



## ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ БҮТЭЭЛ

**3-аминопропилтритоксисиланаар модификацид оруулсан идэвхжүүлсэн нүүрсний хром (VI)-ыг шингээх идэвхийн судалгаа**

 Ш. Насанжаргал<sup>1</sup>, Ю. Ганчимэг<sup>1\*</sup>, Г. Бурмаа<sup>2</sup>, Б. Мөнхпүрэв<sup>1</sup>, Б. Золзаяа<sup>1</sup>, Б. Рэнцэндулам<sup>1</sup>
<sup>1</sup>Химийн инженерчлэлийн салбар, ХШУС, ШУТИС, Улаанбаатар 14201, Монгол улс.

<sup>2</sup>Хими, химийн технологийн хүрээлэн, Шинжлэх ухааны академи, Улаанбаатар 13330, Монгол улс.

\*E-mail: yu.ganchimeg@gmail.com

Хүлээн авсан: 02.10.2020

Хянасан: 30.11.2020

Хэвлэлтэнд авсан: 02.12.2020

**Хураангуй:** Тавантолгойн чулуун нүүрсний ордын 8-р амны нүүрсийг 240 минутын турш 850°C температурт усны уураар идэвхжүүлж 3-аминопропилтритоксисилан (3-АПТС)-аар модификацид оруулан шингээгч материал гаргав. Гарган авсан шингээгч материалын усан уусмал дахь хром (VI) ионыг шингээх идэвхийг уусмалын орчин, температур, шингээлтийн хугацаа болон шингээгч материалын жингээс хамааруулан судалсан. Туршилтаар шингээгч материалын хром (VI) шингээх оновчтой орчин рН=3, шингээлтийн хугацаа 240 мин, температур 55°C ба шингээлтийн багтаамж нь 12.03 мг/г болохыг тогтоов. Шингээлтийн процесс нь Фрейндлихийн изотерм загварын дагуу явагдаж буй бөгөөд шингээгч материалын Cr(VI) ионыг шингээх процессын термодинамик үзүүлэлтүүдийг тооцоолоход Гиббсийн энерги  $\Delta G^{\circ} = -16.435$  кЖ/моль, энтальпийн өөрчлөлт  $\Delta H^{\circ} = 7.855$  кЖ/моль, энтропийн өөрчлөлт  $\Delta S^{\circ} = 78.768$  Ж/моль·К байна. Иймд 3-аминопропилтритоксисиланаар модификацид оруулсан идэвхжүүлсэн нүүрснийг усан уусмалаас Cr(VI) ялгах шингээгч материалаар ашиглах боломжтой гэж үзэж байна.

**Түлхүүр үг:** Идэвхжүүлсэн нүүрс, 3-аминопропилтритоксисиланий модификаци, шингээлт, хүнд металл, хром (VI), изотерм

**ОРШИЛ**

Өнөө үед хүрээлэн буй орчинд тархсан хорт, хүнд элементийн агуулгыг бууруулах асуудал дэлхий дахинд хурцаар тавигдаж буйг судлаачид анхааралдаа авч энэ чиглэлийн судалгааны ажлууд эрчимтэй хийгдэж байгаа билээ. Байгаль орчин, амьд организмд сөргөөр нөлөөлж буй голлох хүнд металлуудад хром, кадми, зэс, хар тугалга, цайр, манган, никель ба мөнгөн ус багтана. Эдгээр хүнд металлыг агуулсан хаягдлын байгальд нийлүүлж буй голлох салбар нь металлургийн, ноос ноолуур, арьс шир боловсруулах, будгийн үйлдвэрүүд юм [1-3]. Хүнд металлуудыг усан орчноос ялгах химийн тунадасжуулалт, ион солилцол, ангижруулах, шингээлтийн, цахилгаан химийн тунадасжуулалт, хандлалтын, мембраны, цементаци, ууршуулалт, эсрэг осмосын гэх мэт олон арга байдаг [4].

Эдгээр аргуудаас эдийн засгийн хувьд хямд, сонгомол чанар сайтай хамгийн тохиромжтой арга нь шингээлтийн арга болохыг судлаачид тогтоосон бөгөөд шингээгч материалаар идэвхжүүлсэн нүүрс [5], хөдөө аж ахуйн бүтээгдэхүүн, төрөл бүрийн хаягдал, эрдэс түүхий эдийг ашиглаж байна.

Манай орон нүүрсээр нэн баялаг бөгөөд 175.5 биллон тонн нөөцтэй. Үүнээс батлагдсан нөөцийн хэмжээ 37.4 биллон тонн юм [6]. Одоогоор нүүрсийг зөвхөн цахилгаан станцууд, байгууллага, айлуудын түлшний хэрэгцээнд шууд хэрэглэж байгаа нь утаа униар, хөө

тортогоор байгаль орчинг улам их бохирдуулах шалтгаан болж байна. Үүнээс үүдэн Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол, утааны асуудал болон Туул голын усны бохирдол гамшгийн хэмжээнд хүрээд байгаа өнөө үед Монгол орны нөөц ихтэй нүүрс, хаягдал мод зэрэг түүхий эдийг идэвхжүүлэх аргаар боловсруулан, хатуулаг ихтэй ундны ус, үйлдвэрээс ялгарах бохирдсон агаар ба хаягдал усыг цэвэршүүлэх, хүнсний бүтээгдэхүүнийг цэвэрлэх зэрэг зориулалттай амьдрал ахуйн чухал хэрэгцээт шингээгч материал гаргаж авах судалгааг гүйцэтгэх нь өнөөгийн нөхцөлд ихээхэн шаардлагатай байна [7, 8]. Иймд энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд чулуун нүүрсийг модификацид оруулж, шингээгч материал гарган авах, түүний шинж чанарыг судлах, усан уусмалаас хром (VI) ионыг шингээх процессыг термодинамикийн үүднээс батлах зорилго тавин ажиллаа [9].

**СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ**

**Судалгааны объект:** Тавантолгойн ордын чулуун нүүрсний ордын 8-р амын нүүрсийг 240 минутын турш 850°C температурт усны уураар идэвхжүүлж гарган авсан идэвхжүүлсэн нүүрсийг судалгааны суурь материал болгон авав [9].

**Тавантолгойн ордын идэвхжүүлсэн чулуун нүүрсийг 3-аминопропилтритоксисилан ашиглан модификацид оруулж шингээгч материал бэлтгэх:**

Идэвхжүүлсэн нүүрсний дээжийг халуун нэрмэл усаар 2-3 удаа угааж, 110°C -ийн тогтмол температуртай болгосон хатаах шүүгээнд 2 цаг хатааж өгнө. Хатаасан идэвхжүүлсэн нүүрс дээр толуолд уусгасан 30%-ийн 3-аминопропилтритоксисиланы уусмал хийн 50°C-ийн температурт 3 цагийн турш 500 эрг/минут хурдтайгаар температурын тохиргоотой соронзон хугтагчаар хугтан, үүссэн холимгийг шүүж, шүүгдсийн pH=7 болтол хатуу үлдэгдлийг нэрмэл усаар хэд, хэдэн удаа угааж, дараа нь 110°C-ийн температурт 6 цаг хатааж шингээгч материал гарган авав.

**Шингээлтийн туршилт явуулсан арга зүй:** 3-аминопропилтритоксисилан ашиглан модификацид оруулж гарган авсан шингээгч материалын Cr(VI) ион шингээх идэвхид pH, шингээлтийн хугацаа, температур, шингээгч материалын жин хэрхэн нөлөөлөхийг судлав. Модификацид оруулсан идэвхжүүлсэн нүүрсний дээжнээс 0.1 г-ыг жигнэн авч pH=2-7 мужид тодорхой концентрацитай Cr(VI) ион агуулсан уусмал руу нэмээд, 25 – 55°C-ийн температурт 5 - 6 цагийн хугацаанд температурын тохиргоотой соронзон хугтагчаар хугтаж, шүүгдсэн уусмалаас аликвот авч шингээгдээгүй Cr(VI)-ын хэмжээг спектрофотометрээр (НТАСНI - 2910) 540 нм-ийн долгионы уртад тодорхойлсон ба комплекс үүсгэгчээр дифенилкарбозатыг ашигласан. Шингээлтийн зэрэг ба шингээлтийн багтаамжийг тооцоолохдоо доорх томъёонуудыг ашиглав.

Шингээх чадварыг хувиар тооцоолох:

$$R = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%$$

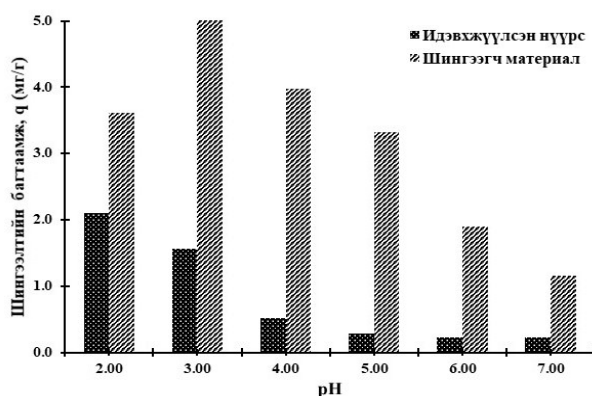
Шингээлтийн багтаамж тооцоолох:

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

Энд:  $R$  – шингээх чадвар, %;  $q$  – шингээлтийн багтаамж, мг/г;  $C$  - тэнцвэрийн үеийн хромын концентраци, мг/л;  $C_0$  хромын анхны концентраци, мг/л;  $m$  - шингээгч материалын масс, г.

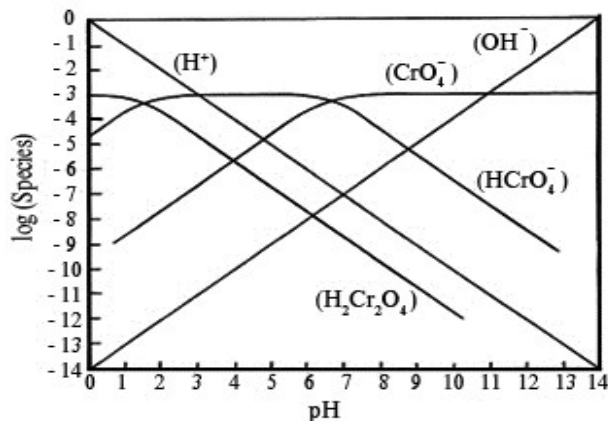
### ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

**Cr(VI) шингээх идэвх ба pH-ын хамаарлыг судалсан үр дүн:** Cr(VI) шингээх тохиромжтой pH тодорхойлох туршилтыг pH-ын 2-7 мужид гүйцэтгэн үр дүнг Зураг 1-т харуулав. Зураг 1-ээс үзэхэд анхдагч идэвхжүүлсэн нүүрсний Cr(VI) шингээх шингээлтийн багтаамжийн хамгийн өндөр утга pH=2 нөхцөлд 2.093 мг/г, модификацид оруулж гарган авсан материалын Cr(VI) шингээх шингээлтийн багтаамжийн хамгийн өндөр утга pH=3 нөхцөлд 5.014 мг/г байна. Өөрөөр хэлбэл модификацид гарган авсан материалын Cr(VI)



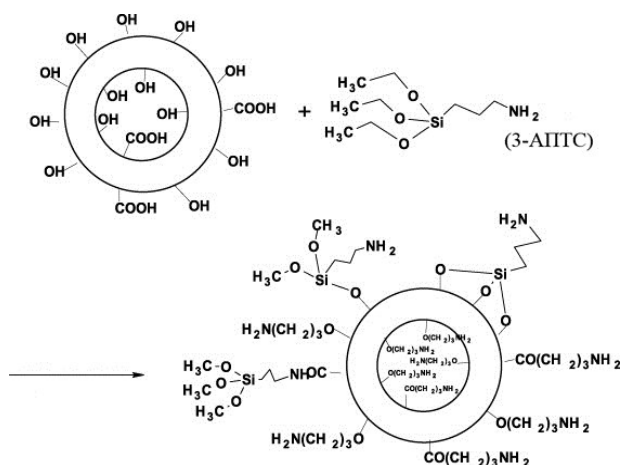
Зураг 1. Cr(VI) шингээх тохиромжтой pH тодорхойлох туршилтын дүн [m = 0.1 г, C<sub>0</sub> = 50 мг/л, T = 25°C, t = 3цаг, n = 100 эрг/мин]

