

# Хөрсөн дэх зэсийн бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах судалгаа

Ё.Жажинжав<sup>1</sup>, Б.Очирхуяг<sup>1</sup>, О.Болормаа<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> МУИС, ХШУИС, Хими, биологийн инженерчлэлийн тэнхим

<sup>2</sup> МУИС, ШУС, Байгалийн ухааны салбар, Химийн тэнхим

Сүүлийн жилүүдэд хүний үйл ажиллагаанаас үүдэлтэйгээр хөрсний бохирдол ихээр үүсч байна. Иймд хөрсний бохирдлыг бууруулах судалгааг зайлшгүй хийх шаардлагатай бөгөөд энэ нь экологийн тэнцвэрт байдалд чухал ач холбогдолтой. Хөрсний бохирдлыг физик, хими, биологийн хэд хэдэн аргуудаар бууруулах ба эдгээрээс электрокинетик (ЕК)-ийн нөхөн сэргээлтийн арга нь хөрсөн дэх органик, органик биш бохирдлыг бууруулах боломжтой, технологийн хувьд хялбар, өртөг багатай, цаг хугацаа бага зарцуулдаг зэрэг давуу талтай. Энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь зэсээр бохирдсон хөрсний бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулахад оршино. Судалгааны ажлын хүрээнд “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрснөөс 0-100 см гүний зүсэлт хийж, үе бүрээс хөрсний дээж авч бохирдлын үнэлгээ хийсэн. Элементийн анализээр өнгөн (0-20 см) хөрсөн дэх Cu, As-ийн агуулга тус бүр 7619, 85.13 мг/кг байгаа нь Монгол улсын хөрсний чанарын стандарт (MNS5850:2008)-ын хортой агууламжаас Cu-15, As-3 дахин өндөр агуулгатай байсан. Харин 21-100 см-ийн гүний хөрсөн дэх хүнд элементийн агуулга тус стандартын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс бага агуулгатай илэрсэн. Хөрсөн дэх Cu-ийн агуулгыг ЕК-ийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах судалгааг хийхдээ 10 В тогтмол хүчдэлийн үед, хоёр ялгаатай электродын байршил бүхий реакторт, H<sub>2</sub>O болон 0.1M NaCl-ийн электролит уусмалуудыг ашиглан электролизыг явуулсан. Туршилтаар хөрсний хоёр талд электродын үүртэй, 0.1 M NaCl-н электролит уусмал бүхий реакторын хөрсөн дэх Cu-ийн агуулга анод орчимд 48 %-иар, As, Mo-ны агуулга катод орчимд тус бүр 64, 60 хүртэл хувиар буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Иймд хөрсөн дэх Cu-ийн бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах бүрэн боломжтойг харуулж байна.

Түлхүүр үг - хөрсний бохирдол, электрокинетик, нөхөн сэргээлт, хүнд металл, зэс, үйлдвэрийн бүс.

## ОРШИЛ

Хөрс нь экологийн тэнцвэрт байдлын үндэс бөгөөд амьдралын үндсэн суурь материал болдог. Хөрсний бохирдлыг шинж чанараар нь физик, хими, биологийн бохирдол гэж ангилдаг ба хөрсний физик бохирдлын дүнд гадны нөлөөгөөр тухайн хөрсний байгалийн үндсэн бүтэц, физик шинж чанар өөрчлөгддөг. Харин химийн гаралтай бохирдолт нь пестицид, хүнд металлууд, радиоидэвхит элементүүд, нефть, эрдэс бордоо зэрэг химийн нэгдлээс үүсдэг [1]. Биологийн бохирдолт нь микробиологийн үйлдвэрлэлийн уураг, витаминь концентраци, ойн хортон шавьжтай тэмцэхэд хэрэглэдэг бактериудаас үүсэлтэй [1]. Түүнчлэн хөрсний бохирдлыг гарал үүслээр нь газар тариалан, уул уурхайн, үйлдвэржилт, хотжилтын, цэрэг, зам, оршуулгын газраас үүдэлтэй гэж ангилдаг [2]. Дэлхий нийтээр хөрсний бохирдлыг шинж чанараас нь хамааруулан хэд хэдэн аргаар бууруулах, нөхөн сэргээх судалгааг маш нарийн

