



**БОЛОВСРОЛ,
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ
ЯАМ**



**“БИОМЕТАЛЛУРГИЙН, РЕКУЛЬТИВАЦИЙН БА
БИОТҮЛШНИЙ ЭЛЕМЕНТЭЭР (БТЭ) ГҮЙДЭЛ ҮҮСГЭХ
ПРОЦЕССОД МЕТАЛЛЫН СУЛЬФИДЫН ЭРДЭСТЭЙ
АЦИТОФИЛЬ ТӨРЛИЙН МИКРООРГАНИЗМЫН
МИКРОБИОЛОГИЙН БА ЦАХИЛГААН-ХИМИЙН
ХАРИЛЦАН ҮЙЛЧЛЭХ МЕХАНИЗМЫН СУДАЛГАА”**

(2019-2022)

Төслийн удирдагч: дэд проф. Д.Эрдэнэчимэг

2023 ОН УЛААНБААТАР

ХЭРЭГЛЭЭНИЙ ШИНЖЛЭХ УХААН ИНЖЕНЕРЧЛЭЛИЙН СУРГУУЛЬ

АБА

Нууцийн зэрэглэл “Б”

Байгууллагын бүртгэл регистрийн
дугаар 9104399

Улсын бүртгэлийн гэрчилгээний
дугаар

Санхүүжүүлэгч байгууллага:

Шинжлэх Ухаан, Технологийн Сан

Захиалагч байгууллага:

Боловсрол, Шинжлэх Ухааны Яам

Тайлан өмчлөгч:

ШУТСан, ХШУИС

Гэрээний дугаар:

Шу Гх/ОХУ/-2019/08

“БИОМЕТАЛЛУРГИЙН, РЕКУЛЬТИВАЦИЙН БА БИОТҮЛШНИЙ ЭЛЕМЕНТЭЭР (БТЭ) ГҮЙДЭЛ ҮҮСГЭХ ПРОЦЕССОД МЕТАЛЛЫН СУЛЬФИДЫН ЭРДЭСТЭЙ АЦИТОФИЛЬ ТӨРЛИЙН МИКРООРГАНИЗМЫН МИКРОБИОЛОГИЙН БА ЦАХИЛГААН-ХИМИЙН ХАРИЛЦАН ҮЙЛЧЛЭХ МЕХАНИЗМЫН СУДАЛГАА”

**Сэдэвт эрдэм шинжилгээний суурь судалгааны ажлын эцсийн тайлан
(2019-2022)**

Төслийн удирдагч:

Д.ЭРДЭНЭЧИМЭГ Доктор (Ph.D)

/МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ-ийн

профессор/

2023 ОН УЛААНБААТАР

ТӨСЛИЙН ГҮЙЦЭТГЭГЧДИЙН НЭРСИЙН ЖАГСААЛТ

№	Овог нэр	Мэргэжил	Ажлын газар	Төсөлд оролцсон хэлбэр
1	Д.Эрдэнэчимэг	Химич, химийн багш	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	удирдагч
2	Р.Чинзориг	Био технологич	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	гүйцэтгэгч
3	А.Дэлгэржаргал	Хими технологич	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	гүйцэтгэгч
3	Б.Маралмаа	Хими технологич	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	гүйцэтгэгч
4	Ц.Ариунзаяа	Биологич	АУУИС-ийн харьяа ГАААИС	гүйцэтгэгч
5	Т.Бүжинлхам	Экологийн химич	Геологийн Төв Лаборатори	гүйцэтгэгч
6	Ч.Бадамгарав	Хими технологич	Геологийн Төв Лаборатори	гүйцэтгэгч
7	Б.Нэмүүлэн	Менежер	Грийн Химистри ХХК	гүйцэтгэгч

**ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД ХИЙГДСЭН ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ
ИЛТГЭЛ, БҮТЭЭЛҮҮД**

**Нэг. ХЭЛЭЛЦҮҮЛСЭН ИЛТГЭЛ, ЗОХИОН БАЙГУУУЛСАН ЭРДЭМ
ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ХУРАЛ**

А. Эрдэм шинжилгээний хуралд хэлэлцүүлсэн илтгэл:

1. Bujinkham.T, Ariunzaya.Ts, Chinzorig.R, Tsolmonbayar.B, Erdenechimeg.D, “Bioleaching of copper concentrate by indigenous isolates of iron and sulfur-oxidizing bacteria” The First International Conference on Natural and Biological Resources Technologies (ICNBRT – 2022) Ulaanbaatar, Mongolia

Хоёр. ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ӨГҮҮЛЭЛ

1. Burmaa B., Bujinkham T., Chinzorig R., Oyun B., Erdenechimeg D. “Study of ore structure and chemical composition for suitable bioleaching process”, Bulletin of ACTUAL SCIENCE, Russia, Volgograd. 2020. № 11 (40) pp 17-22.
2. Bujinkham Tuvd, Ariunzaya Tholmonbaatar, Chinzorig Radnaabazar, Tsolmonbayar Bayasaa, Kashevskii Alexei, Xueling Wu, Erdenechimeg Dolgor* "Bioleaching of copper concentrate by indigenous isolates of iron and sulfur-oxidizing bacteria from acid mine drainage" Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)Volume 42 (2023), Impact Factor: 1.903 <https://www.ijcce.ac.ir/>
3. О.Б. Калашникова, А.В. Кашевский, Н.С. Варданян, Д. Эрдэнэчимэг, Г.О. Жданова**, И.А. Топчий, О.Н. Понаморева, О.Ф. Вятчина, Д.И. Стом Ацидофильные хемолитотрофные микроорганизмы: перспективы применения в биогидрометаллургии и микробных топливных элементах, Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология 2021, Proceedings of universities. Applied chemistry and biotechnology 2021 vol. 11 no. 1
4. B.Burmaa, T.Bujinkham, R.Chinzorig, D.Erdenechimeg, “Study of the structure and composition of refractory ores”, Mongolian society of environmental engineers and professionals, THE ENVIRONMENT, 2019, Volume 1 (01).

