

# ХАЯГДАЛ УСАН ДАХЬ ХҮНЦЭЛИЙН (III) ИОНЫ АГУУЛГЫГ (V) БОЛГОН ИСЭЛДҮҮЛЭХ МИКРООРГАНИЗМ ӨСГӨН БУУРУУЛАХ БОЛОМЖ

Ц.Эрдэнэцэцэг<sup>1</sup>, Г.Ариунзул<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУА, Газарзүй, Геоэкологийн хүрээлэн, УНУАСалбар

<sup>2</sup>Энержи Ресурс ХХК, Лабораторийн химич

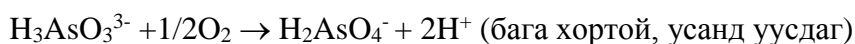
Email: [erdenetsetsegts@mas.ac.mn](mailto:erdenetsetsegts@mas.ac.mn)

## 1. ОРШИЛ

Уул уурхай, металлурги, түлш эрчим хүч, ган болон бусад бүх төрлийн үйлдвэрүүд хөгжихийн хирээр хүний үйл ажиллагааны улмаас байгаль орчинд хортой элементүүдийн тархалт сүүлийн жилүүдэд ихсэж, металл агуулсан хаягдлыг хүрээлэн буй орчинд шууд ба шууд бус байдлаар хаяж, хүрээлэн буй орчныг бохирдуулж, улмаар хүн, амьтны эрүүл мэнд, экосистемд хортой сөрөг нөлөө үзүүлж байна. Хүрээлэн буй орчныг металлээр бохирдуулах энэ байдал хөгжиж буй орнуудад илүү их тохиолдож байна [1]. Хүнд металлууд болон тэдгээрийн нэгдлийн бохирдолыг арилгах хими, физик, биологийн аргуудаас биологийн арга нь эдийн засгийн хувьд ашигтай, нүсэр тоног төхөөрөмж шаарддаггүй, хүрээлэн буй орчинд сөрөг нөлөөгүй зэрэг олон давуу талуудтай [2, 3]. Хүнцэл нэгдэлдээ (III) болон (V) валентыг үзүүлэх бөгөөд гурван валенттай ислийг (As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) хүнцлийн ангидрид гэж нэрлэдэг. Хүнцлийн ангидрид бол хүчтэй хортой бодис юм. Бохирдуулагчдыг биологийн процесс ашиглан зайлуулах, бууруулах эсвэл хоргүй нэгдэлд нь шилжүүлэх аргыг биологийн исэлдэн-ангирхах процесс буюу биоремедаци гэнэ. Биологийн арга нь байгалийн өөрийнх нь биетүүд болох бактер, мөөгөнцөр зэргийг ашиглан биологийн идэвхит процессоор янз бүрийн хортой бохирдуулагчдыг хоргүйжүүлэх эсвэл бүрэн цэвэрлэдэг [4]. Ихэнх биологийн процесс нь хүчилтөрөгчтэй орчинд явагддаг. Биоремедацийн процесст микроорганизм нь бохирдуулагчдыг энергийн эсвэл тэжээлийн эх үүсвэр болгож ашигладаг. Микробоор явагдах энэхүү аргын идэвхи нь тэжээлийн бодис (азот, фосфор), электрон акцептор (хүчилтөрөгч) мөн субстрат (метан, фенол, толуол гэх мэт) эсвэл катализаторын үүрэгтэй микроорганизм зэргээр зохицуулагддаг. Гурван төрлийн биоремедацийн арга байдаг. Эдгээр нь:

- In situ: бохирдсон ус, хөрсийг тухайн газарт шууд цэвэрлэх
- Ex situ хатуу: бохирдсон хөрсийг тухайн газраас нь зөөвөрлөж шинэ орчинд хатуу фазад нь цэвэрлэх
- Ex situ slurry: бохирдсон ус, хөрсийг тухайн газраас нь зөөвөрлөж лаг хэлбэрт шилжүүлэн реактор дотор цэвэрлэх арга

Хүнцлийн байгаль дахь эргэлтэнд бактер маш чухал үүрэгтэй. Хүрээлэн буй орчинд As(V) ангирхах, As(III) исэлдэх процесс нь микроорганизмын тусламжтай явагддаг. Хүчилтөрөгчийн орчинд As (III) ион нь As (V) ионы хэлбэртээ шилжиж исэлдэх процесс явагддаг.



