь олон нийтийн болон үндэсний түвшинд нэмэгдэж байгаа нь анхаарал татах асуудлуудын нэг болж байна [2]. Ундны усанд агуулагдах нийт хромын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ нь 0.05 мг/л байна. Тиймээс бохир уснаас хүнд металлыг байгальд хаяхаас өмнө арилгах нь чухал юм. Хүнд, хорт металлуудыг ялгадаг тунадасжуулах, ион солилцох, шингээлтийн гэх мэт олон аргууд байдаг бөгөөд тэдгээрээс хүнд металлын агуулга багатай дээжинд боловсруулалт хийхэд хамгийн тохиромжтой, сонгомол чанар сайтай арга нь шингээлтийн арга юм. Шингээгч материалуудыг байгалийн болон зохиомол гаралтай гэж ангилдаг.

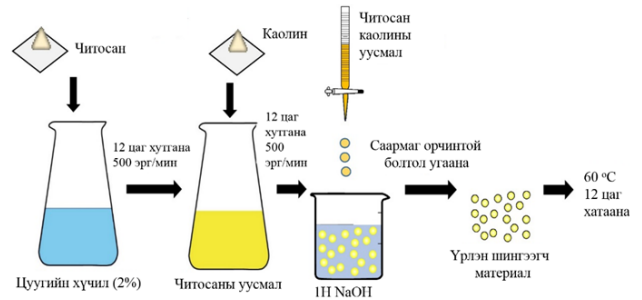
Үүнээс зохиомол аргаар гарган авсан шингээгч материал нь эдийн засгийн хувьд зардал ихтэй байдаг ч, сонгомол чанар сайтай тул бага агуулгатай металлуудыг сайн шингээдэг давуу талтай. Сүүлийн үед хавч, сам хорхой, далайн нялцгай биетийн хайрснаас гарган авсан читосаныг хүнд металлын шингээгч болгон ашиглах болсон [3,4,5]. Гэвч читосан нь химийн тэсвэр болон механик бат бөх муу тул түүний энэ шинж чанарыг сайжруулах зорилгоор холбогч агентуудыг нэмж өгч байна [6,7]. Энэхүү ажлын хүрээнд Монгол орны эрдэс баялагийн нэг болох Цогт-Овоогийн ордын каолиныг холбогч агент болгон читосантай тодорхой харьцаагаар хольж шинэ шингээгч материалыг гарган авсан. Уг материалын тусламжтайгаар усан уусмал дахь хром ионыг бууруулах арга, аргачлалыг лабораторийн нөхцөлд боловсруулсан нь энэхүү ажлын шинэлэг тал болно.

СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

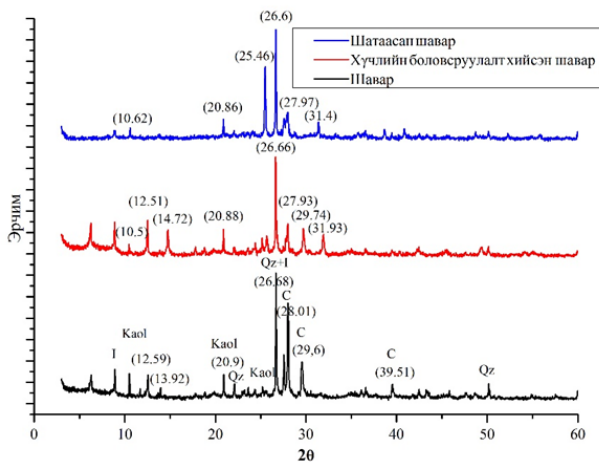
Судалгааны объект: Химийн цэвэр читосан болон Өмнөговь аймаг, Цогт-Овоо ордын шаврын дээжийг механик хольцоос салгасны дараа тодорхой концентрацитай хүхрийн хүчил нэмж хүчлийн, 800-900°C-т 1 цаг дулааны боловсруулалтад оруулж органик хольцоос нь салгана. Бэлтгэсэн каолиныг ашиглан шинэ төрлийн шингээгч гарган авав.

Читосан ба Цогт-Овоо ордын шавраас гарган авсан каолиныг ашиглан шингээгч материал бэлтгэх: 2% CH_3COOH уусмалаас 200 мл-ийг авч уг уусмал дээр 8 г читосан ($\text{C}_{56}\text{H}_{103}\text{N}_9\text{O}_{39}$) нэмж 12 цагийн турш 500 эрг/мин хурдтайгаар хутгана. Энэ уусмал дээр 1-3 г каолин нэмж 6 цагийн турш 500 эрг/мин хурдтайгаар хуган нэгэн төрлийн уусмал гарган авна. Үүний дараа 1Н-ийн натрийн гидроксидын (NaOH) 200 мл уусмал дээр гарган авсан холимгоос дусал дуслаар хийж үрэл хэлбэрийн шинэ шингээгч материалыг бэлтгэнэ. Гарган авсан шингээгч материалыг шүүж нэрмэл усаар саармаг орчинтой болтол угааж тасалгааны температурт 12 цаг хатаасны дараа шингээгч материалыг хатаах шүүгээнд 60°C -д 12 цагийн турш хатаана (Зураг 2, 3).