түвшинд хийж, практикт амжилттай нэвтрүүлсэн. Гэвч манай улсад хөрсний бохирдлыг бууруулах, нөхөн сэргээх судалгаа өнөөг хүртэл нарийн хийгдээгүй байна. Хөрсний бохирдлыг бууруулах, нөхөн сэргээх аргуудыг физик, хими, биологийн гэж гурван бүлэгт авч үздэг [3]. Физикийн нөхөн сэргээлтийн аргуудад бохирдсон хөрсийг цэвэр хөрсөөр орлуулах, холих, сэлбэх гэх мэт механик аргууд багтах бол химийн нөхөн сэргээлтийн арга нь химийн урвалж, процессыг ашиглан угаах, уусгах, өтгөрүүлэх, электрокинетикийн, пирометаллургийн гэх мэт аргуудыг ашигладаг. Харин биологийн нөхөн сэргээлтийн арга нь ургамал, амьтан, бактерийн нөлөөгөөр хөрсөн дэх бохирдлыг бууруулахад оршино [4]. Хөрсийг нөхөн сэргээх, бохирдлыг бууруулах эдгээр аргуудаас электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн арга нь технологийн хувьд хялбар, өртөг бага, бохирдлыг бууруулах зэрэг ихтэй, хугацаа бага зарцуулдаг зэрэг давуу талтай [5]. Электрокинетикийн арга нь органик

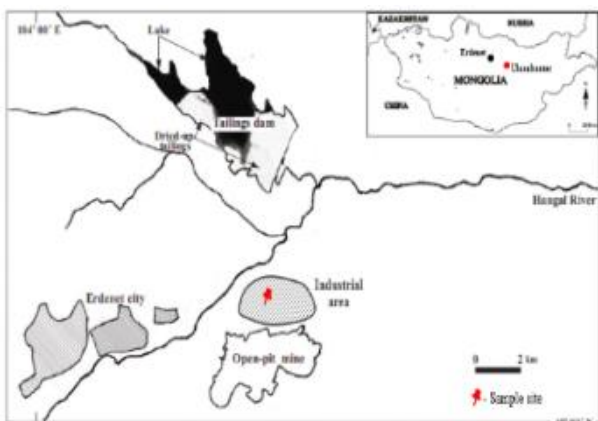
\* Electronic address: bolormaa@num.edu.mn

бус, органик аль аль бохирдлыг бууруулах боломжтой [6], усан орчинд хөрсийг цахилгаан гүйдлийн нөлөөгөөр идэвхижүүлэн бохирдлыг арилгах, бууруулах шинж чанар дээр үндэслэгддэг [7]. Электролизийн явцад электроосмос (electro-osmos), электро-шилжилт (electromigration), электро-форез (electrophoresis) гэсэн гурван процессын нөлөөгөөр хөрсөн дэх бохирдлыг бууруулдаг.

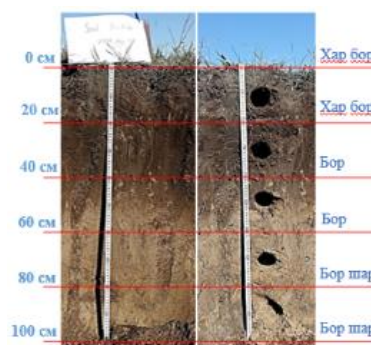
Судалгааны объектоор “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрсийг сонгон авсан. Судалгааны баг 2013 онд Эрдэнэт хот, Эрдэнэт үйлдвэрийн ойр орчмын өнгөн хөрсний бохирдлын үнэлгээ хийсэн ба судалгаагаар үйлдвэрийн бүсийн өнгөн хөрсөн дэх Cu, As-ийн агуулга дөрвөн улирлын туршид 1443-4866, 12-52 мг/кг тус тус байгааг тогтоосон [8]. Иймд уг судалгааны ажлаар зэсийн агуулга ихтэй нэг цэгээс зүсэлт хийн хөрсний дээж авч электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бохирдлыг бууруулах судалгааг хийсэн.

**МАТЕРИАЛ, АРГА АРГАЧЛАЛ**

“Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүс (N: 49°02’35.9”, E: 104°08’38.9”)–ээс 0-100 см хүртэл гүнрүү зүсэлт хийж, холимог 1 дээж, 20 см-ийн үечлэлтэйгээр 5 дээж, нийт 6 хөрсний дээж авсан. Хөрсний дээж авсан цэгийн байршил, хөрсний зүсэлтийг Зураг 1, 2-т харуулсан болно.