**5. Гурав. ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД ХАМГААЛАГДСАН
МАГИСТР,
БАКАЛАВРЫН НЭГ СЭДЭВТ БҮТЭЭЛ**

№	Сэдэв	Гүйцэтгэгч	Хамгаалсан он
А. Магистрын дипломын ажил			
1	Сульфидын хүдрийг биошүлтгүйжүүлэлтийн аргаар боловсруулах судалгаа	Б.Бурмаа	2020
Б. Бакалаврын дипломын ажил			
1	Сульфидын хүдрийг биошүлтгүйжүүлэлтийн аргаар боловсруулах судалгаа	Б.Цолмонбаяр	2021
2	Сульфидын хүдрээс зэсийг биошүлтгүйжүүлэлтийн аргаар боловсруулах судалгаа	Г.Заяа	2020

Агуулга	
Зургийн жагсаалт	7
Хүснэгтийн жагсаалт	8
Товч агуулга	9
Төслийн судалгааны материал ба арга зүй	10
Судалгааны ажлын үндэслэл, шинэлэг тал, ач холбогдол	12
Судлагдсан байдал, товч түүх	12
Удиртгал	15
Судалгааны ажлын зорилго, зорилт	15
I-Р БҮЛЭГ. ХЭВЛЭЛИЙН ТОЙМ-ОНОЛЫН ХЭСЭГ	16
1.1. Биометаллургийн ерөнхий зарчим, процессын үндэс	16
1.2. Биометаллургийн үйлдвэрлэлийн шинжлэх ухааны үндэслэл	16
1.3. Тионы төрлийн бактер	17
1.4. Халькопирит эрдсийн шинж чанар	18
1.5. Эрдсийн биошүлтгүйжүүлэлтэнд нөлөөлөх хүчин зүйлс	19
1.6. Сульфидын эрдсийн микроорганизмаар уусах механизм	20
1.7. Нуруулдан шүлтгүйжүүлэлт	20
II-Р БҮЛЭГ. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ, СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ	21
2.1. Ариутгалын нөхцөл	21
2.2. Био-шүлтгүйжүүлэлт болон зэсийн шимт уусмалаас бактерийг ялгах үеийн ферро ионы агуулга тодорхойлох нь	22
2.3. Ялгасан бактерийн оролцоотой ферро ионы илүүдэлтэй болон дутагдалтай гэсэн 2 нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгаа	24
2.4. Багаж хэрэгсэл	24
III-Р БҮЛЭГ. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ	26
3.1. Зэсийн шимт уусмалаас бактерийн омгийг өсгөвөрлөх процесс	24
3.2. Цэвэр өсгөвөр гарган авах процесс	27
3.3. Өсгөвөрийг хадгалалт	32
3.4. Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх тэжээлт орчин тус бүрийн ферро ионы агуулгын өөрчлөлт	32
3.5. Ферро ионы илүүдэлтэй нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулсаны дараах цахилгаан-химийн хэмжилтийн дүн	34
3.6. Ферро ионы дутагдалтай нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулсаны дараах цахилгаан-химийн хэмжилтийн дүн	35
3.7. Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн зэсийн агуулга, рН, исэлдэн ангижрах потенциал болон ферро ионы өөрчлөлтийг харуулсан дүн	36
3.8. Ферро ионы дутагдалтай нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулсаны дараах цикл-вольтметрийн хэмжилт	37
3.9. Ферро ионы илүүдэлтэй нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулсаны дараах цикл-вольтметрийн хэмжилт	39
3.10. Бага агуулгатай хаягдал хүдрээс зэсийг био-шүлтгүйжүүлэлтийн аргаар уусмалд шилжүүлэх судалгаа	41
ДҮГНЭЛТ	48

НОМ ЗҮЙ
ХАВСРАЛТ

49

51

1. МУИС-ийн ХШУИС-ийн эрдмийн зөвлөлөөр хэлэцүүлэн дэмжсэн протокол
2. МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТэнхимийн хурлаал 2 эксперт томилсон протокол болон 2 экспертийн дүгнэлт
3. Төслийн үр дүнгийн даалгаврын жагсаалт
4. Дотоодын сэтгүүлд хэвлүүлсэн өгүүлэл:

B.Burmaa, T.Bujinlkham, R.Chinzorig, D.Erdenechimeg, "Study of the structure and composition of refractory ores", Mongolian society of environmental engineers and professionals, THE ENVIRONMENT, 2019, Volume 1 (01).

5. Олон улсын эрдэм шинжилгээний хуралд тавьсан 2 илтгэлийн хураангуй:
 1. Bujinlkham.T, Ariunzaya.Ts, Chinzorig.R, Tsolmonbayar.B, Erdenechimeg.D, "Bioleaching of copper concentrate by indigenous isolates of iron and sulfur-oxidizing bacteria" The First International Conference on Natural and Biological Resources Technologies (ICNBRT – 2022) Ulaanbaatar, Mongolia, pp.33
 2. Gereltuya G, Gerelsaikhan B, Maralmaa, Ochirkhuyg B, Erdenechimeg.D, "Oxidation study of minerals during storage and transportation of copper concentrate" The First International Conference on Natural and Biological Resources Technologies (ICNBRT – 2022) Ulaanbaatar, Mongolia, pp. 23

6. *Scopus*-д бүртгэлтэй ОХУ-ын "Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология" сэтгүүлийн өгүүлэл

О.Б. Калашникова, А.В. Кашевский, Н.С. Варданян, Д. Эрдэнэчимэг, Г.О. Жданова**, И.А. Топчий, О.Н. Понаморева, О.Ф. Вятчина, Д.И. Стом Ацидофильные хемолитотрофные микроорганизмы: перспективы применения в биогидрометаллургии и микробных топливных элементах, Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология 2021, Proceedings of universities. Applied chemistry and biotechnology 2021 vol. 11 no. 1

7. Олон улсын мэргэжлийн хянагддаг онлайн "ACTUAL SCIENCE" сэтгүүлд хэвлүүлсэн өгүүлэл:

Burmaa B., Bujinlkham T., Chinzorig R., Oyun B., Erdenechimeg D. "Study of ore structure and chemical composition for suitable bioleaching process", Bulletin of ACTUAL SCIENCE, Russia, Volgograd. 2020. № 11 (40) pp 17-22.

8. *Web of Science Group*-д бүртгэлтэй Инфакт фактор= 1,903 "Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)" сэтгүүл хэвлэгдэх эрхээ авсан, doi дугаараар хайлт хийхэд Google дээр гарч ирж байгаа.

Bujinlkham Tuvd, Ariunzaya Tholmonbaatar, Chinzorig Radnaabazar, Tsolmonbayar Bayasaa, Kashevskii Alexei, Xueling Wu, Erdenechimeg Dolgor* "Bioleaching of copper concentrate by indigenous isolates of iron and sulfur-oxidizing bacteria from acid mine drainage" Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)Volume 42 (2023), Impact Factor: 1.903