шингээх шингээлтийн багтаамж анхдагч идэвхжүүлсэн нүүрснийхээс 60 орчим хувиар илүү буюу бидний явуулсан модификацийн туршилт амжилттай болсныг харуулж байна. Усан уусмалд хром ионы тархах хэлбэр уусмалын орчноос хамааран хувьсан өөрчлөгддөг (Зураг 2). Зураг 2-оос харахад усан уусмалын pH-ын утга 2-6.5 хязгаарт Cr(VI) ион HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 6.5-аас дээш угганд CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>



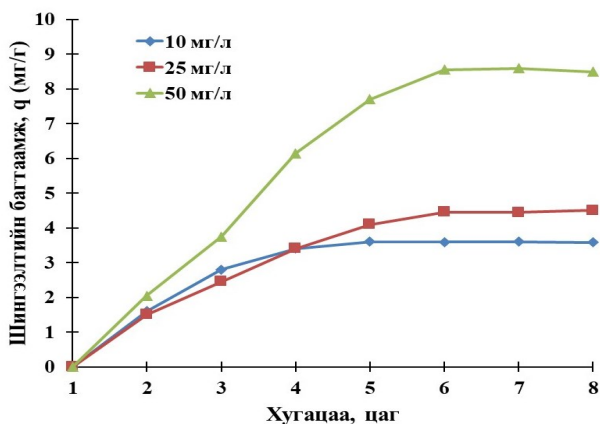
Зураг 2. H<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>4</sub>-ын 10<sup>-3</sup> M концентрацитай уусмал дахь Cr(VI) ионы тархалтын диаграмм

хэлбэртэйгээр давамгайлсан илүү тархдаг байна. Модификацид гарган авсан материалын Cr(VI) шингээх шингээлтийн багтаамж pH=3 үед хамгийн өндөр утгатай илэрсэн дүнг (Зураг 1) үндэслэн энэ үед усан уусмал дахь Cr(VI) ион HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> хэлбэртэйгээр илүү тархсан гэж үзэж байна. Идэвхжүүлсэн нүүрснийг 3-АПТС-ыг ашиглан модификацид оруулсны дүнд нүүрсний гадаргуу дахь (OH)<sup>-</sup> бүлэг харилцан үйлчлэлд давамгайлсан оролцож, амин бүлгийн тоо нэмэгдэж (Бүдүүвч 1), улмаар хүчиллэг орчинд шингээгч материалын гадаргуу протонжих бөгөөд уусмал дахь HCrO<sub>4</sub><sup>-</sup> анион нь протонжсон шингээгч материалын гадаргуутай цахилгаан статик хүчээр үйлчлэлцэх боломжтой гэж үзэж байна. Иймд Cr(VI) шингээх идэвхийн судалгааг цаашид pH=3 орчинд явуулахаар тогтов.



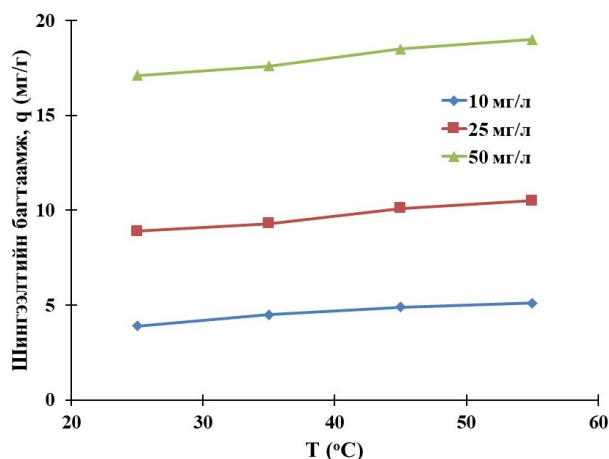
**Бүдүүвч 1.** Идэвхжүүлсэн нүүрсийг 3-АПТС ашиглан модификацид оруулахад явагдах харилцан үйлчлэл

**Cr(VI) шингээх идэвхийг хугацаанаас хамааруулан судалсан туршилтын дүн:** Шингээгч материал Cr(VI) шингээх процессын тохиромжтой хугацааг тодорхойлох туршилтыг гүйцэтгэхдээ 10 мг/л, 25 мг/л, 50 мг/л анхны концентрацитай хром агуулсан уусмалуудыг ашиглав. Шингээлтийн багтаамж хугацаанаас хамаарсан хамаарлын үр дүнг *Зураг 3*-т үзүүлэв. *Зураг 3*-аас үзэхэд шингээлтийн процесс эхний 1-2 цагийн үед эрчимтэй явагдсан бөгөөд энэ үед диффузийн процесс явагдсан гэж үзэж байна.