Зураг 1. Судалгааны объект.



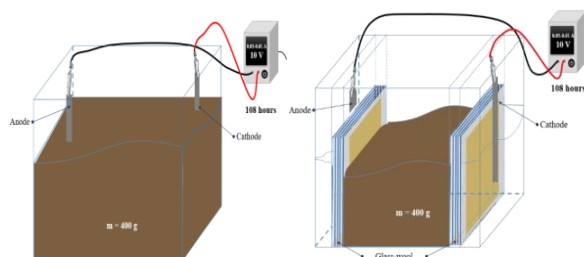
Зураг 2. Хөрсний зүсэлт.

Хөрсний дээжийг тасалгааны температурт хатааж, рН, цахилгаан дамжуулах чанар (ЕС), чийг, шатаахад гарах алдагдал (ШГА), ялзмаг зэрэг физик-химийн үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон [9].

Хөрсөн дэх хүнд элементийн агуулгыг рентген флуоресценци (XRF)-ийн аргаар, эрдсийн анализыг рентген дифрактометр (XRD)-ийн аргаар тодорхойлсон. Электрокинетикийн аргаар хөрсөн дэх зэсийн агуулгыг бууруулах судалгааг хийхдээ 400 гр хөрсний дээж авч бал чулуун электрод, 10В хүчдэлд H<sub>2</sub>O, 0.1 М NaCl-ийн электролит уусмалууд ашиглан 108 цагийн турш электролиз явуулсан. Электрокинетик нөхөн сэргээлтийн технологийн схемийг Хүснэгт 1, Зураг 3-т харуулсан болно.

Хүснэгт 1. ЕК-ийн туршилтын схем.

Реактор	Электролит уусмал	Электродын байрлал
I	H <sub>2</sub> O	Хөрсөндөө шууд байрлуулсан (Зураг 3.а)
II	NaCl	
III	H <sub>2</sub> O	Хөрсний 2 талд үүртэй (Зураг 3.б)
IV	NaCl	



Зураг 3. ЕК-ийн туршилтын схем.

**ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ****1. Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд**

Эрдэнэт үйлдвэрийн ойр орчмоос авсан хөрсний дээжний физик-химийн үзүүлэлтүүдийг Хүснэгт 2-т харуулсан болно.

Хүснэгт 2. Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд.

Дээж	Чийг %	ШГА %	pH	ЕС мкСм/см	
Холимог хөрс	2.5	15.4	7.6	290	
Зүсэлт	0-20	3.1	15.5	7.2	330
	21-40	2.6	8.7	7.6	350
	41-60	1.6	14.3	8.1	250
	61-80	1.3	12.4	8.2	220
	81-100	1.5	11	8.1	230

Хөрсний зүсэлт (Зураг 2)-ээс харахад, зүсэлтийн дагуу 0-100 см хүртэл хөрсний өнгө хар бороос бор шар болж өөрчлөгдсөн. Хөрсний чийгийн агуулга, нийт органик нэгдлийн агуулга өнгөн хэсгээс гүнрүүгээ буурч байгаа нь хөрсний элсэрхэг бүтэцтэй холбоотой байна. Хөрсний орчин 7.2–8.2 буюу сул шүлтлэг орчинтой бөгөөд өнгөн хөрс харьцангуй саармаг байна. Хөрсний орчин саармаг байх нь амьтан амьдрах, ургамал ургахад тохиромжтой юм. Харин үечлэл ихсэхэд хөрсний орчин өссөн үзүүлэлттэй гарсан нь хөрсөн дэх шүлтийн болон газрын шүлтийн металлууд, хялбар уусдаг ионы агуулга ихсэж байгааг илтгэж байна.

Үечлэн авсан хөрсний цахилгаан дамжуулах чанар 220-350 мкКл/см хооронд байсан.

Хүснэгт 3. Хөрсний дээжин дэх микроэлементийн агуулга.