эрдэсийн пикүүд алга болсон нь бидний туршилтанд ашигласан ‘Цогт-Овоо’ ордын шавраас гарган авсан каолинит нь боловсруулалтанд орсныг батлаж байна [14].

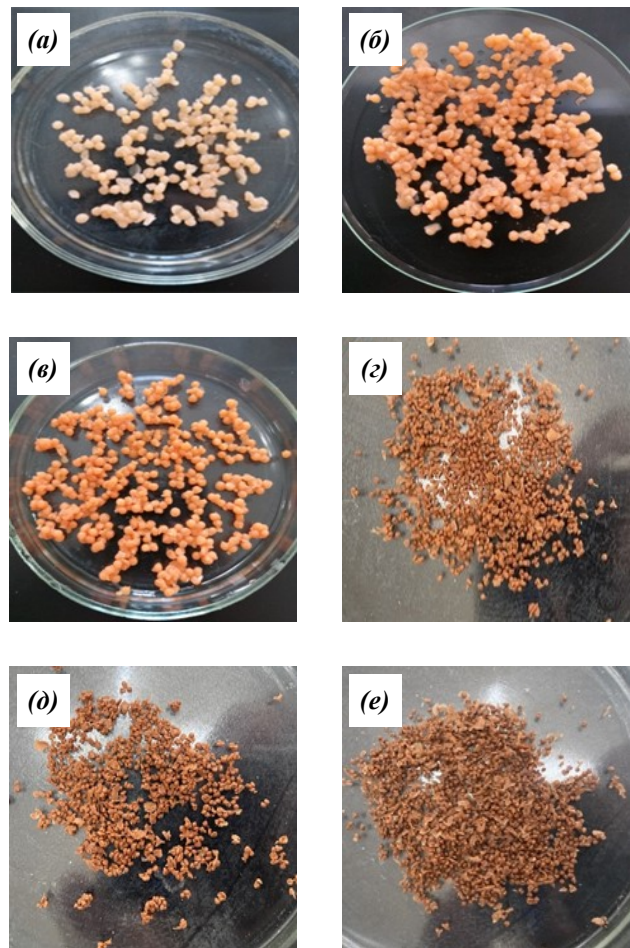


Зураг 2. Читосан суурьтай шинэ шингээгч материал гарган авах бүдүүвч



Зураг 1. XRD анализ

Зураг 1-д байгалийн шавар, хүчлийн боловсруулалтад оруулсан шавар, шатаасан шаврын XRD-ийн шинжилгээний дүнг харуулав. Боловсруулаагүй шаврын гол бүрэлдэхүүнд кварц SiO_2 , каолинит $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O})(\text{OH})_4$, кальцит CaCO_3 , болон иллит $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ зэрэг эрдсүүд зонхилж байв. Зургаас харахад байгалийн шаварт хамаарах XRD-ийн пикийн 2θ өнцгийн 26.68° (110), 50.1° гэсэн өнцгүүдэд илрэх үндсэн пик нь кварц болон иллитын эрдэс байгааг илтгэж байна. Харин 12.59° (020), 20.9° (002), 25.05° (003) гэсэн өнцгүүдэд илрэх пикүүд нь каолинитын эрдэс байгааг илтгэж байна. Мөн түүнчлэн 28.01° , 29.63° (113), 39.51° гэсэн өнцгүүдэд илрэх пикүүд нь кальцитын эрдэс, 8.7° (004), 26.6° өнцгүүдэд илрэх пикүүд нь иллитын эрдэс байгааг гэрчилж байна. Хүчлийн боловсруулалт болон дулааны боловсруулалт хийсний дараа үндсэн пикүүд бага өнцгийн талруу шилжсэн байгаа нь шаврын талст орон торын бүтцэд өөрчлөлт орж талст дахь атом хоорондын орон зай ихэссэнийг харуулж байна. Мөн хүчлийн боловсруулалт болон дулааны боловсруулалтад орсны дараа XRD-ийн график дээр шинэ пикүүд (14.72° , 31.93°) үүссэн ба зарим нэг



Зураг 3. Читосан суурьтай шингээгч материал. (a), (б), (в) 8:1, 8:2, 8:3 харьцаагаар хольж бэлтгэсэн шингээгч материал хатаахын өмнө (г), (д), (е) 8:1, 8:2, 8:3 харьцаагаар хольж бэлтгэсэн шингээгч материалын 60°C -д 12 цаг хатаасны дараах байдал

Шингээлтийн туршилт явуулсан арга зүй: Шинээр гарган авсан читосан суурьтай шинэ материалын Cr (VI) шингээх идэвхийн судалгаанд рН, шингээлтийн хугацаа, температур, шингээгч материалын масс хэрхэн нөлөөлөхийг судлав.