**Зураг 3.** Шингээлтийн багтаамж ба хугацааны хамаарал  
[pH=3, m = 0.1 г, T = 25°C, n=100 эрг/мин]

Харин 2-4 цагийн үед шингээлтийн процесс харьцангуй удаан явагдаж байгаа бөгөөд энэ үед азот агуулсан функциональ бүлэг ба Cr(VI) ион хоорондын харилцан үйлчлэл явагдаж улмаар 4 цагаас эхлэн системд химийн тэнцвэр тогтсон байна. Системд тэнцвэр тогтож эхлэх үеийн үр дүнг харьцуулан үзвэл Cr(VI)-ийн анхны концентрац 50мг/л байхад шингээгч материалын Cr(VI) шингээх шингээлтийн багтаамж хамгийн өндөр (q = 8.550 мг/г) утгандаа хүрсэн бол анхны концентрац 25 мг/л ба 10 мг/л байхад харьцангуй бага (q = 4.450 мг/г ба q = 3.90 мг/г) байгаа нь харагдаж байна. Иймд Cr

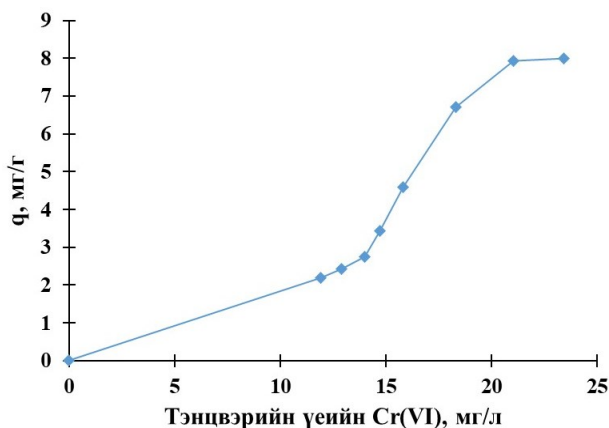


**Зураг 4.** Шингээлтийн багтаамж ба температурын хамаарал  
[pH=3, m = 0.1 г, t = 4 цаг, n=100 эрг/мин]

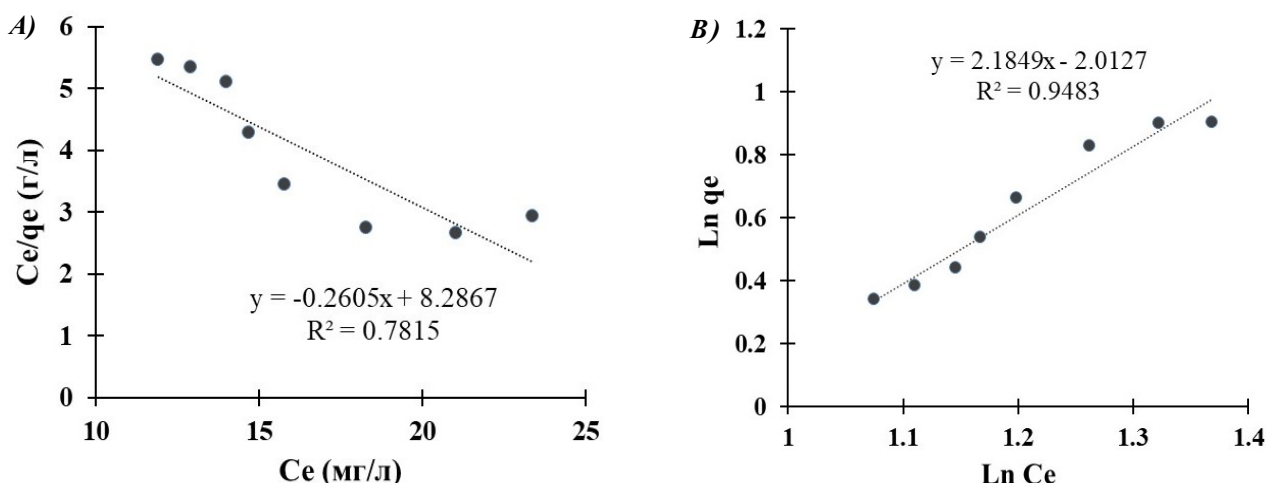
(VI) шингээх идэвхийг судлах дараагийн туршилтыг pH=3 нөхцөлд 4 цагийн турш явуулах нь тохиромжтой гэж үзэж байна.

**Cr(VI)-ийн шингээх идэвхийг температураас хамааруулан судалсан туршилтын үр дүн:** Шингээгч материал Cr(VI) шингээх идэвх температураас хэрхэн хамаарахыг тодорхойлох туршилтанд 10 мг/л, 25 мг/л, 50 мг/л бүхий анхны концентрацитай хром агуулсан уусмалуудыг ашиглан 25°C, 35°C, 45°C ба 55°C -н температурт туршилтыг гүйцэтгэн үр дүнг *Зураг 4*-т үзүүлэв. *Зураг 4*-өөс харахад температурыг нэмэгдүүлэх тутам шингээлтийн багтаамжийн утга нэмэгдэж байна. Тухайлбал, температурыг 25°C-ээс 55°C температур хүртэл нэмэгдүүлэхэд анхны концентраци 10, 25 ба 50 мг/л үед Cr(VI) шингээх шингээлтийн багтаамж харгалзан 3.9-5.1 мг/г, 8.9-10.1 ба 17.1-19.0 мг/г хүрч нэмэгдсэн бөгөөд энэ нь системд эндотерм процесс явагдсан болохыг батлаж буй үзүүлэлт юм.

**Cr(VI) шингээх процессын изотермийн судалгааны дүн:** Cr(VI) шингээх процессын изотерм муруйг байгуулах туршилтыг гүйцэтгэхдээ 0, 5, 10,



**Зураг 5.** Cr(VI) шингээх процессын изотерм муруй  
[pH=3.0, τ=4цаг, t°=25°C]



**Зураг 6.** Шингээгч материалын хром шингээх процессын изотермийн шулуун хамаарал.  
 А) Лэнгмюрийн изотермийн шулуун хамаарал, В) Фрейндлихийн изотермийн шулуун хамаарал

15, 20 ба 25 мг/л концентрацитай Cr(VI)-ын уусмалыг авч pH=3, t°=25°C нөхцөлд 4 цагийн хугацаанд шингээлтийн туршилтыг гүйцэтгэв. Туршилтаар тогтоогдсон тэнцвэрийн үеийн шингээлтийн багтаамж ба уусмал дахь Cr(VI)-ын концентрацийн хамаарлаар изотерм муруйг байгуулав (Зураг 5). Шингээлтийн процессын тэнцвэрийг тайлбарлах зорилгоор хамгийн түгээмэл хэрэглэгддэг Лэнгмюр, Фрейндлихийн изотермийн загваруудыг ашиглан үр дүнг боловсруулав.