Profile	Elements, ppm								
	As	Cu	Cr	Ga	Mo	Ni	Pb	V	Zn
0-20 см	85.13	7619	58.47	-	21.92	16.91	22.72	42.3	183.7
21-40 см	27.83	130.8	57.12	17.14	3.477	27.2	17.92	48.14	82.48
41-60 см	12.14	22.93	22.03	21.89	2.016	5.098	9.955	6.277	72.52
61-80 см	12.14	36.01	43.79	20.02	3.52	4.333	9.602	38.12	71.49
81-100 см	2.62	40.69	29.3	15.65	4.371	12.93	12.14	22.89	75.49
Холимог хөрс	40.1	3263	43.6	9.7	7.9	29.6	20.9	33.57	94
MNS 5850:2008*	30	500	400	-	20	1000	500	600	600

**4. Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн дараах хөрсний шинж чанар**

Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар хөрсөн дэх зэсийн бохирдлыг бууруулах туршилтыг явуулсны дараа хөрсийг анодын бүс (Ан), катодын бүс (Кат) болгон тэнцүү хоёр

Цахилгаан дамжуулах нь нийт уусдаг ионуудын агуулгыг илэрхийлдэг.

**2. Хөрсөн дэх микроэлементийн анализ**

Хөрсний дээжин дэх зарим микроэлементийн агуулгыг хүснэгт 3-т харууллаа. Судалгааны үр дүнгээс харахад 0-20 см-ийн өнгөн хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга тус бүр 7619, 85.13, 21.92 мг/кг, 0-100 см-ийн холимог хөрсний дээжинд Cu, As тус бүр 3263, 40.1 мг/кг байсан. Харин 21-100 см хүртэл буюу бусад үеүүдээс авсан хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга Монгол улсын хөрсний стандарт (MNS5850:2008)-ын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс бага агуулгатай илэрсэн. Өнгөн хөрсөн (0-20 см) дэх зэсийн агуулга өндөр байгаа нь үйлдвэрийн үйл ажиллагаанаас шууд хамраалтай болохыг харуулж байна.

Харин As, Mo нь Cu-ийн эрдсүүдийг даган оршдог металлууд тул өндөр агуулгатай илэрсэн.

**3. Хөрсөн дэх эрдсийн анализ (XRD)**

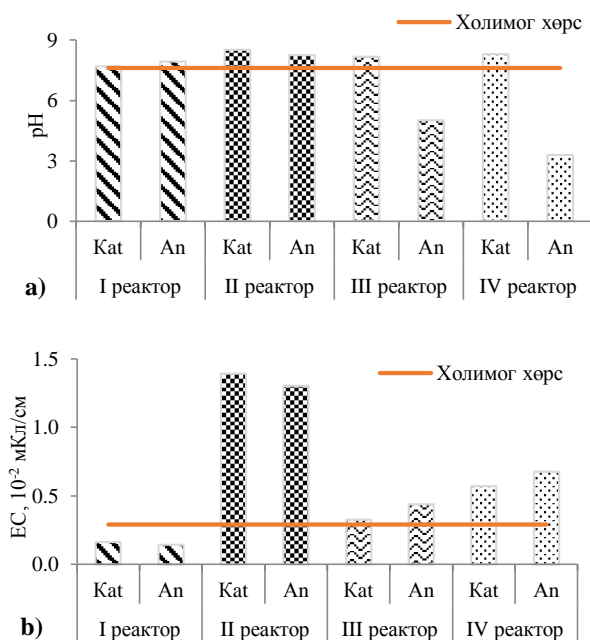
Өнгөн хөрс буюу 0-20 см хөрсний дээжинд рентген дифрактометрийн анализ хийхэд кварц (SiO<sub>2</sub>), албит (Na(AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>)), анортит (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), хематит (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) зэрэг цахиур, төмөрт эрдсүүд зонхилж байсан ба мөн халькопирит (CuFeS<sub>2</sub>)-ийн эрдэс илэрсэн нь тухайн хөрсөн дэх зэс эрдэс байдлаар оршиж байгааг илтгэж байна.

хувааж, физик химийн үзүүлэлтүүд болон Cu, As, Mo-ны агуулгыг тодорхойлж, холимог хөрстэй харьцуулан үр дүнг боловсруулсан.

**4.1 Хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд**

Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн дараах хөрсний физик-химийн үзүүлэлтүүд болох pH,

ЕС, чийг, ШГА, ялзмагийн үр дүнг дараах зурагуудад харуулсан.