Doi: 10.30492/IJCCE.2022.554114.5351

Зургийн жагсаалт

Зураг 1. Бактерийг өсгөвөрдөх үед шингэн тэжээлийн орчинд шилжүүлэх аргачлал	10
Зураг 2. Шимт уусмалын цөөрөм	10
Зураг 1.1 Халькопирит эрдэс	18
Зураг 1.2 Халькопиритын талст бүтэц	18
Зураг 2.1 Автоклав	21
Зураг 2.2 Syringe sterile filter	21
Зураг 2.3 Clean bench	22
Зураг 2.4 UV/VIS спектрофотометр	23
Зураг 2.5 Ферро ионы хэмжилт	23
Зураг 2.6 Бактерийн оролцоотой биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгаа явуулах нөхцөл	24
Зураг 2.7 Dropsens μ - Стат маркийн Бипотенциостат/гальваностат	25
Зураг 2.8 Дуслын цахилгаан-д	25
Зураг 2.9 PHS-3BW микропроцессор	25
Зураг 2.10 Электрон микроскоп	25
Зураг 3.1 Бактерийн өсгөвөрлөтийн үеийн тэжээлт орчны өнгөний өөрчлөлт	26
Зураг 3.2 Цэвэр өсгөвөр гарган авах аргачлал	27
Зураг 3.3 Шингэн тэжээлийн орчноос хатуу тэжээлийн орчин руу шилжүүлсэний дараах үр дүн	28
Зураг 3.4 өсгөвөр-а болон өсгөвөр-b	28
Зураг 3.5 өсгөвөр-c	28
Зураг 3.6 өсгөвөр-d	28
Зураг 3.7 өсгөвөр-TF1, грам сөрөг	29
Зураг 3.8 өсгөвөр-TF2, грам эерэг	29
Зураг 3.9 өсгөвөр-SA5, грам сөрөг	30
Зураг 3.10 өсгөвөр-SA9, грам сөрөг	30
Зураг 3.11 Өсгөвөрийг тасалгааны температурт хадгалах нь	32
Зураг 3.12 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх NCIMB орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт	33
Зураг 3.13 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх 9K+C орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт	33
Зураг 3.14 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх 9K орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт	34
Зураг 3.15 Ферро ионы илүүдэлтэй(бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт	35
Зураг 3.16 Ферро ионы илүүдэлтэй(бактертай) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт	35
Зураг 3.17 Ферро ионы дутагдалтай (бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт	36

Зураг 3.18 Ферро ионы дутагдалтай(бактертай) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт	36
Зураг 3.19 Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн зэсийн агуулгын өөрчлөлт	37
Зураг 3.20 Ферро ионы дутагдалтай(бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн цикль-вольтметрийн хэмжилт	38
Зураг 3.21 Ферро ионы дутагдалтай(бактертай) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн цикль-вольтметрийн хэмжилт өөрчлөлт	38
Зураг 3.22 Ферро ионы илүүдэлтэй (бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн цикль-вольтметрийн хэмжилт	39
Зураг 3.23 Ферро ионы илүүдэлтэй (бактертай) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн цикль-вольтметрийн хэмжилт	40
Зураг 3.24 TF1 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн үр дүн	44
Зураг 3.25 TF2 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн үр дүн	45
Зураг 3.26 TF бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн нийт төмөр болон зэс авалтын үр дүн	46
Зураг 3.27 Био-шүлтгүйжүүлэлтийн хатуу үлдэгдэлд хийсэн шинжилгээний үр дүн	47

Хүснэгтийн жагсаалт

Хүснэгт 1. Туршилтанд хэрэглэсэн тэжээлийн орчин	11
Хүснэгт 2. Монгол оронд хийгдсэн биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгаанууд	13
Хүснэгт 3. Уламжлалт пирометаллургийг биошүлтгүйжүүлэлттэй харьцуулсан үзүүлэлт	14
Хүснэгт 2.2 Ариутгалын нөхцөл	21
Хүснэгт 3.1 Ес хоногийн хугацаан дахь бактерийн өсгөвөрлөлтийн үеийн рН болон исэлдэн ангижрах потенциалын үр дүн	27
Хүснэгт 3.2 Гарган авсан 4 цэвэр өсгөвөр	28
Хүснэгт 3.3 Бактерийн колони морфологийн шинжилгээний үр дүн	31
Хүснэгт 3.4 Петрографийн шинжилгээний үр дүн	42
Хүснэгт 3.5 Минераграфийн шинжилгээний үр дүн	43

1. Товч агуулга

Сульфидын хүдрийг хайлуулж боловсруулахад их хэмжээний хортой хийнүүд ялгаруулдагаас гадна ус болон цахилгааны зарцуулалт их зэрэг эдийн засгийн хувьд өртөг өндөртэй байгаа учир зэсийн сульфидын хүдрийн баяжмалыг биошүлтгүйжүүлэлтийн аргаар боловсруулах судалгаа явуулсан бөгөөд тус ажлын хүрээнд дараах хүчин зүйлүүдийн хамаарлын судалгааг хийж гүйцэтгэв. Үүнд:

1. *Микроорганизмыг өсгөвөрлөх*
2. *Бактерийн цэвэр өсгөвөр гарган авах*
3. *Цэвэр өсгөвөрөө хадгалах*
4. *Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн исэлдэн ангижрах потенциалыг хэмжих*
5. *Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн рН-ийг хэмжих*
6. *Ферро ионы өөрчлөлтийг тодорхойлох*
7. *Уусмалд шилжиж буй зэс болон төмрийн хэмжээг тодорхойлох*
8. *Электрохимийн хэмжилт хийх*
9. *Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн урвалын механизмыг тогтоох ажлууд багтлаа*

Төслийн суурь судалгааны ажлын үр дүнд нуруулдан шүлтгүйжүүлэлтийн шимт уусмалаас микроорганизмын 4 өсгөвөр ялгаж эсийн хэлбэр зүйг тогтооход Өсгөвөр TF1 Грам сөрөг зуувин эс, өсгөвөр TF2 Грам сөрөг зуувин, өсгөвөр SA5 Грамаар будагдаагүй дугариг, өсгөвөр SA9 Грам сөрөг дугариг бүтэцтэй байлаа. Өсгөвөр TF бактерүүдийг ашиглан Fe^{2+} ионы илүүдэлтэй болон дутуу гэсэн 2 нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулахад Fe^{2+} ионы дутуу үед биошүлтгүйжүүлэлт маш идэвхигүй байгаа нь ажиглагдсан. Энэ нь өсгөвөр с $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ урвалын дүнд үүсэх энергиэр амьдардаг төмөр исэлдүүлэгч бактери болох нь тогтоогдсон. Зэсийн сульфидын хүдрийн биошүлтгүйжүүлэлтийн процесс дараах бүдүүвчийн дагуу явагдаж байгааг цахилгаан-н химийн аргаар тогтоолоо: $CuFeS_2 \rightarrow Cu_xS$ (Cu_5FeS_4 ; Cu_9FeS_{16}) $\rightarrow Cu^{2+} + Fe^{3+}$

Түлхүүр үг: *Халькопирит, пирит, нуруулдан шүлтгүйжүүлэлт, шимт уусмал, бактери*

2. Төслийн судалгааны материал ба арга зүй

Гидрометаллургийн үйлдвэрийн нуруулдан шүлтгүйжүүлэлтийн шимт уусмалыг бактери өсгөвөрлөх дээж болгон авсан бөгөөд бактери өсгөвөрлөхдөө шингэн тэжээлийн орчинд 30°C температурт, 110 эрг/мин сэгсрэх хурдтайгаар инкубатор сэгсрэгчинд 3 хоног өсгөвөрлөж, өсгөврөөс 10мл-ийг таслан авах, тунгаах, шууд гэсэн нөхцөлөөр дахин шингэн тэжээлийн орчинд шилжүүлэх замаар 3 удаа давтан өсгөвөрлөсний дараа хатуу тэжээлийн орчин дээр суулгаж цэвэр өсгөврийг ялган авсан (Зураг 1).