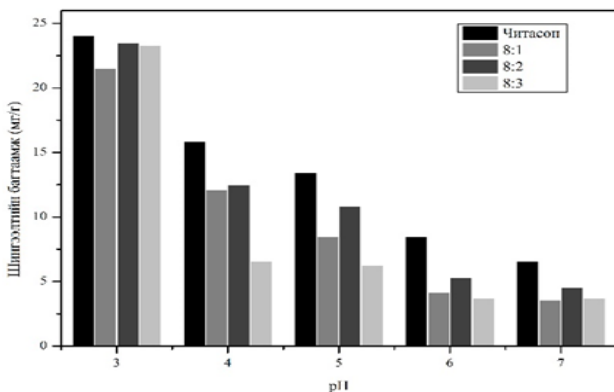
Шинээр гарган авсан читосан суурьтай шинэ материалын дээжнээс 0.1 г-ыг авч уусмалын рН-ийн утга рН=3-7 мужид тодорхой концентрацитай Cr (VI) ион агуулсан уусмалд нэмж, 25–55°C-ийн температурт 0.5-6 цагийн хугацаанд температурын тохиргоотой соронзон хуггагчаар хугтана. Уусмалыг шүүж шүүгдсэн уусмалаас аликвот авч шингээгддэггүй Cr (VI)-ын хэмжээг спектрофотометрээр (НІТАСНІ U-2910) 540 нм-ийн долгионы уртад тодорхойлсон. Шингээлтийн багтаамжийг тооцоолохдоо доорх томъёог ашиглав.

$$q = (C_0 - C) \cdot \frac{V}{m} \quad (1)$$

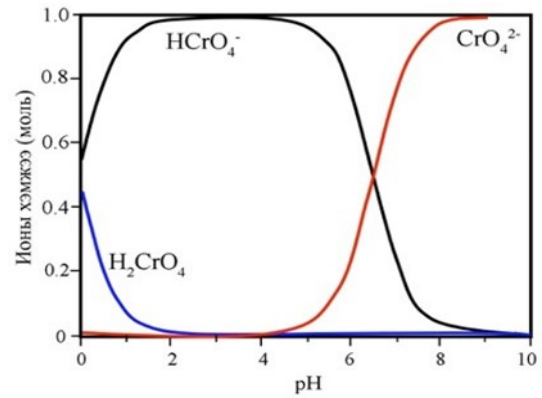
энд: q - шингээлтийн багтаамж, мг/г; C_0 ба C - Cr (VI)-ын анхны ба тэнцвэрийн үеийн концентраци, мг/л; m - шингээгч материалын масс, г.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

рН-ын нөлөө: Шинээр гарган авсан читосан суурьтай шинэ материалын Cr(VI) шингээх процесст уусмалын рН хэрхэн нөлөөлөхийг судалсан. Туршилтын дүнгээс харахад (Зураг 3) рН=3 үед цэвэр читосон ашиглан гарган авсан үрэл хэлбэртэй шингээгч материалын шингээлтийн багтаамжийн утга хамгийн өндөр буюу 24.0633 мг/г байна. Харин читосан ба каолины харьцааг 8:2 харьцаагаар хольж бэлтгэсэн шингээгч материалын шингээлтийн багтаамж 23.5 мг/г байсан бөгөөд цэвэр читосан шингээгчийн шингээлтийн багтаамжийн утгатай ойролцоо утгатай байна. Иймд дараагийн туршилтад читосан ба каолины харьцааг 8:2 харьцаагаар хольж бэлтгэсэн шингээгч материал, рН=3-ыг сонгон авч туршилтыг гүйцэтгэв. рН-ийг нэмэгдүүлэхэд шингээлтийн багтаамж буурч байгаа бөгөөд энэ нь усан уусмал дахь Cr(VI) ионы орших хэлбэртэй холбоотой юм. Иймд шингээлтийн идэвхийг судлах дараагийн туршилтыг рН=3 нөхцөлд явуулах нь зүйтэй гэж үзэв.



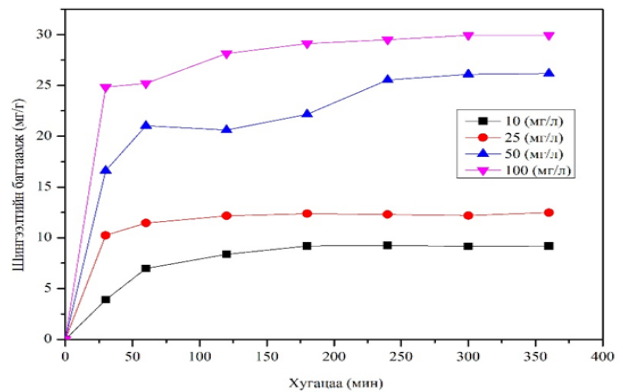
Зураг 4. Шингээлтийн багтаамж ба рН-ын хамаарал
[$C_0=50$ мг/л, $T=25^0C$, $t = 2$ цаг, $n = 100$ эрг/мин]