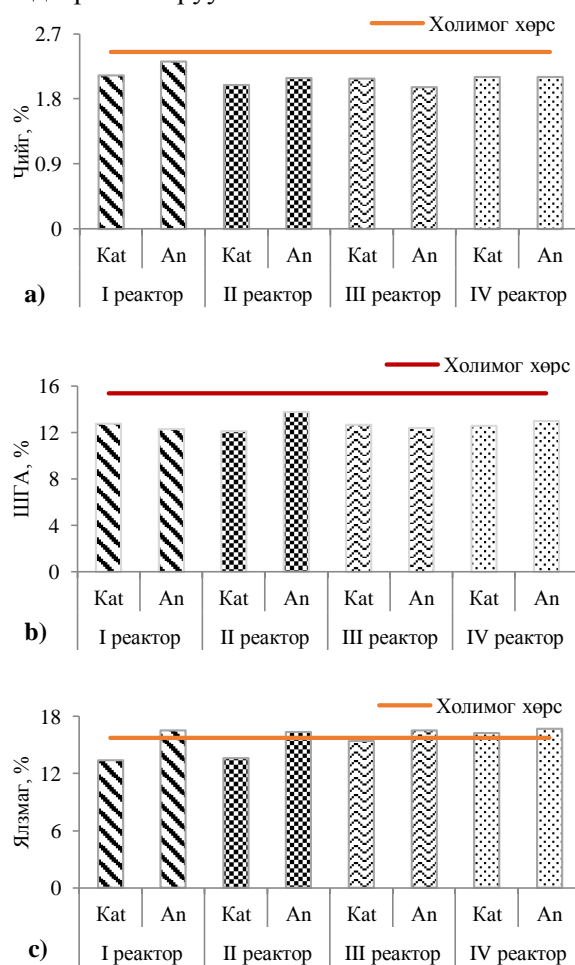


Зураг 4. Хөрсний а) pH; б) ЕС.

Зураг 3.а-аас харахад электродыг хөрсөнд шууд байршуулсан I, II реакторын хөрсний орчин анод, катодын бүсэд саармаг буюу дунджаар 7.7 байсан. Харин III, IV реактор буюу электродын үүртэй реакторын анодын бүсийн хөрс хүчиллэг, катодын бүсийн хөрс шүлтлэг орчинтой байсан. Дээрх үр дүнгээс харахад электродын байрлалаас хамаарч катод, анодын бүсийн хөрсний орчин өөр өөр байна. Анод, катодын ойролцоох хөрсний pH-ийн зөрүү их байгаа нь усны диссоциацаар үүссэн OH<sup>-</sup>, H<sup>+</sup> ион болон хөрсөн дэх нэгдлүүд электролизын нөлөөгөөр задарч анион, катион үүсгэсэнтэй холбоотой байна [9]. Электролизоор pH-ийн зөрүү ихсэх тусам электролизын үр ашгийг нэмэгдүүлдэг [10]. Хөрсний цахилгаан дамжуулах чанар (Зураг 4.б)-ын хувьд холимог хөрстэй харьцуулахад 0.1M NaCl электролит уусмал ашигласан II, IV реакторын ЕС өндөр утгатай байсан ба NaCl нь ион шилжилтийг эрчимжүүлж байгаа нь илт харагдаж байна. Ялангуяа, II реактор буюу хөрсөндөө электродоо шууд байршуулсан схемийн ЕС хамгийн өндөр буюу катодын бүсэд 1.39, анодын бүсэд 1.30 мКл/см байсан. Энэ нь электродын байрлалаас хамаарч хөрсөн дэх цахилгаан дамжуулах чадвартай катион, анионууд ихээр үүсэнтэй холбоотой. Харин 2 талдаа электродын үүртэй реактор (III, IV)-уудын ЕС катод орчимд бага, анод орчимд

их байгаа нь хөрсөн дэх цахилгаан дамжуулах чадвартай жижиг хэсгүүд электро-форрезын нөлөөгөөр анодруу шилжсэнийг харуулж байна. Хөрсний чийг, ШГА, ялзмагийн агуулгыг Зураг 5.а,б,с-д тус тус харуулсан. Электрокинетик нөхөн сэргээлт явуулсны дараах хөрсний чийгийн хэмжээ (Зураг 5.а) холимог хөрснөөс буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Энэ нь электролизын үед хөрсний нүх, сүвэрхэг байдал, жижиг хэсгийн ширхэгийн хэмжээ өөрчлөгдсөнийг харуулж байна.