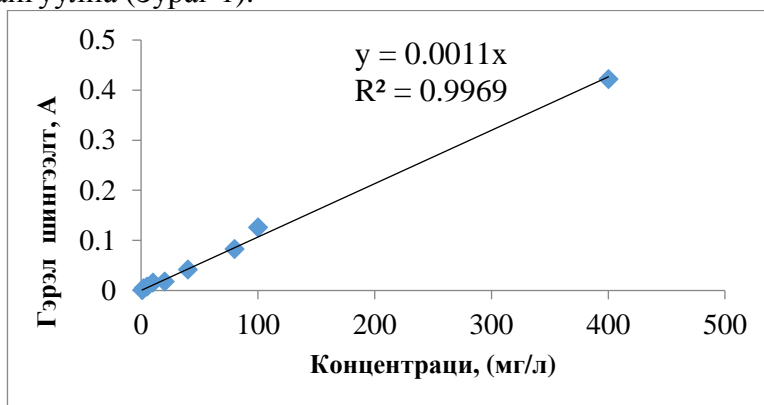
Хүчилтөрөгчтэй орчинд As(III)-г исэлдүүлэх арга нь кинетикийн хувьд удаан боловч pH>10 үед урвал хурдан явагддаг. Байгаль дээрх органик бодисууд нь мөн As(III)-г As(V) болтол нь исэлдүүлдэг [5]. Хүнцэл As(III) ионыг исэлдүүлэх микроорганизм нь гетеротроф, органик бодисыг энергийн үүсвэр болгодог өргөн хэрэглэдэг микроорганизм бол *Alcaligenes faecalis* юм. Хүнцэл As(III) ионыг исэлдүүлэх судлагдсан микроорганизмуудаас *Pseudomonas arsenitoxidans* л арсенитыг энергийн эх үүсвэр болгодог [6]. Хүнцэл As (III) ион нь As (V) ион болтол исэлдүүлэх энэ процесс нь бага хортой нэгдлийг үүсгэдэг тул бидний судалгааны ажил энэ аргад үндэслэгдсэн . Байгаль орчинд хөдөлгөөнд орсон хүнцлийн сөрөг нөлөөг бууруулах бактерийн омог ялган авч, усан уусмалд шилжсэн As(III) ионыг биологийн аргаар исэлдүүлж хоргүйжүүлэх судалгаа хийх үндсэн зорилготой.

## 2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ:

### 2.1. Үүсмэл нуурын ус, хөрс, замагт хүнцлийн агуулгыг тодорхойлох

**1. Усан дахь хүнцэл тодорхойлох:** Шинжлэх уусмалаас 20мл-ийг авч 10мл HCl (1:1), 15мл найрлагат урвалж (100 мл 1:1 HCl-т 10 г натрийн гипофосфит 1 г зэсийн сульфатыг уусгаж бэлдэнэ) нэмж 40 минут халуун устай вананд тавина. Хяналтын сорьцонд 10%-ийн төмрийн хлоридын уусмалаас 1мл нэмж 40 минут болмогц хүйтэн устай ваннд хөргөж 530-550 нм-ийн долгионы уртад гэрэл шингээлтийг хэмжинэ [7].

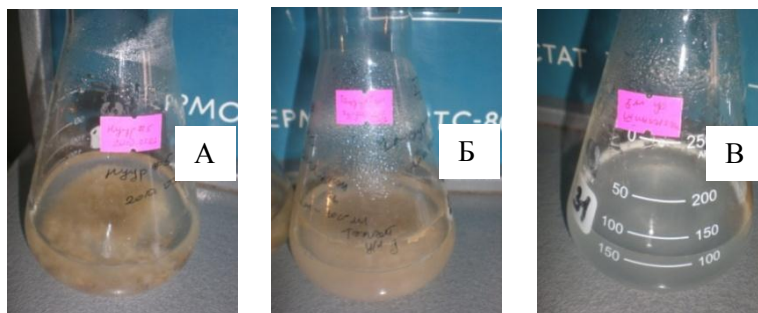
**Жиших муруй байгуулах:** Хүнцлийн 400 мг/л концентрацитай стандарт уусмалаас 1, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 100, 400 мг/л концентрацитай ажлын стандарт уусмал бэлтгэж, тодорхойлолтыг дээрх байдлаар гүйцэтгэн, шингээлт уусмалын концентрациас хамаарсан жиших муруй байгуулна (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгаанд авсан дээжин дэх арсены агуулга тодорхойлох жиших муруй