Зураг 1. Бактерийг өсгөвөрлөх үед шингэн тэжээлт орчинд шилжүүлэх аргачлал

Бактерийг өсгөвөрлөх процесс NCIMB болон 9К+С тэжээлт орчнуудад дээрх бүдүүвчийн дагуу ижил явагдсан.



Зураг 2. Шимт уусмалын цөөрөм

Зураг 2-т бичил организмыг өсгөвөрлөх зорилгоор дээж авсан шимт уусмалын цөөрмийг үзүүлэв.

Бактерийг гурван төрлийн тэжээлийн орчинд өсгөвөрлөсөн бөгөөд доорх хүснэгтэнд харуулав (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Туршилтанд хэрэглэсэн тэжээлийн орчин [12]

Тэжээлийн орчны нэр	Орчны найрлага, г	
9K тэжээлийн орчин	Уусмал А	
	(NH ₄) ₂ SO ₄	2.4г
	KCl	0.08г
	K ₂ HPO ₄	0.4г
	MgSO ₄	0.4г
	Ca(NO ₃) ₂	0.008г
	H ₂ O-DW	560 мл
Уусмал Б		
FeSO ₄ * 7H ₂ O	36.376г	
H ₂ SO ₄	8мл	
H ₂ O-DW	240мл	
9K+C тэжээлийн орчин (+glucose; peptone)	Уусмал А	
	(NH ₄) ₂ SO ₄	2.4г
	KCl	0.08г
	K ₂ HPO ₄	0.4г
	MgSO ₄	0.4г
	Ca(NO ₃) ₂	0.008г
	H ₂ O-DW	560мл
Уусмал Б		
FeSO ₄ * 7H ₂ O	35.376г	
H ₂ SO ₄	8мл	
H ₂ O-DW	240мл	
NCIMB тэжээлийн орчин	Уусмал А	
	(NH ₄) ₂ SO ₄	0.4г
	CaCl ₂	0.4г
	KH ₂ PO ₄	0.4г
	MgSO ₄	0.5г
	H ₂ O-DW	880мл
	Уусмал Б	
H ₂ SO ₄	10мл	
FeSO ₄ * 7H ₂ O	33.4г	
H ₂ O-DW	100мл	

Ариутгалын нөхцөл

Микроорганизмтай ажиллах учир туршилтын өмнө шил сав суулга болон уусмалуудаа заавал ариутгасан байх ёстой ба автоклавыг туршилт бүр дээр ашигласан бөгөөд уусмал В-г автоклавт ариутгахад Fe²⁺ нь Fe³⁺ -руу шилжин, тунадас үүсч

бидний туршилтанд сөрөг нөлөө үзүүлсэн тул 0.2 мкм диаметртэй сүвэрхэг шүүлтүүрээр шүүж ариун чанарыг нь хадгалсан.

Төслийн үр дүнгийн шинэлэг буюу дэвшилттэй тал:

Уурхайн хүчиллэг шимт уусмалаас хүхэр болон төмрийг исэлдүүлэгч тионы төрлийн нутгийн омгийн бактерийг дан-цэвэрээр нь ялган авч, бактерийг таних 16S rRNA гений дарааллыг тогтоож бактерийн гений өгөгдлийн сангаар дамжуулан филогенетикийн мод байгуулж тэдгээрийн омог, төрөл зүйлийг тодорхойлсон. Мөн боловсруулахад хэцүү төрлийн хүдэр бүхий зэсийн баяжмалыг биошүлтгүйжүүлэх судалгааг ялган авсан дан бактерүүдээр харьцуулсан судалгаа явуулсан ба тэдгээрийн ажиллах механизмыг цахилгаан-химийн аргаар тогтоосонд бидний энэхүү төслийн ажлын шинэлэг тал оршино.

Зэсийн хүдрийг уламжлалт флотацын аргаар хөвүүлэн баяжуулан улмаар баяжмалыг пирометаллургийн арга технологиор боловсруулдаг. Флотацын аргаар баяжуулах боломжгүй ядуу исэлдсэн болон сульфидын хүдэр болон боловсруулахад хэцүү төрлийн зэсийн баяжмалыг төмөр болон хүхэр исэлдүүлэгч бактери ашиглан биошүлтгүйжүүлэх аргаар зэсийг хүхрийн хүчлээр уусмалд шилжүүлэн улмаар цахилгаан химийн аргаар зэсийг катод дээр ялгах технологи эрчимтэй хөгжиж байна. Энэхүү технологи нь зэсийн нөөц багасаж, хаягдал хүдэр ихэссэн, ашигт малтмалын орд газруудын хүдрийн чулуулаг дахь үндсэн элементийн агуулга бага ядуу ордууд дийлэнх хувийг эзэлж буй манай орны нөхцөлд эдийн засгийн хувьд ашигтай, үр өгөөжтэй, хүрээлэн буй орчинд ээлтэй бөгөөд энгийн хямд аргаар хүдэр хаягдал, баяжмал зэрэг түүхий эдүүдээс өнгөт металлыг хаягдалгүй бүрэн ашиглах боломжтой арга юм. Эдгээр ордуудыг эдийн засгийн эргэлтэд оруулахдаа биошүлтгүйжүүлэлтийн технологийг ашиглах нь усны нөөц болон эрчим хүчний хомсдолтой байдаг манай оронд тохирсон, шинжлэх ухааны шинэлэг, бүтээлч ажил юм.

Судлагдсан байдал, товч түүх

Эрдэс хүдрийг микроорганизмын тусламжтайгаар боловсруулах био-металлургийн салбар нь хорьдугаар зууны эхэн үеэс судлагдан, өнөөг хүртэл судалгаа эрчимтэй хөгжиж байна.

Одоо үед био-металлургийн салбар зэс, цайр, уран зэрэг бусад өнгөт, үнэт, хүнд металлуудыг овоолгоор болон газар доогуур цооног үүсгэн, уусгах процессын судалгаа нэлээдгүй хийгдсэн ба тус технологи нь үйлдвэрийн хэмжээнд Чили, Перу, АНУ, Болгар, Хятад зэрэг улсуудад ядуу агуулгатай хүдэр, хаягдал, түүхий эдээс металлыг гарган авахад өргөн хэрэглэгдэж байгаа юм.

Ацидофиль аэробны ба факультатив аэроб микроорганизмууд нь тухайлбал Fe(II) ба хүхрийн нэгдлүүдийг исэлдүүлэх зарим тохиолдолд органик нэгдлүүдийг хоргүйжүүлэн зайлуулах боломжтой. Микроорганизмын тусламжтай цахилгаан-энерги үйлдвэрлэх биологийн арга хөгжиж эхэлж байгаа бөгөөд орчин үед ус цэвэрлэх технологид, ялангуяа металлургийн үйлдвэрийн хортой хаягдал усыг цэвэрлэхэд

ихээр хэрэглэгддэг арга юм. Энэ төрлийн микроорганизмуудыг сульфидын хүдэр болон баяжмалыг исэлдүүлэн уусмалд шилжүүлэн боловсруулахад өргөн хэрэглэгддэг. Ялангуяа зэс, уран болон алт агуулсан баяжмалыг био-гидрометаллургийн аргаар боловсруулахад түлхүү хэрэглэгддэг арга юм.