Зураг 5. Cr(VI) ионы усан уусмалд тархах хэлбэр

Хүнд металлуудын шингээлтийн идэвхид нөлөөлөх чухал хүчин зүйл нь рН бөгөөд металл ионуудын усан уусмалд орших хэлбэр нь уусмалын рН -аас хамаарч хувьсан өөрчлөгдөж байдаг Зураг 5-аас харахад Cr (VI)-ийн шингээлтийн багтаамж хамгийн өндөр илэрсэн орчин болох рН=3 үед $HCrO_4^-$ хэлбэрээр давамгайл оршдог байна. Иймд шингээлтийн багтаамж өндөр илэрсэн рН-ын утгыг нэмэгдүүлэхэд шингээлтийн багтаамж буурч буй зүй тогтол нь хүнд металлын усан орчинд орших хэлбэр рН-аас хамаарч буурсан гэж үзэж байна.

Шингээлтийн процессын кинетик судалгаа: Шингээлтийн процесс нь хэд хэдэн үе шатаар явагддаг бөгөөд тэдгээрийн аль нь процессын хурдыг тодорхойлох үе шат болохыг шингээлтийн процессын кинетикийн судалгаагаар тогтоох ба энэ нь процессыг загварчлах, практик хэрэглээнд нэвтрүүлэхэд чухал мэдээлэл болдог [12]. Читосан ба каолин 8:2 харьцаагаар гарган авсан шинэ материалын Cr(VI) шингээх процесст хугацаа хэрхэн нөлөөлөхийг рН=3 нөхцөлд, 10, 25, 50 ба 100 мг/л анхны концентрацитай уусмалуудыг ашиглан судалсан дүнгээс (Зураг 5) үзэхэд эхний 30 минутад шингээлт эрчимтэй явагдаж, 0.5-3 цагийн хооронд шингээлтийн эрчим аажмаар нэмэгдэж 3 цагаас хойш тэнцвэр тогтож буй нь харагдаж байна. Иймд тохиромжой хугацааг 3 цаг гэж үзэв.



Зураг 6. Шингээлтийн багтаамж ба хугацааны хамаарал
[рН=3, $T=25^0C$, $n = 100$ эрг/мин]

Хүснэгт 1. Читосан суурьтай шинэ материалын Cr(VI) шингээх кинетик загварын үзүүлэлтүүд

T(K)	C ₀ (мг/л)	q _e (exp)	1-р эрэмбэ			2-р эрэмбэ		
			K ₁ × 10 ⁻² (1/мин)	q ₀ (кал) (мг/г)	R ²	K ₂ мг/г*мин ^{0.5}	q ₀ (кал) (мг/г)	R ²
298	10	9.25	12.304	6.537	0.8937	-0.4188	11.038	0.9762
	25	12.41	10.218	2.11	0.8978	-0.1284	13.850	0.9934
	50	26.200	9.345	20.217	0.8359	-0.1017	29.240	0.9894
	100	30	8.159	8.59	0.9127	-0.058	33.440	0.9966

Шингээлтийн процессын кинетик судалгаанд ашиглагддаг математик загваруудыг диффузын ба урвалын загвар гэсэн үндсэн 2 бүлэгт хуваадаг [10]. Читосан суурьтай шинэ материалын Cr (VI) шингээх процессын кинетик судалгаанд судлаач Но [11]-ийн дахин сайжруулж боловсруулсан шингээгч материалын шингээлтийн багтаамжид тулгуурласан нэг ба хоёрдугаар эрэмбийн загварыг ашиглан тайлбарлав. Шингээлтийн багтаамж ба хугацааны хамаарлыг судалсан туршилтын үр дүнг 1 ба 2-р эрэмбийн (2 ба 3) тэгшитгэлүүдийг ашиглан боловсруулав. Нэг ба хоёрдугаар эрэмбийн хамаарал дээр тооцоолол хийж үр дүнг харьцуулан Хүснэгт 1-д нэгтгэв.

$$g(q_t - q_e) = lgq_e - \frac{K_1 t}{2.303} \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e} + \frac{1}{K_2 q_e^2} \quad (3)$$

энд: K₁ (мин⁻¹), K₂ (г/мг×мин)-нэг ба хоёрдугаар эрэмбийн урвалын хурдны тогтмолууд. q_t ба q_e-t хугацаа болон тэнцвэрийн үеийн шингээлтийн багтаамж (мг/г), t-шингээлт явуулсан хугацаа (мин)

Хүснэгт 1-ээс үзэхэд 2-р эрэмбийн загварын корреляцын коэффициентийн холбогдол 1-р эрэмбийн корреляцын коэффициентийн холбогдолоос өндөр байгаа бөгөөд 2-р эрэмбийн загвараар тооцоолж олсон шингээлтийн багтаамжийн холбогдол туршилтаар тогтоосон үр дүнтэй харьцангуй ойролцоо байна. Иймээс систем дэх шингээгч материал ба Cr (VI) ионы харилцан үйлчлэл хоёрдугаар эрэмбийн урвал гэж үзэж байна.