### 2.2. Хүнцэл исэлдүүлэх микроорганизм ялгах, микроорганизмын шинжилгээ

**Микроорганизм ялгах:** Хүнцэл исэлдүүлэх микроорганизмыг илрүүлэхийн тулд уурхайн үүсмэл нуур, түүнд тунасан хөрс, замагт агуулагдаж байгаа хүнцлийн агуулга, хэмжээг тодорхойлно. Микроорганизмыг ялгахын тулд хүнцлийн агуулга хамгийн өндөр байх нуурын ус, хөрс болон замаг тус бүрээс 5 мл болон 1 г дээжүүдийг хэмжин авч ойролцоогоор 10 мг/л As(III) агуулсан тэжээлийн уусмал дотор хийж, 27°C-ын температурт 120 эрг/мин хурдтайгаар хутган 2 хоногийн турш ургуулна. Тэжээлийн орчны найрлагад (г/л): 0.75 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.67 NH<sub>4</sub>Cl, 0.023 CaCl<sub>2</sub>, 0.004 FeCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O, 0.2 MgSO<sub>4</sub>, 0.003 MnCl<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O, 0.001 Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, 3.64 глюкоз байхаар тэжээлийн орчинг бэлтгэсэн [8,9]. Тэжээлийн орчин бэлтгэх давснуудыг анализын цэвэр давсуудаас сонгон, нэрмэл усанд уусгаж, ариутгасаны (автоклав 1.5 МПа даралтад, 121°C-т) дараа хэрэглэсэн. Хоёр хоногийн дараа ургасан өсгөвөрөөс 5 мл-ыг таслан авч хүнцэл агуулсан шинэ тэжээлт орчин руу шилжүүлэн, хүнцлийг сонгомлоор исэлдүүлэх микроорганизмыг ялгана (Зураг 2).



Зураг 2. Шингэн тэжээлийн орчинд ургасан микроорганизм

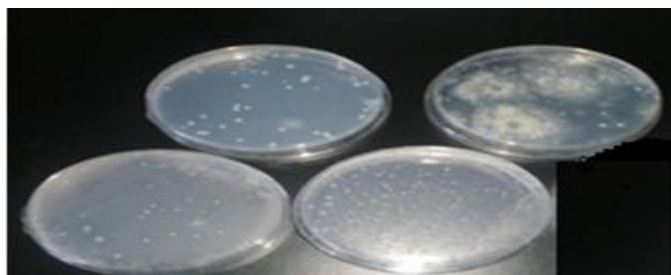
А. Нуур 5 –аас авсан дээжээс ургасан анхны микроорганизм

Б. Голын уснаас авсан дээжээс ургасан анхны микроорганизм

В. Анхны ургасан микроорганизмын уусмалаас шинэ тэжээлт орчинд 5 мл хийж ургуулсан

Шинэ тэжээлт орчинд шилжүүлэн ургуулах сүүлийн шатыг 3 удаа давтсаны дараа 1.5% агар агуулсан хатуу тэжээлийн орчинг бэлтгэсэн. Шингэн орчиноос ялган авсан

өсгөвөрийг хатуу орчинд ургуулахад гадаад төрхөөрөө ялгаатай хэд хэдэн микроорганизм ургасан байхыг тогтоосон (Зураг 3). Үндсэндээ хоёр төрлийн микроорганизм байсан нь нэг нь цагаан өнгөтэй, зуурамтгай байсан бол нөгөө нь шаравтар өнгөтэй мөгөөнцөр байсан. Үүнээс бид аюулгүй ажиллагааг хангахын тулд зуурамтгай байдлаар ургасан микроорганизмыг сонгон авч ажилласан бөгөөд мөгөөнцөр нь Нуур 2-1 (Т-1)-ээс ургасан байсан учраас цаашид энэ микроорганизмыг судалгаанд аваагүй.



Зураг 3. Хатуу тэжээлийн орчинд ургасан микроорганизм

**Микроорганизмын шинжилгээ:** Ялгаж авсан микроорганизмыг танихын тулд физиологийн шинжилгээнд оксидаз болон катализын идэвхт чанар, морфологийн шинжилгээнд грамм эерэг, сөргийг тодорхойлох шинжилгээг доорх аргачлалаар явуулсан.