Дараах хүснэгтэд урьд өмнө нь монгол оронд судлагдаж байсан био-шүлтгүйжүүлэлтийн ажлуудыг харууллаа.

Хүснэгт 2. Монгол оронд хийгдсэн биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгаанууд

Он	Судалсан эрдэмтэд	Судалсан сэдэв
1999	О.Отгонтуул, С.Даваасүрэн	Халькопиритын өндөр агуулгатай хүдэр болон баяжмалын био-уусалтын судалгаа
2002	А.Алтангэрэл, С.Даваасүрэн	Сульфидын эрдсийн био-уусалтын үеийн цахилгаан химийн судалгаа
2006	Н. Одончимэг, С.Даваасүрэн	Дөвөнтийн алтны хаягдал хүдрийн био-уусалтыг Оюу-толгойн хүдрийн био-уусалттай харьцуулсан судалгаа
2007	А. Алтангэрэл, Д.Дорж	Өндөр, нам температурт CuFeS_2 -ын баяжмалын био исэлдэлтийн судалгаа
2012	Д.Баттөгс	Зэсийн ядуу хүдрийн био-уусалтыг химийн катализаторын оролцоотой хурдасгах боломжийн судалгаа
2019	Д.Нямжаргал, С. Даваасүрэн, А.Алтангэрэл	Эрдэнэтийн зэсийн ядуу хүдэр, зэсийн үндсэн эрдсүүдийн биологи-химийн хавсарсан уусалтын судалгаа

Дээрх судалгаанууд боловсруулахад хэцүү төрлийн халькопирит зэрэг анхдагч сульфидын хүдрийг болон зарим ордуудын хүдрүүдийг био-шүлтгүйжүүлэх харьцуулсан судалгааг явуулсан байна. Био-исэлдэлтийн цахилгаан химийн судалгаа хийсэн байна.

Тус био процесс нь удаан явагддаг процесс учраас түүнийг хурдасгах нь үйлдвэрлэлд нэн шаардлагатай болоод байгаа юм. Зарим хүдрийн био-исэлдэлтийн процессын кинетикийн судалгаа хийгдсэн байна.

Зэсийн ордын ашиглалтын бүсэд зэсийн сульфидын эрдсүүдийн хэмжээ ордын гүн рүү өөрчлөгдөн улмаар химийн хувьд муу уусдаг эрдэс давамгайлах болж, тэр хэмжээгээр ядуу хүдрийн овоолго улам ихсэж байгаа энэ үед үндсэн элементийн агуулга багатай зэсийн ядуу хүдрийн био-уусалтын мөн чанар болоод урвалын механизмыг тогтоож, био-шүлтгүйжүүлэлтийн аргаар ядуу хүдрийг иж бүрэн, эдийн

засгийн хувьд ашигтай, байгаль орчинд ээлтэй байдлаар боловсруулах зайлшгүй шаардлагатай болж байна.

Хүснэгт 3. Уламжлалт пирометаллургийг биошүлтгүйжүүлэлттэй харьцуулсан үзүүлэлт [3]

Технологи	Цахилгаан зарцуулалт, кВт/цаг	Нүүр зарцуулалт, кг	Усны зарцуулалт, м ³	CO ₂ ялгаруулалт, кг	SO ₂ ялгаруулалт, кг
Биошүлтгүйжүүлэлт	3915.14	1402.22	21.76	4090.57	11.93
Пирометаллурги	8706.9	3656.24	168.09	10909.29	79.04
Үр дүнтэй байдал	44.97%	38.35%	12.85%	37.50%	15.09%

Уламжлалт пиро металлургийг био-шүлтгүйжүүлэлттэй харьцуулсан дээрх хүснэгтээс бид био-шүлтгүйжүүлэлт нь эдийн засгийн хувьд хэмнэлттэй, байгаль орчинд ээлтэй, хаягдал боловсруулах боломжтой зэрэг давуу талуудыг нь харагдаж байна. Био-шүлтгүйжүүлэлтийн технологи нь зэс боловсруулах уламжлалт пирометаллургийн аргаас цахилгаан зарцуулалтаар 44,97% -ийн хэмнэлттэй ажиллах боломжтой технологи юм.

УДИРТГАЛ

Дэлхийн улс гүрнүүдийн хөгжил дэвшилд металлын хэрэгцээ байнга өсөн нэмэгдэж байгаатай холбогдон уул уурхайн салбарт эрдэс түүхий эдийн баялгаа хэрхэн олдворлож, ашиглаж байгаа нь тухайн улс орны шинжлэх ухаан, технологийн дэвшлийн түвшин тодорхойлох нэн чухал үзүүлэлт болдог.

Дэлхийн хэмжээнд боловсруулж буй нийт цэвэр зэс үйлдвэрлэлийн 80%-ийг сульфидын нэгдлүүдээс пирометаллурги болон гидрометаллургийн аргаар гарган авдаг.

Пирометаллургийн арга нь сульфидын ба исэлдсэн хүдэр, мөн холимог хүдрээс зэсийг гаргаж авахад тохиромжтой арга бөгөөд одоо үед үйлдвэрлэж байгаа бүх зэсийн 90%-ийг пирометаллургийн аргаар гарган авч байна. Зэсийн хүдрийг хайлуулж боловсруулахад их хэмжээний хортой хийнүүд ялгаруулдгаас гадна ус болон цахилгааны зарцуулалт зэрэг эдийн засгийн хувьд өртөг өндөртэй процесс юм [1].

Гидрометаллургийн хувьд эрдэс хүдрийг усан уусмалд урвалжаар үйлчлэн ялган авч байгаа металлургийн процесс бөгөөд өндөр цэвэршилттэй металл гарган авч болдог арга юм. Мөн зарим эрдсүүдийн гадаргын шинж чанар ойролцоо ба байгаль дээр ассоциаци буюу хоёр фаз нь үргэлжилсэн эвтектик бүтэцтэй байх нь элбэг бөгөөд флотацын процессын үед урвалж бодис хүдрийн гүнд хүрч чадахгүй флотацын процессыг дутуу явуулах зэрэг сөрөг нөлөө үзүүлдэг байна [2].

Ийм учраас дээрх асуудлуудыг цогцоор нь шийдэх биометаллургийн салбар шинжлэх ухаан эрчимтэй хөгжиж байгаа юм. Учир нь тус технологийг уламжлалт аргаар боловсруулах боломжгүй, химийн найрлагын хувьд нэлээд ядуу, нарийн бүтэцтэй хүдрийг боловсруулахад тохиромжтой байгаа нь тус аргын давуу талыг илэрхийлж байна.