**Хүснэгт 1.** Изотермийн параметрууд

Изотерм загвар	Изотермийн тогтмол	Шингээгч материал
Лэнгмюр	q <sup>0</sup> , мг/г	0.12
	b, л/мг	-31.82
	K <sub>L</sub>	-0.164*10 <sup>-2</sup>
	R <sup>2</sup>	0.782
Фрейндлих	K <sub>F</sub> , л/г	2.013
	n	2.19
	R <sup>2</sup>	0.948

**Лэнгмюрийн изотермийн загвар [12].** Тэнцвэрийн үеийн шингээлтийн багтаамж (q) ба уусмал дахь металлын концентрацын (C<sub>e</sub>) хамаарлаар шингээлтийн системийн чухал параметрууд болох металл шингээлтийн максимум багтаамж (Q<sub>max</sub>) ба металл нэгдүүлэх чадварыг (b) тодорхойлдог. Энэ загвар нь мономолекулан үет (monolayer adsorption) шингээлтийн процесст тохирох ба шингээгч материалын гадаргуу гомоген, шингээлтийн процессын энерги жигд, шингээгдсэн хэсгүүд өөр хоорондоо харилцан үйлчлэлцдэггүй гэж тооцдог.

**Фрейндлихийн изотермийн загвар [13].** Туршилтын үр дүн, тархалтын илтгэгч функц ба энергийн таамаглал дээр тулгуурлана. Фрейндлихийн изотермийн загвараар шингээлтийн багтаамжинд хамааралтай K<sub>f</sub> ба шингээлтийн

зэргийг илэрхийлэх n параметруудыг тодорхойлно. Энэ загвар нь олон үет (multilayer adsorption) шингээлтийн процесст тохирдог байна. Лэнгмюрийн ба Фрейндлихийн изотермүүдийн шулуун хамаарлын тэгшитгэлийг доор үзүүлэв.

$$\text{(Лэнгмюр)} \quad C_e/q_e = 1/Q^0b + C_e/Q^0 \quad (1)$$

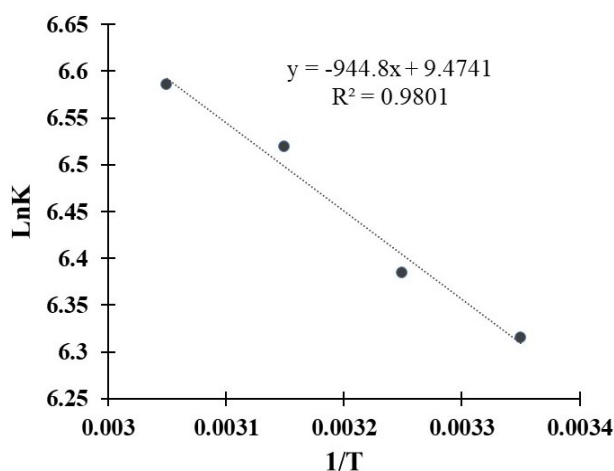
$$\text{(Фрейндлих)} \quad \ln q_e = \ln K_f + n \ln C_e \quad (2)$$

Энд: C<sub>e</sub>-тэнцвэрийн үеийн металл ионы концентраци, мг/л; q<sub>e</sub>-тэнцвэрийн үеийн шингээлтийн багтаамж мг/г; n-Фрейндлихийн изотермийн тогтмол (n)-ын утга 1 < n < 10 хязгаарт байвал шингээлт Фрейндлихийн изотермийн зарчмаар явагддаг гэж үздэг [12], b-Лэнгмюрийн тогтмол (л/мг), Q<sup>0</sup>-шингээлтийн багтаамжийн хамгийн их утга, мг/г.

$$K_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (3)$$

Лэнгмюрийн изотермийн онцлог шинж нь ялгалтын факторын (K<sub>L</sub>) утгаар илэрхийлэгддэг.

Энд: K<sub>L</sub> - ялгалтын фактор, C<sub>0</sub> - металл ионы анхны концентрац (мг/л).

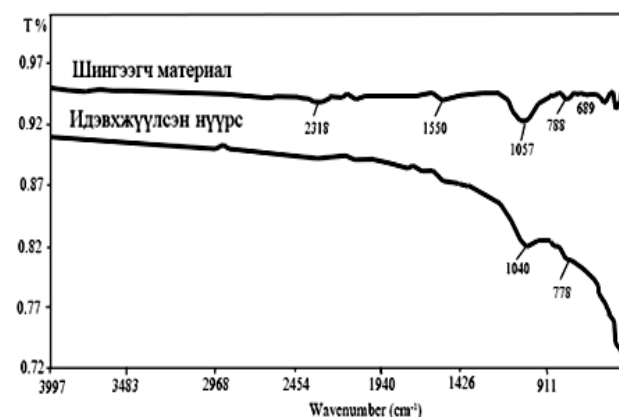
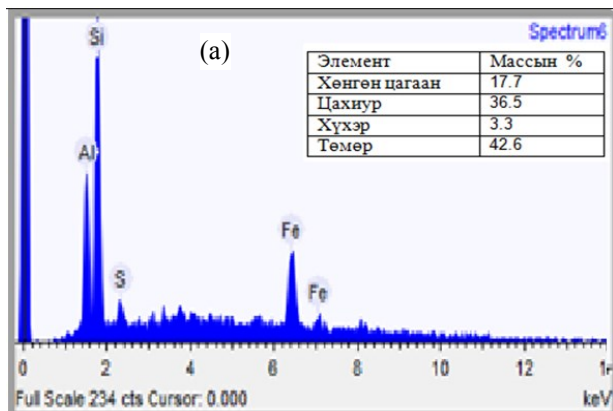