Шингээлтийн процессын термодинамик судалгаа: Шингээлтийн термодинамикийн судалгаанд ихэнхдээ хамгийн өндөр температурын утгыг 55-65°C байхаар сонгон авдаг. Манай тохиолдолд 25-55°C температурт шингээлтийн туршилтыг явуулж, процессын термодинамикийн үзүүлэлтүүдийг тогтоов. (Зураг 6)-аас үзэхэд температурыг нэмэгдүүлэх тутам шингээлтийн багтаамж бага зэрэг өссөн байгаа нь химийн кинетикийн онолын үүднээс температурыг нэмэгдүүлэхэд систем дэх жижиг хэсгийн хөдөлгөөн эрчимжиж улмаар химийн холбоо үүсэх ашигтай мөргөлдөлтийн тоо нэмэгдэн дулаан

шингээх процесс явагдсаныг гэрчилж байна. Гэсэн хэдий ч шингээлтийн багтаамж температур нэмэгдэхэд шингээлтийн изотермын судалгаанд нөлөөлөхүйц их хэмжээгээр нэмэгдэхгүй байгаа тул изотермыг судлах дараагийн туршилтыг 25°C-т явуулахаар тогтов. Өндөр температурт шингээлтийн процессыг судлах нь эдийн засгийн хувьд үр ашиггүй учраас тасалгааны температурт судлах нь зүйтэй гэж үзэв. Читосан суурьтай шинэ материалын Cr(VI) хром шингээх идэвхийн процессын термодинамик үзүүлэлт болох Гибссийн чөлөөт энергийн өөрчлөлт (ΔG), энтальпийн өөрчлөлт (ΔH), энтропийн өөрчлөлт (ΔS) ба процессын идэвхжилийн энергийг (E_a) тооцохдоо температурын нөлөөллийг судалсан дээрх туршилтын үр дүнг (4), (5) ба (6) тэгшитгэлүүдийг ашиглан боловсруулж, дүнг Хүснэгт 2-т нэгтгэн харуулав. Вант-Гоффын тэгшитгэл (7) дэх lnK_c ба 1/T шулуун хамаарлын налалтын өнцөг ба ординат тэнхлэгийн огтлолцол нь ΔH ба ΔS-г тооцоолоход ашиглагдсан.

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_c \quad (4)$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta H^0}{-RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (5)$$

$$\Delta H = E_a - RT \quad (6)$$

энд: R - хийн тогтмол, T - абсолют температур (K), K_c - тэнцвэрийн тогтмол $K_c = \frac{C_0}{C_e}$

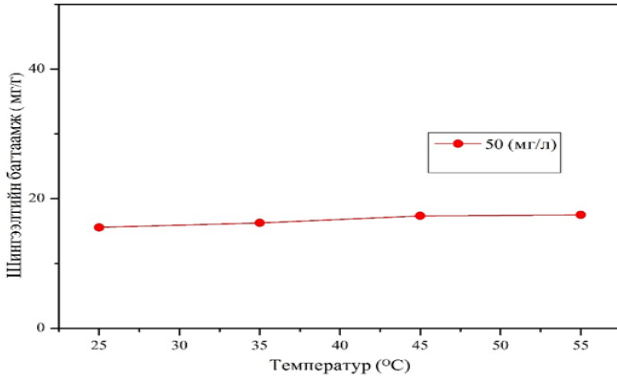
Хүснэгт 2. Читосан суурьтай шинэ материалын Cr (VI) шингээх термодинамик үзүүлэлтүүд

T(K)	C ₀	ΔG ⁰	ΔH ⁰	ΔS ⁰	E _a
298	50	-19.20898513	9.92359	31.4901	12.40116
308		-19.79053026			2.592202
318		-19.91368733			2.643852
328		-20.20484322			2.726992

C₀ (мг/л), ΔG⁰ (кЖ/моль), ΔH⁰ (кЖ/моль), ΔS⁰ (Дж/моль·K), E_a (кЖ/моль)

Хүснэгт 2-оос харвал орчны температур нэмэгдэхэд термодинамик параметр ΔG-ийн сөрөг утга өсөх хандлагатай байгаа нь процессыг нам температурт явуулбал тохиромжтой ба процесс өөрөө аяндаа явагдах шинжтэй болохыг илтгэж байна.

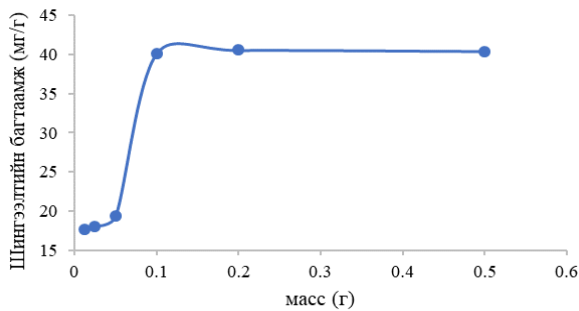
ΔH-ийн утга эерэг байгаа нь эндотерм процесс явагдсан болохыг харуулж байна. ΔS-ийн холбогдол эерэг байгаа нь хатуу ба шингэн фазуудын зааг дээрх жижиг хэсгийн хөдөлгөөн эмх замбараагүй шинжтэй болохыг нотолно. Шингээлтийн процессын идэвхжилийн энергийн (E_a) утга 2.592-12.4 кЖ/моль байна [13].