Судалгааны ажлын зорилго, зорилт

Энэхүү төслөөр геохимийн процесс ба ацитофил төрлийн микроорганизмын үйлчлэлээр сульфидын хүдрийн эрдэс болон устай харилцан үйлчлэх урвалын механизмыг тодорхойлох, зэсийн агуулгатай үйлдвэрийн хаягдал болон бага агуулгатай хүдрээс металлыг ялгах, хүрээлэн буй орчинд ээлтэй био-гидрометаллургийн технологийн судалгаа хийгдэх зорилго тавин ажилласан юм. Энэхүү зорилгыг биелүүлэхийн тулд дараах зорилтуудыг тавин ажилласан. Үүнд:

- Зэсийн шимт уусмалаас бактерийн омгийг өсгөвөрлөж, цэвэр өсгөвөр ялгах
- Өсгөвөрлөсөн бактерийн амьдрах нөхцөл дэх төмрийн ионы нөлөөллийг тодорхойлох
- Ялгасан бактерийн оролцоотой биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгааг сэгсрэгчтэй колбонд явуулах
- Ялгасан бактерийн оролцоотой биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгааг цахилгаан-химийн аргаар явуулах

БҮЛЭГ I ОНОЛЫН ХЭСЭГ

I БҮЛЭГ. ХЭВЛЭЛИЙН ТОЙМ-ОНОЛЫН ХЭСЭГ

1.1 БИОМЕТАЛЛУРГИЙН ЕРӨНХИЙ ЗАРЧИМ, ПРОЦЕССЫН ҮНДЭС

Хүдрээс металлыг шүлтгүйжүүлэх технологи, сульфидын хүдрийг боловсруулах зэрэг процесст чухал ач холбогдолтой Fe(III) сульфатыг гаргаж авах эх үүсвэр болох Thiobacillus-ыг ашиглах тухай анхны патентыг 1958 онд Америк улс авч түүнийгээ Бингамд үйлдвэрийн нөхцөлд хэрэгжүүлсэн байна [4].

Металлургийн салбарт биометаллургийн үйлдвэрлэлийн гол ач холбогдолыг дараах байдлаар тодорхойлдог [5].

- *Өнгөт төмөрлөгийн хүдэр дэх бага агуулгатай үндсэн элементийг уусгахад биошүлтгүйжүүлэлт нь сонгомол үйлчилгээтэй, тус процессын явцад металл авалт тасралтгүй өсөн нэмэгдэж байдаг.*
- *Бага агуулгатай хүдрээс металлыг хаягдалгүй бүрэн ашиглах боломжтой.*

Орос улсад эрдэмтэн Голомзик, Нагирняк, Каравайко нар 1964 онд Дегтярский уурхайд газар доогуур биошүлтгүйжүүлэх замаар зэсийг боловсруулах үйлдвэрийн туршилтыг анх удаа явуулжээ.

Биометаллургийн ерөнхий зарчим:

Металлын сульфидын уусдаггүй нэгдлүүдийг тионы бактериар уусдаг сульфат хэлбэрт шилжүүлж, дараа нь уусмалаас металлыг дангаар нь ялган авах зарчим дээр биометаллургийн арга үндэслэгддэг.

Биометаллургийн технологи нь дараах гурван үндсэн шатаас тогтоно.

- *Бактерийн оролцоотойгоор эрдэс хүдрийг уусгах*
- *Уусмалаас металлыг уламжлалт аргуудаар ялгах*
- *Хаягдал уусмалыг нөхөн сэргээж дахин ашиглах*

1.2 БИОМЕТАЛЛУРГИЙН ҮЙЛДВЭРЛЭЛИЙН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ ҮНДЭСЛЭЛ

Биометаллургийн үйлдвэрлэлийн шинжлэх ухааны үндэслэлийг тодорхойлбол:

- *Үйлдвэрлэлийн ач холбогдолтой бактериуд нь хүхэр агуулсан буюу нэн ялангуяа сульфидын ямар ч нэгдлийг хүчтэй исэлдүүлэн сульфат хэлбэрт шилжүүлдэг.*
- *Зэс уусалт явагдах хамгийн тохиромжтой уусмалын орчин рН 2.0-3.5 байх нь бактерийн амьдрах идэвхитэй байх орчинг бүрдүүлдэг төдийгүй, энэ орчин нь биометаллургийн үйлдвэрлэлийг тасралтгүй явуулах нөхцөл болдог байна [5].*

Америкийн эрдэмтэн Г.Д.Силлявин биоуусалтыг явуулахад анхаарах хэдэн зүйл байдгийг заажээ. Үүнд:

- *Биоуусмал нь хүдэр дэх зөвхөн сульфидын нэгдэлд үйлчилнэ.*
- *Эрдсийн биоуусалт нь химийн урвалын дүнд явагдана.*
- *Металл авалт зөвхөн ууссан металлын хэмжээгээр тодорхойлогдоно.*
- *Ууссан металлыг ялгаж авахад маш хялбархан нэгдлийг үүсгэсэн байх шаардлагатай.*

Г.Д.Силлявин эрдсийн исэлдэлтэнд хүхрийн хүчлийн гүйцэтгэх үүрэг асар их болохыг онцлон тэмдэглэсэн бөгөөд хүчиллэг орчинд сульфидын эрдэс агаарын нөлөөгөөр задран хүхрийн хүчлийг их хэмжээгээр үүсгэж хүдрийн уусалтыг мэдэгдэхүйц ихэсгэдэг болохыг тайлбарлсан байдаг.

1.3 ТИОНЫ ТӨРЛИЙН БАКТЕР

Сульфидын эрдсийн оронт торыг эвдэх чадвартай олон төрлийн бактериудыг байгаль дээрх баяжуулах газар болон үйлдвэрийн баяжуулалтын хэсгээс тусгаарлан авч хэрэглэж байна.

Эдгээрээс биошүлтгүйжүүлэлтийн үйлдвэрлэлд хамгийн их хэрэглэгддэг микроорганизм бол тионы төрлийн бактериуд юм. Эдгээр нь хүхэр болон төмөр исэлдүүлэх чадвартай бактериуд.

Тионы төрлийн бактериуд төмөр(II)-г төмөр(III), хүхрийг хүхрийн хүчил болтол исэлдүүлдэг буюу хүчиллэг орчинд амьдрах чадвартай, хүчилтөрөгчөөр амьсгалдаг хөндий биетүүд бөгөөд биометаллургит чухал ач холбогдолтой. Тионы бактериуд нь гучаад төрлийн сульфидын эрдсийг исэлдүүлдэг байна [5].