Харин хөрсний шатаахад гарах алдагдал 12.11-13.74% агуулагдаж байсан ба туршилтын өмнөх холимог хөрс (15.35%) –өөс буурсан үзүүлэлттэй гарсан. Энэ нь электрокинетикийн нөхөн сэргээлт нь зөвхөн хүнд металлын бохирдлыг бууруулахад зогсохгүй мөн хөрсөн дэх органик нэгдлийн агуулгыг бууруулах чадвартайг харуулсан.



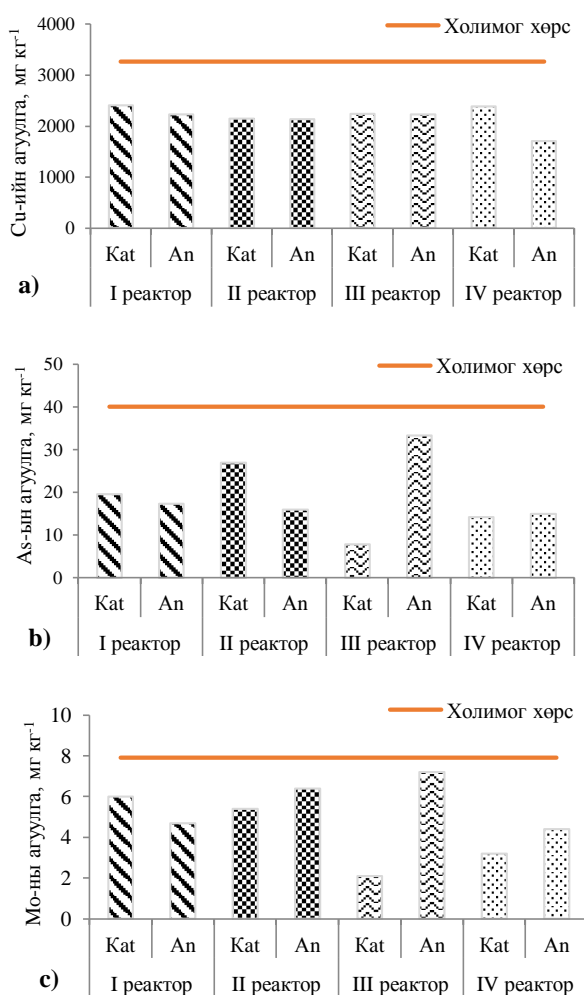
Зураг 5. Хөрсний а) чийг; б) ШГА; в) ялзмагийн агуулга.

Хөрсөн дэх ялзмагийн агууламж (Зураг 5.с) холимог хөрсөнд 15.73% агуулагдаж байсан. Электролизын дараа I, II, III реакторын катод орчмын хөрсний ялзмагийн хэмжээ 13.4-15.42%

болж буурч, анод орчимд 16.35-16.52% болж бага зэрэг өссөн. Хөрсний ялзмагийн агуулга буурч байгаа нь тухайн хөрсний бордоорхог шинж чанар буурна. Харин IV реакторын хөрсний ялзмагийн хэмжээ катод (16.25%), анод (16.70%) аль алинд нь өссөн. Ялангуяа анод орчмын хөрсний ялзмаг ихсэж байгаа нь электролизын нөлөөгөөр анод орчимд макрошим тэжээлт бордоо болох сөрөг цэнэгтэй  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  ионууд хуримтлагдсаныг харуулж байна.

#### 4.2 Хөрсөн дэх элементийн агуулга

Электролизын дараах хөрсөн дэх микроэлементүүд болох Cu, As, Mo-ны агуулгыг Зураг 6.а,б,с-д харууллаа.



Зураг 6. Хөрсөн дэх а) Cu; б) As; в) Mo-ны агуулга.