Зураг 7. Шингээлтийн багтаамж ба температурын хамаарал [pH=3, t=3 цаг, n=100 эрг/мин]

Шингээлтийн процессын изотерм судалгаа:

Шинээр гарган авсан читосан суурьтай шинэ материалын Cr(VI) шингээх процесст адсорбентын массын хэмжээ чухал нөлөө үзүүлнэ. Уг туршилтад T=25°C, pH=3, t=3 цаг, C=50 мг/л адсорбентын массын хэмжээ 0.0125-0.5 г-ийн хязгаарт авч авч туршилтыг гүйцэтгэсэн болно. Үр дүнг (Зураг 8)-д харуулав. Зураг 8-с харахад 0.0125-0.1 г-ийн хооронд шингээлтийн багтаамж огцом нэмэгдэж, 0.1 г-аас эхлэн тогтворжиж байна.



Зураг 8. Шингээлтийн багтаамж ба массын хамаарал [pH=3, t=3 цаг, n=100 эрг/мин]

Шингээлтийн процессын тэнцвэрийг тайлбарлах изотермийн загваруудаас хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг нь Лэнгмюр, Фрейндлихийн изотермийн загвар юм. Лэнгмюрийн загвар нь шингээлтийн багтаамж (q) ба тэнцвэрийн үеийн уусмал дахь металлын концентрацын (C_e) хамаарлаар металл шингээлтийн максимум багтаамж (Q) ба шингээгч материалын металл нэгдүүлэх чадварыг (b) тодорхойлдог. Энэ загвар нь нэг үет (monolayer adsorption) шингээлтийн процесст тохирох ба шингээгчийн гадаргуу гомоген,

шингээлтийн процессын энерги жигд, шингээгдсэн хэсгүүд өөр хоорондоо харилцан үйлчлэлцдэггүй гэж тооцдог. Харин Фрейндлихийн изотермийн загварын тооцоолол нь туршилтын үр дүн, тархалтын илтгэгч функц ба энергийн таамаглал дээр тулгуурлах бөгөөд шингээлтийн багтаамжид хамааралтай K_f ба шингээлтийн зэргийг илэрхийлэх n тогтмолыг тодорхойлох ба олон үет (multilayer adsorption) шингээлтийн процесст тохирно [8,9]. Лэнгмюрийн (8) ба Фрейндлихийн (9) изотерм загваруудын шулуун хамаарлын тэгшитгэлүүдийг ашиглан изотермийн туршилтын дүнг боловсруулж, изотермийн загваруудын тогтмолуудыг тооцоолон Хүснэгт 3-т нэгтгэв.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q \cdot b} + \frac{C_e}{Q} \tag{7}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_{max}} \cdot \frac{1}{C_e} \cdot \frac{1}{q_{max}} \tag{8}$$

энд: C_e -тэнцвэрийн үеийн металл ионы концентраци (мг/л); q_e -тэнцвэрийн үеийн шингээлтийн багтаамж (мг/г).

Лэнгмюрийн изотермийн ялгалтын факторыг (K_L) дараах тэгшитгэлээр тооцоолно.

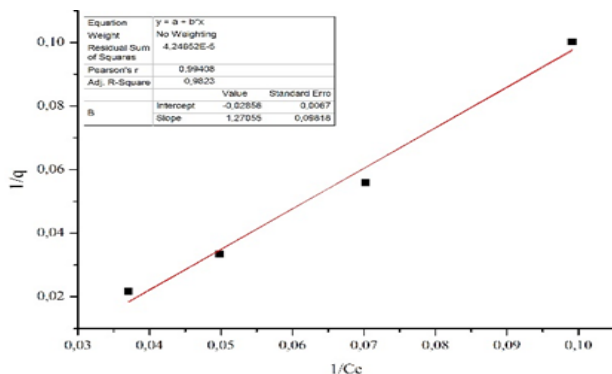
$$\lg q_e = \lg K_F + \frac{1}{n} \lg C_E \tag{9}$$

Лэнгмюрийн изотермийн ялгалтын фактор (K_L) ба Фрейндлихийн изотермийн тогтмолын (n) утгаар изотерм загваруудыг дараах байдлаар тодорхойлдог. Үүнд: $K_L = 0$ буцалтгүй, $K_L = 1$ шугаман ба $K_L < 0$ байх тохиолдолд Лэнгмюрийн изотермийн загвар тохирохгүй, $0 < K_L < 1$ тохиолдолд Лэнгмюрийн изотермийн загвар тохирно. Фрейндлихийн изотерм загвар нь олон давхаргат шингээлтийн процессыг тайлбарладаг. $1/n = 0$ буцалтгүй, ($0 < 1$ эсвэл $n < 1$) уг загвараар явагдах боломжтой ($1/n > 1$) уг загвараар явагдах боломжгүй гэж үздэг [15].