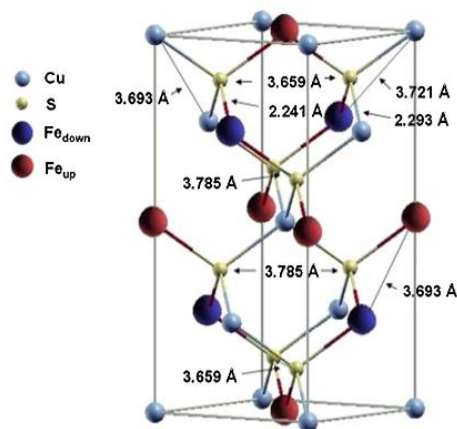
Сульфидын хүдрийн орд газар болон хүдрийн гүний усанд хийсэн микробиологийн судалгааны үр дүнд сульфидын уусах, исэлдэх процессыг хурдасгах үйлчилгээтэй тионы төрлийн бактериуд амьдардаг болохыг тогтоосон байдаг.

Эрдэмтэн Колмер болон Хинкель нар гүний уснаас хүхрийг исэлдүүлэгч бактерийг ялгаснаар төмөрлөгийн үйлдвэрлэлд бичил биетнийг катализатор болгон ашиглаж болох тухай санааг анх дэвшүүлжээ [6].

1.4 ХАЛЬКОПИРИТ ЭРДСИЙН ШИНЖ ЧАНАР



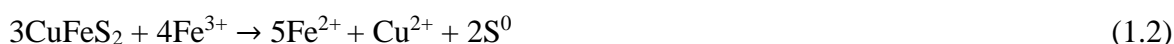
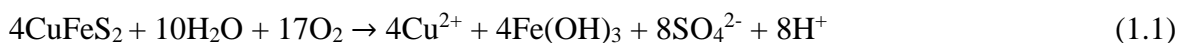
Зураг 1.1 Халькопирит эрдэс



Зураг 1.2 Халькопиритын талст бүтэц

Халькопирит (CuFeS_2) нь зэсийн хүдрийн хамгийн түгээмэл эрдэс бөгөөд дэлхий нийтийн зэс үйлдвэрлэлийн чухал эх үүсвэр юм. Дэлхий дээрх нийт зэсийн нөөцийн 70% нь халькопирит бөгөөд халькопирит нь бүтцийн конфигурацийн хувьд хамгийн тогтвортой нь ба уусалтын процесст орохдоо хэцүү эрдэст тооцогддог. Халькопирит нь анхдагч сульфидын хүдрийн бүсэд орших бөгөөд 1-5 км-ийн гүнд, 2000-3000 бар даралтад, 200-600°C-д үүсдэг байна. Түүний химийн найрлагад Cu 34.37%, Fe 30.54%, S 34.9% байдаг ба хольц байдлаар Ag, Au, Ti, Se ордог.

Халькопирит тетрагональ талст оронг торттой, хүхрийн ион бүр нь тетраэдрийн буланд байрлах зэс ба төмрийн хүрээлүүлсэн дотоод бүтэцтэй. Физик шинжийн хувьд гуулин шар өнгөтэй, шар ногоовтор зураастай, металл гялбаатай, бутрамтгай, тэгш биш хагаралтай, призмийн дагуу муу хуваагдалтай, цахилгаан муу дамжуулдаг, хатуулаг 3-4, нягт 4.1-4.3 г/см³ байдаг. Халькопирит, пирит, пирротин, сфалерит, тетраэдрит зэрэг эрдэстэй ассоциаци үүсгэж байдаг[7].



Халькопирит нь тэгшитгэл (1.1) – ийн дагуу хүчилтөрөгчийн нөлөөгөөр төмрийн гидроксид болон сульфат болон бүрэн исэлддэг. Мөн ферро ион, элемент хүхрийн бактерийн исэлдэлт [урвал (1.3), (1.4)] нь уусмалыг хүчиллэгжүүлэх, хүхрийг задлах, ферри ионыг үүсгэх замаар халькопиритийн уусалтыг дэмждэг. Ферро ионы исэлдэлтээр үүссэн ферри ион нь тэгшитгэл (1.2) дэх урвалын дагуу халькопиритийг шууд бусаар исэлдүүлнэ. Бактерийн нөлөөгөөр ферри ионы концентраци өсөхийн сул тал нь тэгшитгэл (1.5) – ийн дагуу бараг уусдаггүй төмрийн гидроксид, оксигидроксид, жарозит гэх мэт төмрийн тунадасууд үүсдэг бөгөөд эдгээр биошүлтгүйжүүлэлтийн үед идэвхигүй давхарга үүсгэж урвалын хурдыг удаашруулах сул талтай [7].

1.5 ЭРДСИЙН БИОШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТЭНД НӨЛӨӨЛӨХ ХҮЧИН ЗҮЙЛС

Эрдсийг бактериар уусгахын өмнө эрдсийн найрлагыг зөв тогтоох, тэжээлт орчин дахь элементийн концентраци, нэгж эзлэхүүн дэх бактерийн эсийн тоог тодорхойлохоос гадна эрдсийг бактери дасан зохицуулах, улсмаар эрдсийн нунтаглалт, хатуу шингэн фазын харьцаа (зутангийн нягт), рН болон температурыг сонгох зэрэг нь туршилтын дүнд маш их ач холбогдолтой нөлөө бүхий үзүүлэлтүүд юм. Эрдсийн биошүлтгүйжүүлэлтэнд дараах хүчин зүйлс нөлөөлдөг [8].

- *Температурын нөлөө*

Эрдсийн биошүлтгүйжүүлэлтэнд орчны температур их нөлөөтэй. Жишээ нь: халькопирит 20-35⁰С, халькозин 25⁰С орчим уусалт маш сайн явагддаг. Ийд сульфидын биошүлтгүйжүүлэлтэнд тохиромжтой температур 20-30⁰С байна [9].

- *Кристалл орон торын энерги*

Атом ионуудын хоорондох холбооны хүчээр тодорхойлогдох ба сульфидын эрдсийн тогтворжилтыг харуулах хэмжигдэхүүн бөгөөд талстыг эдвэх процессын ажилд зарцуулагдах энерги гэж ойлгож болно. Өөрөөр хэлбэл талст орон торын энерги багатай сульфидын эрдсүүд илүү хурдан исэлдэнэ. Жишээ нь: халькопиритын(CuFeS₂) талст орон торын энерги 2087кЖ/моль, халькозин(Cu₂S) 653кЖ/моль, ковеллин(CuS) 1485кЖ/моль байдаг [10].

- *Хатуу шингэн фазын харьцаа (Зутангийн нягт)*

Аливаа хатуу биеийн уусалтын хурдад нөлөөлөх хүчин зүйлийн нэг нь хатуу шингэн фазын харьцаа юм. Энэ харьцааг нарийн зөв тогтоох нь шүлтгүйжүүлэлтийн үед металлын уусалт, түүний гарцад мэдрэгдэхүйц нөлөө үзүүлдэг болох нь тогтоогдсон. Хэрэв хатуу шингэн фазын харьцаа зохистой биш байхад металл ионы агуулга ихсэж уусмалд бактерийн амьдрах таатай орчин алдагдаж уусалтын явцаг уудаашруулах боломжтой. Иймд хатуу шингэн фазын харьцааг зөв сонгох нь маш чухал юм.