**а. Оксидазын идэвхт чанар тодохойлох:** Бактерит цитохром С төрлийн энзим байгаа эсэхийг судлах шинжилгээний арга юм [9].

1. Таваг дээр агар бэлтгэж тарилга хийнэ.

а) Богино үйл явц: Петрийн аяганы ёроолд хэсэг бүрээр нь тасалж тарилга хийнэ. Туршилтын организмыг тус бүрд нэрлэж шошго наана.

б) Урт үйл явц: 1а дахин хийнэ. Гурван тавганд гурван хэсэг болгож таслана.

2. Тавган дахь агарын гадаргуу дахь зураас бүрт тарилга хийнэ.

3. Организм тус бүрд 2-3 дусал п-аминдиметиланалин хийж ургуулна.

4. Өсгөвөрлөх явцадаа гадаад төрх өнгийг нь сайн ажиглана. Ягаанаас өнгө өөрчлөгдөж хамгийн сүүлд улаан болно. Оксидаз нэмэх нь 10-30 минутын хооронд өнгө нь өөрчлөгдөнө. Оксидаз хасах нь өнгөгүй буюу гэрэлтэйд ягаан өнгө үзүүлнэ.

**б. Катализын идэвхт чанар тодорхойлох:** бактерийн хэт ислийг ус ба хүчилтөрөгчид задлах шинж чанарыг судалдаг [9].

1. 37°C-д 24-28 цагийн хооронд бактерийн уусмлаа хатуу тэжээлт орчин руу шилжүүлж өсгөвөрлөнө.

2. 3-4 дусал 3% устөрөгчийн пероксидыг үржүүлгийн гадаргуу дээр налуу байдалтайгаар урсгана.

3. Гадаад төрх хөөс хий үүсч байгааг шинжлэх.

**в. Грам эерэг сөрөг шинжилгээ:**

1. Хатааж бэхжүүлсэн бэлдэц дээрээ анхдагч будагч болох метил виолетын уусмал дусааж нэг минут орчим байлгаад илүүдэл будгийг усаар угааж хатаана. Ингэхэд бүх эс ягаан өнгөөр будагдана.

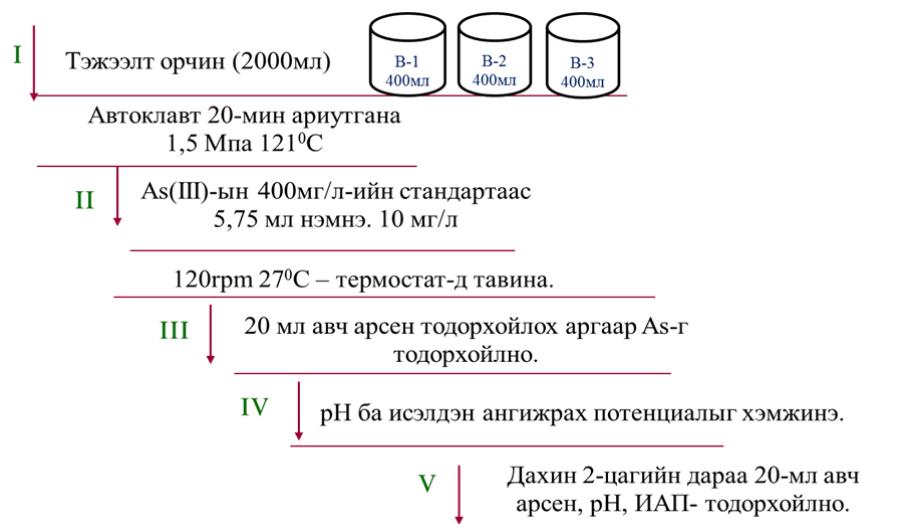
2. Бэлдэц дээрээ иодын буюу люголийн уусмал дусаана. Иод нь идэвхижүүлэгч бөгөөд бактерийн хэсгийн будагдах нь сайжирдаг.

3. Бэлдэц дээрээ 96% спирт дусаах ба спирт нь өнгөгүйжүүлэгч болох ба грам (-) эсээс будаг иодыг арилгаж грам (+) эсээс арилгаж чаддаггүй.