**Зураг 7.** Шингээгч материалын Cr(VI) шингээх процессын Вант-Гоффын шулуун хамаарал

**Хүснэгт 2.** Cr(VI) шингээх процессын термодинамик үзүүлэлт

T (K)	C <sub>0</sub> , мг/л	ΔG <sup>0</sup> , кЖ/моль	ΔH <sup>0</sup> , кЖ/моль	ΔS <sup>0</sup> , Ж/моль·К	E <sub>a</sub> , кЖ/моль
298		-15.646			15.966
308	10	-16.348	13.489	99.344	16.049
318		-17.235			16.132
328		-17.957			16.215
298		-15.646			10.331
308	25	-16.435	7.855	78.768	10.415
318		-17.103			10.498
328		-17.777			10.581
298		-15.493			7.237
308	50	-16.036	4.76	67.912	7.320
318		-16.856			7.403
328		-17.663			7.486

K<sub>L</sub>-ын утгаар Лэнгмюрийн изотермийн загварыг дараах байдлаар тодорхойлдог. Үүнд: K<sub>L</sub> > 1, K<sub>L</sub> = 1 ба K<sub>L</sub> = 0 байх тохиолдолд Лэнгмюрийн изотермийн загвар тохирохгүй, 0 < K<sub>L</sub> < 1 тохиолдолд Лэнгмюрийн изотермийн загвар тохирно [13] гэж үздэг байна. Изотерм муруй байгуулах туршилтын дүнг ашиглан Лэнгмюр ба Фрейндлихийн изотермийн шулуун хамаарлыг байгуулав (Зураг 6). Зураг 6-д үзүүлсэн Лэнгмюр ба Фрейндлихийн изотермийн шулуун хамаарлын налалтын өнцөг (slope) ба ординат тэнхлэгийн огтолцлын (intercept) утгуудыг ашиглан изотерм загваруудын тогтмол утгуудыг олж Хүснэгт 1-т тусгав. Дээрх үр дүнгээс үзэхэд Фрейндлихийн изотермийн шулууны корреляцийн холбогдол (R<sup>2</sup>=0.948) Лэнгмюрийн изотермийн шулууныхаас (R<sup>2</sup>=0.782) өндөр утгатай байна, Лэнгмюрийн изотермийн ялгалтын факторын утга K<sub>L</sub>=-0.164\*10<sup>-2</sup>, Фрейндлихийн изотермийн тогтмолын утга n = 2.013 байна. Иймд шингээгч материалын хром шингээх процесс нь Фрейндлихийн изотермийн загвараар явагдсан буюу олон үет адсорбцийн процесс болохыг батлаж байна.



**Зураг 8.** Идэвхжүүлсэн нүүрс, модификациар гарган авсан шингээгч материалын НУТ-ны спектр

**Шингээлтийн процессын термодинамик үзүүлэлтүүд:**

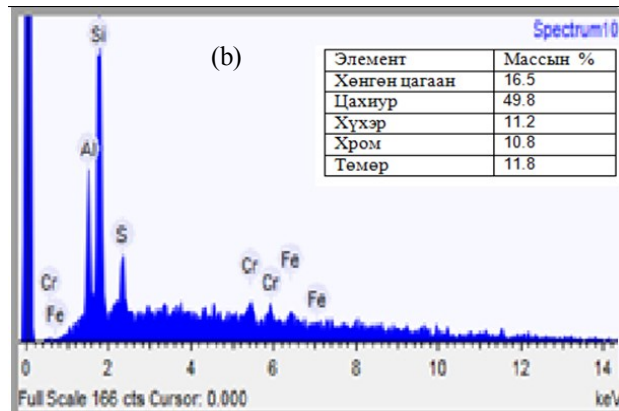
Cr(VI) шингээх процессын термодинамик үзүүлэлт болох Гибсийн чөлөөт энергийн өөрчлөлт (ΔG<sup>0</sup>), энтальпийн өөрчлөлт (ΔH<sup>0</sup>), энтропийн өөрчлөлт (ΔS<sup>0</sup>) ба процессын идэвхижлийн энерги (E<sub>a</sub>)-ийг шингээлтийн идэвхид температур хэрхэн нөлөөлөхийг судалсан туршилтын үр дүнг ашиглан дараах тэгшитгэлүүдийг үндэслэн тооцоолж гаргав

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

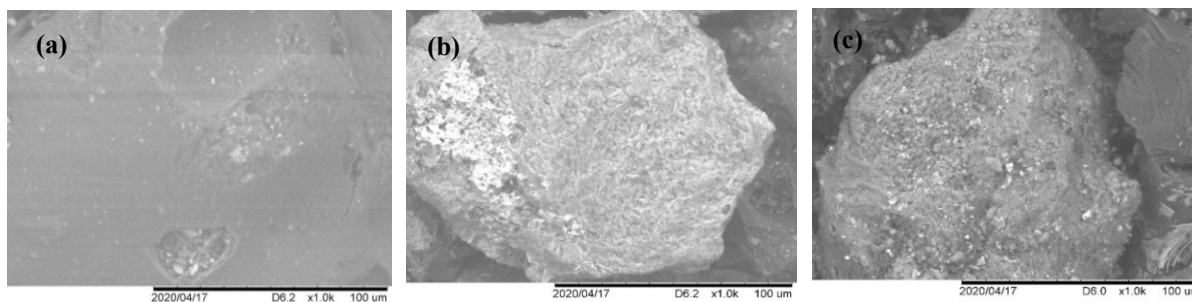
$$\ln K_c = \frac{\Delta H^0}{-RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (5)$$

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

(Хүснэгт 3). Тооцоонд дараах тэгшитгэлүүдийг ашигласан болно (Тэгшитгэл 4-6). Вант-Гоффын тэгшитгэл (5) дэх lnK<sub>c</sub> ба 1/T шулуун хамаарлын налалтын өнцөг ба ординат тэнхлэгийн огтлолцол нь ΔH<sup>0</sup> ба ΔS<sup>0</sup>-г тооцоолоход ашиглагдсан (Зураг 7). Хүснэгт 2-оос харахад янз бүрийн температурт ΔG<sup>0</sup> сөрөг утгатай байгаа нь процесс өөрөө аяндаа явагдах шинжтэй, ΔH<sup>0</sup>-ийн утга эерэг байгаа нь шингээлтийн процесс эндотерм процесс болохыг, ΔS<sup>0</sup>-ийн утга эерэг байгаа нь шингэн ба хатуу фазуудын зааг дээрх жижиг хэсгийн хөдөлгөөн эмх замбараагүй шинжтэйг нотлож байна.