Электролизын дараах хөрсөн дэх зэсийн агуулга 0.1 M NaCl-ийн электролит уусмал ашигласан, хөрсний хоёр талд электродын үүртэй IV реакторын анодын бүсэд хамгийн бага агуулгатай буюу 1709 мг/кг байсан. Энэ нь цахилгаан гүйдлийн нөлөөгөөр хөрсөн дэх  $\text{Cu}^{1+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  ионууд электро-форрез процессын дагуу

анодын бүсэд шилжсэнтэй холбоотойгоор 48% буурсан. Бусад реакторуудын хувьд Cu-ийн агуулга дунджаар 30 орчим хувиар буурсан. Хөрсөн дэх As, Mo-ны агуулга мөн IV реакторын катод, анодын аль алинд нь 63-64%, 44-60% буурсан. Харин электролит уусмалаар  $\text{H}_2\text{O}$ -ийг ашиглан, электродын үүртэй III реакторын катод, анодын бүсэд Cu-ийн агуулга ойролцоо утгатай, As, Mo-ны хувьд катодын бүсэд бага, анодын бүсэд өндөр байсан

#### ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар “Эрдэнэт үйлдвэр” ХХК-ны үйлдвэрийн бүсийн хөрснөөс 0-100 см гүнд зүсэлт хийн дээж авч электрокинетик аргаар хөрсний зэсийн бохирдлыг бууруулах туршилт гүйцэтгэж дараах дүгнэлтэд хүрлээ:

1. Хөрсөн дэх элементийн анализаар өнгөн хөрс буюу 0-20 см-ийн гүний хөрсөн дэх Cu, As, Mo-ны агуулга 7619, 85.13, 21.92 мг/кг, 0-100 см-ийн холимог хөрсний дээжинд Cu, As тус бүр 3263, 40.1 мг/кг тус тус агуулагдаж байгаа нь Монгол Улсын Хөрсний чанарын стандарт (MNS5850:2008)-тай харьцуулахад хортой агууламжаас өндөр байсан.
2. Электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн туршилтыг явуулахдаа электролит уусмалаар  $\text{H}_2\text{O}$  болон 0.1 M NaCl-н усан уусмал авч харьцуулан судлахад 0.1 M NaCl-н усан уусмал нь зэсийн бууралтыг илүү нэмэгдүүлж байсан.
3. Хөрсний хоёр талд электродын үүртэй хийсэн реакторын зэсийн агуулга анодын бүсэд 48 %-иар буурсан.

Иймд хөрсөн дэх Cu-ийн бохирдлыг электрокинетикийн нөхөн сэргээлтийн аргаар бууруулах бүрэн боломжтойг харуулж байна.

#### АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] L. Simeonov and V. Sargsyan, Soil Chemical Pollution, Risk, Netherlands: Springer, 2008.
- [2] P. Charzynski, P. Hulisz and R. Bednarek, Technogenic soils of Poland, Torun: Polish society of soil science, 2013.
- [3] Z. Yao, J. Lib, H. Xie and C. Yu, "Review on remediation technologies of soil contaminated by," Procedia Environmental Sciences, vol. 16, pp. 722-729, 2012.

- [4] C. Cameselle, S. Gouveia, D. E. Akretche and B. Belhadj, Advances in Electrokinetic remediation for the removal of organic and inorganic contaminants in soils, World's largest Science, technology and medicine open access book.
- [5] R.T.Gilla, M.J.Harbottleb, J.W.N.Smithca and S.F.Thorntona, "Electrokinetic-enhanced bioremediation of organic contaminants. A review of processes and environmental applications," Chemospher, pp. 31-42, 2014.
- [6] G. Maini, A. Sharman, C. Knowles, G. Sunderland and S. Jackman, "Electrokinetic remediation of metals and organics from historically contaminated soil," J Chem Technol Biotechnol, pp. 657-664, 2000.
- [7] K. Reddy and C. Cameselle, Overview of electrochemical remediation technologies, Electrochemical remediation technologies for polluted soils, sediments and groundwater book, 2009.
- [8] J. Yondonjamts, B. Oyuntsetseg, O. Bayanjargal, M. Watanabe, L. Prathumratana and K.-W. Kim, "Geochemical source and dispersion of copper, arsenic, lead, and zinc in topsoil in the vicinity of the Erdenet mining area, Mongolia," Geochemistry, Exploration, Environment, Analysis, p. accepted, 2019.
- [9] Jurate Virkutyte, M. S. P. L., Electrokinetic soil remediation - critical overview. The science of the Total environment, pp. 92-121, 2002.
- [10] R. Prashanth, R. Mark Buchireddy, B. David Gent., Electrokinetic remediation of wood preservative contaminated soil containing copper, chromium, and arsenic. Journal of Hazardous Materials, pp. 490-497, 2009.