4. Бэлдэц дээрээ шүлтлэг фуксиныг дусааж нэг минут орчим байлгаж усаар угааж хатаана. Ингэхэд грам (-) эс улаан ягаан грам (+) хөх ягаан өнгөтэй болно.

### 2.3. Усан уусмалаас As(III) ионыг исэлдүүлэх

Ялган авсан микроорганизмуудыг өмнө дурьдсан тэжээлийн орчны уусмалд ургуулж, дээр нь 10 мг/л As(III) -ын стандарт уусмал нэмж ургалт, As(III) концентраци, рН, исэлдэн ангижрах потенциалыг 2 цаг тутам хэмжиж хүнцлийг исэлдүүлэх туршилтыг хийж гүйцэтгэсэн. Усан уусмалаас As (III) исэлдүүлэх туршилтыг 24 цагийн турш үргэлжлүүлсэн (Бүдүүвч 1).

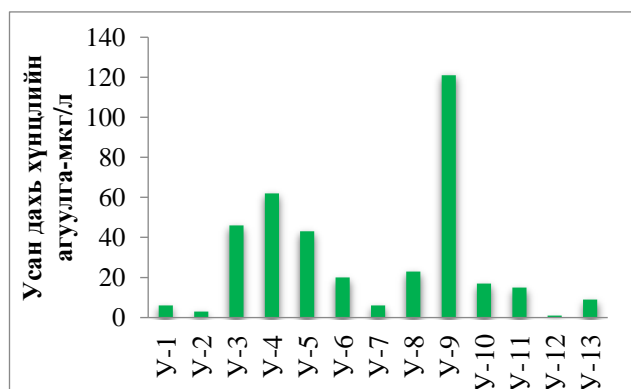


Бүдүүвч 1. Усан уусмалаас As(III)-ыг исэлдүүлэх туршилтын нэгдсэн бүдүүвч

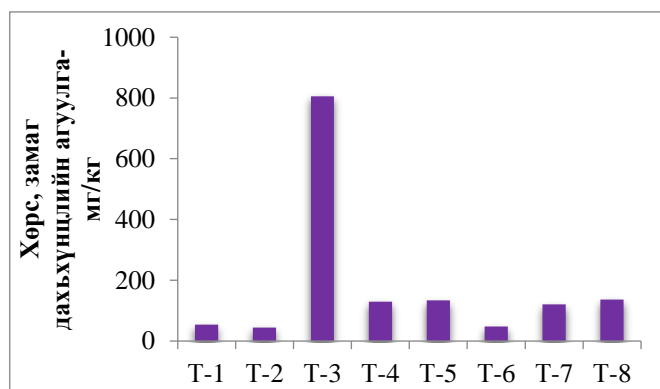
### 3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

#### 3.1. Үүсмэл нуурын ус тунамал хөрс, замагт хүнцлийн агуулгыг тодорхойлсон үр дүн

Нуурын ус, хөрс болон замагт агуулагдах хүнцлийн агуулгыг тогтоосон дүнг нэгтгэн үзүүлэв (Зураг 4, 5).



Зураг 4. Судалгаанд авсан нуурын усны дээжин дэх хүнцлийн агуулга



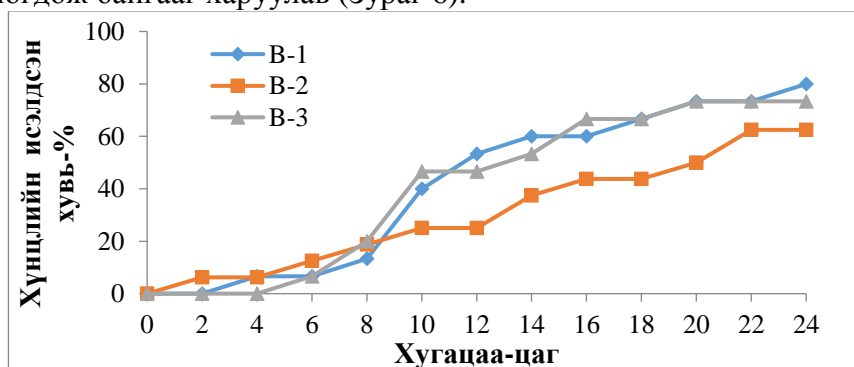
Зураг 5. Судалгаанд авсан хөрс, замагны дээжин дэх хүнцлийн агуулга