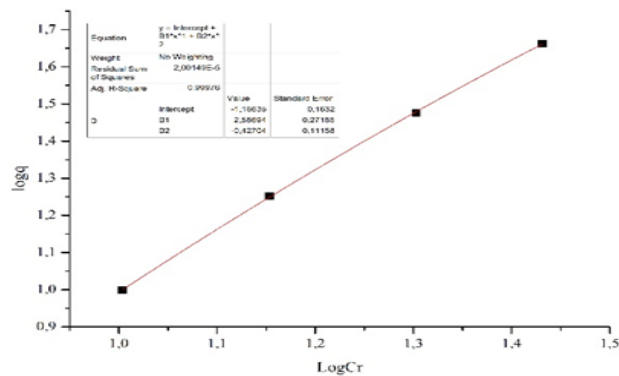
Хүснэгт 3. Изотермын үзүүлэлтүүд

Изотерм загвар	Тогтмол	C_r^{6+}
Лангмюр	q_{max} , мг/г	34.96503
	b , л/мг	0.307606643
	K_L	0.022509
	R^2	0.9882
Фрейндлих	n	0.646037
	K_f	0.284971
	R^2	0.9987

Хүснэгт 3-аас үзэхэд шингээлт Фрейндлихийн изотермийн загвараар явагдсан нь изотермийн шулуун хамаарлын корреляцын коэффициентийн харьцангуй өндөр утга ($R^2=0.9987$) ба Лэнгмюрийн изотермийн ялгалтын факторын утгаар ($K_L=0.022$) батлагдаж байна. Үүнээс үзэхэд шингээлтийн процесс аль аль загвараар нь явагдаж байгааг батлаж байна.



Зураг 9. Ленгмюрийн изотерм загвар



Зураг 10. Фрейдлихийн изотерм загвар

ДҮГНЭЛТ

Цогт-Овоо ордын шавраас гарган авсан каолинитад XRD-ийн боловсруулалт хийж байгалийн шавар, хүчлийн боловсруулалт хийсэн шавар, тодорхой температурт шатаасан шаврын пикүүдийг харьцуулахад пикүүдийн шилжилт явагдсан нь бидний туршилтад ашигласан каолинит боловсруулалтад орсон нь батлагдаж байна

Шинээр гарган авсан читосан суурьтай шинэ материалын Cr (VI) хром шингээх идэвхийн судалгаанд шингээлтийн туршилтыг pH, хромын анхны концентраци, хугацаа, температураас хамааруулан туршиж шингээлтийн процессын оновчтой нөхцөлийг тогтоов.

pH=3 нөхцөлд, 10, 25, 50 ба 100 мг/л анхны концентрацитай уусмалуудыг ашиглан шингээлт явуулахад 3 цагаас хойш тэнцвэр тогтож буй нь харагдаж байна. 25-55°C температурт шингээлтийн туршилтыг явуулахад температурын хязгаарт харгалзах шингээлтийн багтаамжийн утга ойролцоо байгаа бөгөөд температурыг нэмэгдүүлэх шаардлагагүй учир шингээлтийн изотермийг судлах дараагийн туршилтыг 25°C-т явуулахаар тогтов. Читасон ба каолины харьцааг 8:2 харьцаагаар хольж бэлтгэсэн шингээгч материалын шингээлтийн багтаамж 23.5 мг/г байсан. Шингээлтийн процессын кинетик ба термодинамикийн судалгаагаар системд нийлмэл процесс явагдаж буйг тогтоож системд хоёрдугаар эрэмбийн харилцан үйлчлэл давамгайлсан явагдсан болохыг батлав.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Ш.Насанжаргал, Ю.Ганчимэг, Г.Бурмаа, Б.Мөнхпүрэв, Б.Золзаяа, Б.Рэнцэндулам (2020). 3-аминопропилтриоксисиланаар модификацид оруулсан идэвхжүүлсэн нүүрсний хром (VI)-ыг шингээх идэвхийн судалгаа. *Эрдэм шинжилгээний бүтээл*, 8:42-49. <file:///C:/Users/ACER/Downloads/download.pdf>
2. Ш.Насанжаргал, Ю.Ганчимэг, Б.Мөнхпүрэв, Х.Уранбайгаль (2021). Усан орчноос хүнд металлыг модификацид оруулсан цеолитоор ялгах судалгааны дүнгээс. *ШУТИС-ийн профессор багш, судлаачдын "Эрдмийн чуулган-2021" хурлын эмхэтгэл*. 4:281.
3. X.Du, C.Kishima, H.Zhang, N.Miyamoto, N.Kano (2020). Japan removal of chromium (VI) by chitosan beads modified with sodium dodecyl sulfate. *Applied Sciences*. 10:4745. <file:///C:/Users/ACER/Downloads/applsci-10-04745-v2.pdf>
4. M.Nitsae, A.Madjid, L.Hakim, A.Sabarudin (2016). Preparation of chitosan beads using tripolyphosphate and ethylene glycol diglycidyl ether as crosslinker for Cr (VI) adsorption. *Chemistry and Chemical Technology*. 10(1):1-124. <https://doi.org/10.23939/chcht10.01.105>
5. G.B.Krishna, S.S.Gupta (2006). Adsorption of chromium (VI) from water by clays. *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 45(21):7232-7240. <https://doi.org/10.1021/ie060586j>
6. D.J.Castro-Castro, I.F.Macias-Quiroga, G.I.Giraldo-Gomez, N.R.Sanabria-Gonzalez (2020). Adsorption of Cr(VI) in aqueous solution using a surfactant-modified bentonite. *Scientific World Journal*. 628163:1-9. <https://doi.org/10.1155/2020/3628163>
7. D.M.Liu, C.Dong, B.Xu (2021) Preparation of magnetic kaolin embedded chitosan beads for efficient removal of hexavalent chromium from aqueous solution. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(4):105438. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105438>
8. M.Salam, Y.Munekage (2009). Removal of arsenic from aqueous solution using silica ceramic: Adsorption kinetic and equilibrium studies. *International Journal of Environmental Research*, 3 (1):13-22.
9. K.M.Khoo, Y.P.Ting (2001). Biosorption of gold by immobilized fungal biomass. *Biochemical Engineering Journal*. 8(1):51-59. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(00\)00134-0](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(00)00134-0)
10. Q.I.U.Hui, L.V.Lu, P.A.N.Bing-cai, Q.J.Zhang, W.M.Zhang, Q.X.Zhang (2009). Critical review in adsorption kinetic models. *Journal of Zhejiang University Science A*, 10(5):716-724. <https://doi.org/10.1631/jzus.A0820524>
11. Y.S.Ho, J.F.Porter, G.McKay (2002). Equilibrium isotherm studies for the sorption divalent metal ions