**Зураг 9.** Элементийн шинжилгээний дүн. a) шингээлтийн өмнө, b) шингээлтийн дараа



Зураг 10. Идэвхжүүлсэн нүүрс (а), шингээгч материалын хром (III) шингээхээс өмнөх (b) ба дараах (c) үеийн SEM-ын үр дүн (1000 дахин өсгөсөн байдал)

**Багажит анализын үр дүн**

**НУТ-ны спектроскопийн шинжилгээний үр дүн:**

Идэвхжүүлсэн нүүрс, модификациар гарган авсан шингээгч материалын НУТ-ны спектрийн 400-4000 $\text{см}^{-1}$ -ийн мужид судалж, Зураг 8-д үзүүлэв. Шинжилгээний дүнгээс үзэхэд (Зураг 8) идэвхжүүлсэн нүүрсний спектрограмм дээр C-O-C (1040  $\text{см}^{-1}$ ) ба C=C (778  $\text{см}^{-1}$ ) бүлэгт хамаарах сул шингээлтүүд илэрсэн байна. Амин бүлэг бүхий цахиур органик мономер ашиглан модификацид оруулан гарган авсан шингээгч материалын спектрограмм дээр шинээр C=C (2318  $\text{см}^{-1}$ ) [13] бүлэгт хамаарах эрчим багатай пикүүд, C-O-C ба C-N (1057  $\text{см}^{-1}$ ), C=C (788  $\text{см}^{-1}$ ) бүлэгт хамаарах сул шингээлтүүд бүртгэгдэж, шинээр NH ба NH<sub>2</sub> (689  $\text{см}^{-1}$ ) [12,13] бүлэгт хамаарах эрчим багатай пик илэрсэн байна.

**SEM-EDX судалгааны дүн:** Судалгаанд ашигласан шингээгч материалын шингээлтийн өмнөх ба дараах микро элементийн агуулга ба гадаргуугын өөрчлөлтийг судалсан SEM/EDX шинжилгээний дүнг Зураг 9 ба Зураг 10-д тусгав. Микро элементийн EDX шинжилгээний дүнгээс үзэхэд химийн найрлагад өөрчлөлт гарсан төдийгүй

**Хүснэгт 3. Cr (VI) шингээх шингээлтийн багтаамжийг харьцуулсан судалгаа**

№	Адсорбентын нэр	q, (мг/г)	Ишлэл
1	Activated Carbon from Cas-sava Sludge	5.20	[14]
2	Activated Carbon Modified with KMnO <sub>4</sub>	4.5	[15]
3	Removal Using Activated Carbon	5.8	[16]
4	Activated carbon derived from olive bagasse	6.7	[17]
5	Iron (III)-impregnated sorbent prepared from sugarcane bagasse	4.16 - 12.50	[18]
6	Natural Clinoptilolite Zeolite	10.42	[19]
7	Acid-treated commercial activated carbon	15.8	[20]
8	3-АПТС –аар ашиглан модификацид оруулсан идэвхжүүлсэн нүүрс	12.03	Бидний судалгаа

шингээлтийн дараа 10.8% Cr илэрсэн байна. SEM/EDX шинжилгээний дүн нь идэвхжүүлсэн нүүрсийг химийн аргаар боловсруулж модификацид оруулснаар түүний бүтэцэд өөрчлөлт бий болсныг баталж байна. Идэвхжүүлсэн нүүрсийг суурь материал болгон ашиглаж Cr (VI) шингээх идэвхийг судалсан бусад судлаачдын судалгааны үр дүнг харьцуулан Хүснэгт 3-т үзүүлэв.

**ДҮГНЭЛТ**

Модификацид оруулсан шингээгч материалын Cr(VI) ионыг шингээх шингээлтийн идэвхийг хромын уусмалын анхны концентраци, хугацаанаас, температур, шингээгч материалын жингээс хамааруулан туршиж шингээлтийн процессын оновчтой нөхцлийг тогтоов. Үүнд: шингээлтийн процессын орчин pH = 3, шингээлт явуулах хугацаа 240 мин, температур 55°C.

3-АПТС-аар модификацид оруулж гарган авсан адсорбентын Cr(VI) шингээх процессын изотерм муруйг байгуулж, процесс Фрейндлихийн изотермийн дагуу буюу олон үет (multilayer adsorption) шингээлтийн процесс явагдсан болохыг тогтоов.

Шингээлтийн идэвх ба температурын хамаарлыг судлахад температурыг нэмэгдүүлэхэд шингээлтийн багтаамж нэмэгдсэн зүй тогтол илэрсэн ба энэ нь системд эндотерм процесс явагдсныг баталж байна. Хром шингээх процессын термодинамкийн параметрууд болох  $\Delta G^\circ$  сөрөг утгатай байгаа нь процесс өөрөө аяндаа явагдах шинжтэй,  $\Delta H^\circ$ -ийн утга эерэг байгаа нь шингээлтийн процесс эндотерм процесс болохыг,  $\Delta S^\circ$ -ийн утга эерэг байгаа нь шингэн ба хатуу фазуудын зааг дээрх жижиг хэсгийн хөдөлгөөн эмх замбараагүй шинжтэйг нотолно. Иймд системд химийн шингээлт давамгайлан явагдсан гэж үзэж байна.

**АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ**

1. S. Kocaoba and T. Akyuz. (2005) Effects of conditioning of sepiolite prior to cobalt and nickel removal. *Desalination*. 181. х.313-318.
2. F.C. Wu, R.L. Teseng and R.S. Juang. (2001) Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes

- and metal ions on chitosan. *Water Research*. 35. x.613-618.
3. L. Zhoua, Y. Wang, Z. Liu, Q. Huang. (2009) Characteristics of equilibrium, kinetics studies for adsorption of Hg (II), Cu (II) and Ni (II) ions by thiourea-modified magnetic chitosan microspheres. *Journal of Hazardous Materials*. 161. x.995-1002.
  4. Z. Aksu, T. Kutsal. (1991) A comparative study for biosorption characteristics of heavy metal ions with c. *Environmental Technology*. 11. x.979-987.
  5. R. Leyva-Ramos, L. Fuentes-Rubio, R. Guerrero-Coronado, J. Mendoza-Barron. (2005) Adsorption of trivalent chromium from aqueous solutions onto activated carbon. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 62. x.64-67.
  6. B. Avid, B. Purevsuren, J. Temuujin. (2016) Bituminous coals of Mongolia: Occurrence and Characteristics. *Advances in Energy Research*. 22. x.159-178.
  7. Б. Пүрэвсүрэн, Я. Даваажав, Р. Эрдэнэчимэг. (2010) монографи -Монгол орны зарим томоохон ордуудын нүүрсний судалгаа. Улаанбаатар.
  8. П. Очирбат. (2002) Нүүрсний аж үйлдвэрийн хөгжлийн стратеги ба экологи. Улаанбаатар. x.202-204.
  9. Н. Энхтуул, А. Ариунаа, Ю. Ганчимэг, Ш. Насанжаргал. (2019) Тавантолгойн ордын нүүрсний идэвхжүүлэлтийг судалгаа. *Journal of Natural Science*. 15 (14). x.164-173.
  10. T. Roland. (2017) Corrosion inhibition studies of the combined admixture of 1, 3-diphenyl-2-thiourea and 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde on mild steel in dilute acid media. *Colombian Journal of Chemistry*. 46 (1). x.20-32.
  11. T. Muhammad Bilal, A. Maria, R. Muhammad. (2013) Activated carbon doped WO<sub>3</sub> for photocatalytic degradation of rhodamine B. *Materials Sciences and Applications*. 4. x.667-678.
  12. M. Salam, Y. Munekage. (2009) Removal of arsenic from aqueous solution using silica ceramic: Adsorption kinetic and equilibrium studies. *International Journal of Environmental Science*. 3 (1). x.13-22.
  13. Y. Sag, T. Kutsal. (2000) Detemination of the biosorption heats of heavy metal ions on Zoogloea ramigera and Rhizopus arrhizus. *Biochemical Engineering Journal*. 6. x.145-151.
  14. Y. Jinhui, L. Chuanshu, Y. Bin, K. Sijun and Z. Zhen. (2015) Study on Adsorption of Chromium (VI) by Activated Carbon from Cassava Sludge. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 128. x.268-276.
  15. P. Meiling, X. Liang, N. Kano and H. Imaizumi. (2014) Adsorption of heavy metal onto activated carbon modified with potassium permanganate. *Journal of chemical engineering of Japan*. 47 (5). x.386-391.
  16. P. Meiling, L. Bing, N. Kano and H. Imaizumi. (2015) Adsorption of chromium (VI) onto activated carbon modified with kmno<sub>4</sub>. *Journal of chemical and chemical engineering*. 9. x.280-287.
  17. K. Mona, K. Ahmad, H. Hanafy, O. Zakia. (2014) Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite. *Energy Procedia*. 50. x.113-120.
  18. Y. Zhu, H. Zhang, H. Zeng, M. Liang, R. Lu. (2012) Adsorption of chromium (VI) from aqueous solution by the iron (III) - impregnated sorbent prepared from sugarcane bagasse. *International journal of environmental science and technology* . 9. x.463-472.
  19. J. Sahand, J.A. Mohammad, P.S. Sudabeh. (2017) Adsorption of Cr (VI) by Natural Clinoptilolite Zeolite from Aqueous Solutions: Isotherms and Kinetics. *Polish of chemical technology*. 19 (3). x.106-117.
  20. A.A. Attia, S.A. Khedr, S.A. Elkholy. (2010) Adsorption of chromium ion (VI) by acid activated carbon. *Brazilian journal of chemical engineering*. 27 (1). x.325-345.

## Adsorption of chromium ion (VI) by activated coal modified with aminopropyltriethoxysilane – 3

Sh. Nasanjargal<sup>1</sup>, Yu. Ganchimeg<sup>1\*</sup>, G. Burmaa<sup>2</sup>, B. Munkhpurev<sup>1</sup>, Z. Zolzaya<sup>1</sup>, B. Renchindulam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*School of Applied Sciences, Mongolian University of Sciences and Technology, Ulaanbaatar 14201, Mongolia.*

<sup>2</sup>*Institute of Chemistry and Chemical Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia.*

\*E-mail: yu.ganchimeg@gmail.com

---

Received: 02.10.2020

Revised: 30.11.2020

Accepted: 02.12.2020

---

**Abstract:** “Tavantolgoi” deposit coal was activated with heated steam at temperature of 850°C for 180 minutes. Activated coal modified with aminopropyltriethoxysilane-3 (APTES) to produce an adsorbent material for removal of Cr (VI) from aqueous solution. The adsorption properties of chemically modified coal have been investigated under various adsorption parameters such solution pH, contact time, temperature and mass of adsorbent in order to maximize metal recovery. And thermodynamic and isotherm model parameters of the process were estimated. Optimal adsorption parameters were determined as pH=3, temperature 55°C, contact time 240 minutes and maximum adsorption capacity 12.03 mg/g. Adsorption isotherm followed Freundlich isotherm model and thermodynamic parameters calculated as  $\Delta G^{\circ} = -16.435$  kJ/mol,  $\Delta H^{\circ} = 7.855$  kJ/mol, and  $\Delta S^{\circ} = 78.768$  J/mol·K. Therefore, activated coal modified with aminopropyltriethoxysilane – 3 can be used as adsorbent for removal of Cr (VI) from aqueous solution.

**Keywords:** *activated carbon, adsorption, chromium, isotherm and modification by aminopropyltriethoxysilane-3*

---

© The Author(s). 2020 **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.v0i8.1477>