Дээрх зураг 5 аас харахад усны дээжинд агуулагдах хүнцэл нь манай орны (MNS 4586:1998 болон MNS4943:2015) усны чанарыг үнэлэх стандартуудад хор судлалын үзүүлэлтээр 0.01 мг/л -ээс хэтрэхгүй байхаар заасан байдаг [10, 11]. Үүсмэл нууруудын усан дахь хүнцлийн хэмжээ зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 2-12.1 дахин их агуулгатай байна. Үүсмэл нуурын усан дахь хүнцлийн агуулга зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс их байгаа нь алтны уурхайн үндсэн ордны хүдэр дэх найрлага нь скородит  $\text{FeAsO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , катиалит  $\text{FeAs}_3\text{O}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  гэсэн хүнцлээр баялаг эрдсийг агуулдаг ба эдгээр эрдсүүд нь алт олборлох явцад усанд шилжсэнтэй холбоотой. Улмаар усан орчныг бохирдуулах үндсийг тавьж байна.

#### 3.2. Уусмалаас As(III) ионыг микроорганизмаар исэлдүүлсэн туршилтын үр дүн

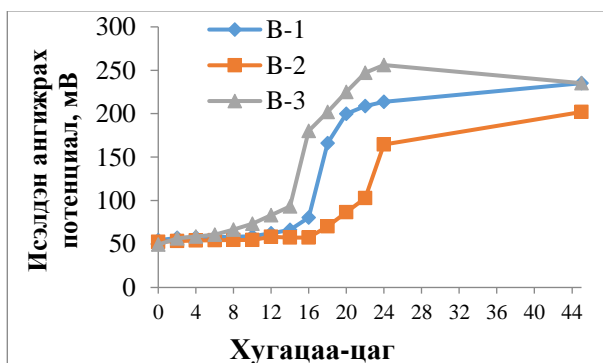
Глюкоз болон 10 мг/л As(III) агуулсан тэжээлийн орчноос хүнцлийг исэлдүүлэх боломжийг Нуур 7, Нуур 5 болон Гацуурт голын дээжүүдээс ялгаж авсан В-1, В-2 ба В-3 микроорганизмыг ашиглан туршсан. Микроорганизмын ургалтыг гидрокарбонатын орчинд ургуулах туршилт явуулж, ургалт ажиглагдахгүй байх шинжийг үндэслэн уг бактер нь хүчилтөрөгчгүй орчинд бус хүчилтөрөгчтэй, органик бодис энергийн эх үүсвэр болдог нөхцөлд ургах чадвартай микроорганизм болохыг тогтоосон [9]. Иймд бактераар үйлчилсэний дараа усан орчинд тодорхойлогдох хүнцлийн агуулгыг исэлдэлтэд ороогүй

хүнцлийн хэмжээ гэж үзэн судалгааны үр дүнгийн тооцоог хийсэн. Бактери агуулсан тэжээлийн орчноос хүнцэл (III) ионы исэлдэн зайлуулагдах хэмжээ хугацаанаас хамааран хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг харуулав (Зураг 6).