- onto peat: copper, nickel and lead single component systems. *Water, Air and Soil Pollution*, 141:1-33. <https://doi.org/10.1023/A:1021304828010>
12. M.A.González, I.Pavlovic, C.Barriga (2015). Cu(II), Pb(II) and Cd(II) sorption on different layered double hydroxides. A kinetic and thermodynamic study and competing factors. *Chemical Engineering Journal*, 269:221-228. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.01.094>
13. P.Saha, S.Chowdhury (2011). Insight into adsorption. *Thermodynamics*. edited by Mizutani Tadashi. ISBN:978-953-307-544-0.
14. A.Elgamouz, N.TijaniIhsan, I.Shehadi, K.Hasan, M.Al-Farooq Kawam (2019). Characterization of the firing behaviour of an illite-kaolinite clay mineral and its potential use as membrane support. *Heliyon*. 5(8):105300. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02281>
15. B.Munkhpurev, Kh.Zoltuya, D.Anak, M.Sari, N.Miyamoto, N.Kano, H.J.Kim, Yu.Ganchimeg (2021). Adsorption of Cr(III) from an aqueous solution by chitosan beads modified with sodium dodecyl sulfate (SDS). *Journal of Environmental Protetion*, 12(11):939-960. <https://doi.org/10.104236/jep.2021.1211055>

The study of adsorption activity of chromium ion (Cr(VI)) in chitosan based new materials

Majigsuren Enkhtuya^{1*}, Shirendev Nasanjargal¹, Byambasuren Ulziidelger¹, Yunden Ganchimeg¹

¹Department of Chemical Engineering, School of Applied Sciences, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar 14191, Mongolia

*E-mail: menkhtuya@must.edu.mn

ORCID: [0000-0002-8052-4466](https://orcid.org/0000-0002-8052-4466)

Submitted: 18.11.2022

Reviewed: 25.11.2022

Accepted: 27.12.2022

Abstract: In this research work, a new type of absorbent material was obtained using kaolin which is produced by clay of the "Tsogt-Ovoo" deposit in Umnogovi province. The kaolin was produced by removing its mechanical impurities from clay and treating it to acid and heat treatment. When producing a chitosan based new absorbent bead, pure chitosan and mixtures of chitosan and kaolin (8:1, 8:2 and 8:3) with certain ratios were subjected to chemical processing. It was determined that the absorption capacity of chromium ion (Cr(VI)) was the highest when chitosan and kaolin mass ratio was 8:2. The adsorption activity of Cr(VI) in chitosan-based adsorbent was studied depending on the pH of the solution, time, temperature, initial concentration of chromium ion solution and mass of adsorbent material. The degree of absorption was the highest (80.25%) when initial concentration of the chromium ion solution is 50 mg/l, temperature is 25°C, contact time is 3h and the mass of the adsorbent material is 0.1 g. It shows that this chitosan based adsorbent bead can be used for the separation of chromium (Cr(VI)) from aqueous solutions.

Keywords: *adsorbent, metal ion, aqueous medium, adsorption capacity*

© The Author(s). 2022 **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.

DOI:<https://doi.org/10.5564/bicct.v10i10.2595>