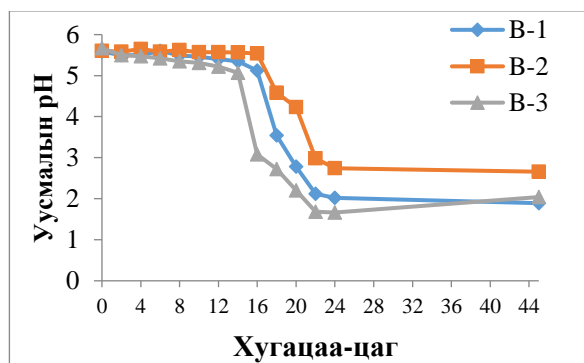


Зураг 6. Усан уусмалаас As (III) –ыг имэлдүүлж зайлуулах туршилтын дүн

Туршилтын дүнгээс харахад, B-1 -ээс ялгасан микроорганизм бүхий уусмал дахь хүнцлийн агуулга 24 цагийн дараа 80% хүртэл буурч байгаа бол B-2-ынх 62% B-3 аас ялгасан микроорганизм 73% хүртэл исэлдүүлж байна. Тиймээс цаашдын физиологи, морфологийн судалгаанд B-1 микроорганизмыг сонгон авсан. Микроорганизмын хүнцлийг исэлдүүлэх чадварыг уусмал дахь хүнцлийн концентраци буурч байгаагаас гадна мөн уусмалын рН буурч, исэлдэн ангижрах потенциал ихсэж байгаагаар тайлбарлаж болно. Учир нь хүнцэл (V) ион усан уусмалын рН -ийн утга бага, исэлдэн ангижрах потенциал (ИАП) -ын утга их байх үед үүсдэг тул туршилтын явцад тэжээлийн орчинд болох рН болон ИАП өөрчлөлтийг үндэслэн ялгаж авсан микроорганизм хүнцэл (III) ионыг хүнцэл (V) руу шилжүүлж байгааг хянаж байсан (Зураг 7. ба Зураг 8).

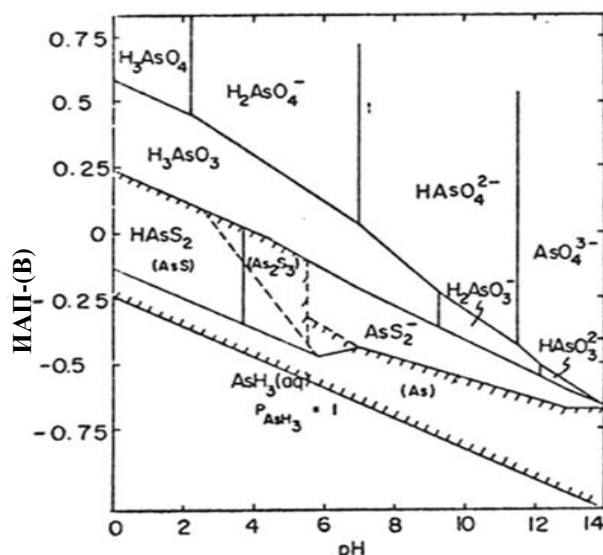


Зураг 7. Хүнцлийг исэлдүүлэхэд исэлдэн ангижрах потенциалын өөрчлөлт



Зураг 8. Хүнцлийг исэлдүүлэхэд уусмалын орчны өөрчлөлт

Туршилтын дүнгээр, өсгөвөрлөсний дараах 14 цагийн турш уусмалын исэлдэн ангижрах потенциалд өөрчлөлт ороогүй байгаа нь тэжээлийн орчин дахь микроорганизм хангалттай хэмжээнд ургаагүй, дасан зохицох шатандаа байгааг илтгэж байна. Харин 16 цагт исэлдэн ангижрах потенциалын холбогдол эрс ихсэж байгаа нь уусмалд хангалттай микроорганизм ургаж, хүнцлийг эрчимтэй исэлдүүлж байгаатай холбоотой байна. Уусмалын орчны өөрчлөлтийн дүнгээр, өсгөвөрлөсний дараах 12 цагаас эхлэн уусмалын орчин исэлдэн ангижрах потенциалтай адилаар буурсан нь уусмалд арсенат ионы үүсэлт эрчимтэй явагдаж эхэлсэнийг харуулж байна. Уусмалын орчины бууралт болон исэлдэн ангижрах потенциалын ихсэлтээр арсенит ион арсенат ион руу шилжиж байгааг харуулсан зургийг үзүүлэв (Зураг 9).



Зураг 9. Хүнцлийг исэлдүүлэхэд уусмалын орчны өөрчлөлт болон исэлдэн ангижрах потенциалын өөрчлөлт [9].

### 3.3. Ялгасан бактерийн шинжилгээний үр дүн

Алтны уурхай орчмын үүсмэл нуурын ус тунамал хөрснөөс хүнцэл исэлдүүлэх 3-төрлийн микроорганизм ялгаж авсан. Үүнээс В-1, В-2, В-3 гэсэн микроорганизм ялгаж авсан. Үүнээс В-1 нь хүнцлийн агуулгыг 80% хүртэл бууруулж байсан учраас үүний морфологи, физиологийн шинжилгээг хийсэн. Талст ягаан дусааж мөн иодын уусмал 96% спирт дээр шүлтлэг фуксин дусаахад улаан ягаан өнгөөр будагдсан учраас грам (-). 3%-ын устөрөгчийн хэт исэл хийхэд хөөсөрч байсан учраас катализ (+). Параамин диметиланалин дусаахад ягаанаас улаан өнгө үүсч байсан учир оксидаз (+) гэж үзсэн.

### 4. ДҮГНЭЛТ

Алт олборлох явцад усан уусмалд шилжсэн As(III)-ыг биологийн аргаар исэлдүүлж хоргүйжүүлэх судалгааг хийснээр дараах дүгнэлтэнд хүрлээ.

1. Алт олборлох явцад үүссэн нуурын ус тунамал хөрсний хүнцлийн агууламжийг тодорхойлоход үүсмэл нууруудын усан дахь хүнцлийн хэмжээ зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 2-12.1 дахин их агууламжтай байна.
2. Хүнцлийн агууламж өндөр байгаа үүсмэл нуурын ус, тунамал хөрснөөс 3 цэвэр өсгөврийг ялган авч, хүнцэл (III) ионыг исэлдүүлэх чадвартай бактерийн омог байгааг тогтоов.
3. Үүсмэл нуур, тунамал хөрсөнд агуулагдаж байгаа бактерийн омгууд нь глюкоз агуулсан тэжээлийн орчинд хамгийн эрчимтэй үржиж байгаа нь органик бодис хоол тэжээлийнхээ эх үүсвэр болгодог гетеротроф хооллолтой микроорганизм бөгөөд pH=4-7 хооронд 16 цагийн хооронд сайн ургаж, исэлдүүлж байгааг тогтоов.
4. Усан уусмал дахь хүнцэл (III) -ийг хамгийн сайн У-9 буюу нуур 7 ын уснаас ялгаж авсан микроорганизм хамгийн сайн 80% хүртэл зайлуулж байсан ба үүнд физиологи, морфологийн шинжилгээ хийхэд грам (-), катализ (+), оксидаз (+) байсан.
5. Байгальд болох аяндаа цэвэрших явц олон нарийн нийлмэл хүчин зүйлээс хамаарах боловч бидний ялгаж авсан микроорганизмууд усан уусмал дахь хүнцэл (III) ионыг 62-80% иар исэлдүүлж байгаа нь цаашид ашиглах нь үр дүнтэй гэсэн дүгнэлт хийж байна.

### 5. АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Алтны болон уул уурхайн үйлдвэрлэл, хүрээлэн буй орчны бохирдлын судалгаа (эрдэм шинжилгээний хурал семинар) УБ, 2008.х.16-18

2. Эрдэнэцэцэг Ц. (2010) “Усан уусмалаас As (III)-ыг биологийн аргаар исэлдүүлж хоргүйжүүлэх” бакалаврын дипломын ажил, МУИС, УБ хот, 36 хуудас.
3. Энхтуяа Б., Эрдэнэцэцэг Ц., Ариунзул Г., Энхдөл Т., Даржаа Ц., “Гацууртын алтны уурхайн үүсмэл нуурын ус, тунамал хөрсний химийн шинжилгээ”, “Усны чанар-2010” эрдэм шинжилгээний бага хурал, УБ, 2009
4. Keshav P. S, Nand K., Shivesh Sh, Bioremediation: Developments, Current Practices and Perspectives, Genetic Engineering and Biotechnology Journal, Vol 3, 2010, 1-20
5. Feroze M. Ahmed, Overview of Arsenic Removal Technologies in Bangladesh and India 2002, 251-254
6. Rina Turpeinen, Interactions between metals, microbes and plants –Bioremediation of arsenic and lead contaminated soils Ph.d dissertation, 2002, 15-17
7. Арсеныг түүний коллоид уусмалын өнгөөр тодорхойлох фотоколориметрийн аргын мэдээллийн тайлан, Геологи, уул уурхайн үйлдвэрийн яам, Геологийн төв лаборатори, УБ, 1986.
8. Salmassi T.M, Venkateswaren K, Satomi M, Neelson K.H, Newman D.K, Hering J.G. (2002), *Geomicrobiology Journal*, **19**. 53-66.
9. Oremland R.S, Stoltz J.F, Hollibaugh J.T. (2004). The microbial arsenic cycle in Mono Lake, California, *FEMS Microbiology Ecology*, 48, 15-27.
10. Монгол Улсын стандарт MNS4943:2015., “Хүрээлэн буй орчинд нийлүүлэх цэвэршүүлсэн бохир ус”. Ерөнхий шаардлага., х4.
11. Монгол Улсын стандарт MNS4586:98., “Усан орчны чанарын үзүүлэлт” Улаанбаатар.: х10.