- *Эрдсийн нунтаглалт*

Сульфидын эрдсийн бактерийн исэлдэлтэнд тэдгээрийн урвалд орох талбай их нөлөөтэй. Эрдсийн жижиг хэсгийн гадаргуугийн талбайн нийлбэр ихсэхэд исэлдэх хурд ихсэх ба биошүлтгүйжүүлэлтийн үед эрдсийн нунтаглалтын хэмжээ 0.1-0.05мм байх нь тохиромжтой.

- *Орчин*

Микроорганизмын эс хуваагдалд, эсийн амьдрах орчинд шаардлагатай тодорхой химийн бодисууд байдаг. 9К тэжээлийн орчны бүрэлдэхүүн дэх давснуудын агуулга тодорхой түвшинээс ихсэх тохиолдолд микроорганизм болоод биошүлтгүйжүүлэлтийн процесст сөрөг нөлөө авчирна. Биошүлтгүйжүүлэлтийн үед орчны хүчиллэг чанар их нөлөөтэй. Учир нь биоуусалтанд катализатор болдог микроорганизмууд нь хүчиллэг орчинд эрдсийн уусалтын механизмд нөлөөлөх чадвартай байдаг.

1.6 СУЛЬФИДЫН ЭРДСИЙН МИКРООРГАНИЗМААР УУСАХ МЕХАНИЗМ

Биометаллургийн үйлдвэрлэл амжилттай хөгжих нэг үндэс нь өнгөт металлын сульфидын эрдсүүд нь микроорганизмын оролцоотойгоор хэрхэн исэлдэж тэдгээрийн нөлөөгөөр биологийн идэвхит уусмалд ямар замаар уусдаг болохыг нарийвчилан судлахад оршино.

Хатуу биеийн гадаргуу дээр микроорганизмууд бөөгнөрөн хуримтлагдсанаар эрдсийн физик химийн шинж чанарыг өөрчлөн улмаар химийн найрлаганд өөрчлөлт оруулдаг байна. Энэ өөрчлөлтийн үед эрдсийн цахилгаан-дын потенциал буурч, орчны исэлдэн ангижрах потенциал өсдөг. Ингэснээр хатуу шингэн фазын систем нь исэлдэн ангижрах урвал явагдах нөхцөл бүрддэг ба энэ тохиолдолд эрдэс нь анод болж хурдан исэлдэж цахилгаан-ноо алддаг [11]. Харин цахилгаан-н акцептор нь комплекс нэгдэл үүсгэгч, металлын ионуудыг агуулсан уураг рустицианин байх бөгөөд рустицианин нь цитоплазмын мембраны гадаргуу дээр байдаг учир орчинтой шууд холбоотой байна. Ийм учир төмрийн(II) ион исэлдэж төмрийн(III) ион болох үед ялгаран гарсан цахилгаан-н нь цитохромын амьсгалын явцад энзимүүдэд шилждэг байна. Цитохром нь эсийн амьсгалах процесст цахилгаан-н зөөгч болдог. Эсийн амьсгалын үед цахилгаан-ны шилжилт болох тэр үед исэлдэн ангижрах урвал явагдана.

1.7 НУРУУЛДАН ШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ

Энэхүү аргаар исэлдсэн болон сульфидын зэрэг бүх төрлийн хүдрүүд, ялангуяа боловсруулахад хэцүү төрлийн сульфидын хүдрүүдээс шүлтгүйжүүлэлт явуулахад хэрэглэж байгаа бөгөөд бага агуулгатай хүдрийг боловсруулахад илүү тохиромжтой. Нуруулдан шүлтгүйжүүлэлтийн үед хүдрийг 5-20 мм хэмжээгээр жижиглээд (заримдаа 100 мм) тусгай бэлдсэн талбай дээр (ус нэвтэрдэггүй материалаар бүрсэн) хүдрээ нуруулдан овоолно. Нуруулдсан хүдрийн өндөр 3-15 м, нийт жин нь 100-120 мян.тн тус тус байх ба 1 м^3 талбайтай овоолгод $0.15 - 3 \text{ м}^3 \text{ H}_2\text{SO}_4$ уусмал зарцуулагдахаар шүршинэ [2].

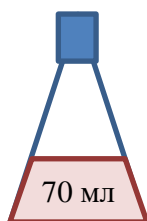
II БҮЛЭГ. ТУРШИЛТЫН ХЭСЭГ, СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

2.1 БАКТЕРИ ӨСГӨВӨРЛӨЛТИЙН АРИУТГАЛЫН НӨХЦӨЛ

Микроорганизмтай ажиллах учир туршилтын өмнө шил сав суулга болон уусмалуудаа заавал ариутгасан байх ёстой ба автоклавыг туршилт бүр дээр ашигласан бөгөөд уусмал В-г автоклавт ариутгахад тунадас үүсч бидний туршилтад сөрөг нөлөө үзүүлсэн тул 0.2 мкм диаметртэй сүвэрхэг шүүлтүүрээр шүүж ариун чанарыг нь хадгалсан (Зураг 2.1; 2.2).

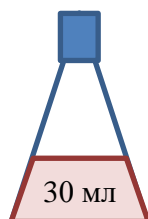
Уусмал А болон бусад шил сав суулга
Автоклавт:

- Температур=121°C
- Даралт=1атм
- Хугацаа=15мин



Зураг 2.1 Автоклав

Уусмал В
Syringe sterile filter 0.2мкм ашиглан шүүнэ



Зураг 2.2 Syringe sterile filter



Зураг 2.3 Ажлын цэвэр-ариун тавцан(Clean bench)

Микроорганизмтай харьцаж байгаа үеийн бүхий л туршилтуудаа хэт ягаан туяагаар ариутгадаг Clean bench дотор явуулсан ба энэ нь бидний өсгөвөрлөж буй бактери өөр зүйлсээр бохирдохгүй байх эрсдэлээс сэргийлж байна (Зураг 2.3).

2.2 БИОШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ БОЛОН ЗЭСИЙН ШИМТ УУСМАЛААС БАКТЕРИЙГ ЯЛГАХ ҮЕИЙН ФЕРРО(Fe^{2+}) ИОНЫ АГУУЛГА ТОДОРХОЙЛОХ

Шимт уусмалаас бактерийг ялгах процессын үед Fe^{2+} агуулга маш чухал байдаг учир түүнийг алдаагүй зөв хэмжихийн тулд нарийвчлал сайтай багаж дээр туршилт явуулах шаардлага гарсан бөгөөд зураг 2.5-т харуулсан UV/VIS спектрофотометр багажийг хэрэглэсэн.

Уг аргын үндэс нь 1,10-фенантролинтай хоёр валенттай төмөр өнгөт комплекс нэгдэл үүсгэдэгт үндэслэгдэнэ. Энэ арга нь уусмал дахь $Fe(II)$ – ийн 0,05-25% хүртэлх агуулгыг тодорхойлох боломжтой.

Багаж хэрэгсэл, урвалж бодис, материал

- Натрийн тригидрат ацетат ($C_2H_3OONa \cdot 3H_2O$)
- Мөсөн цууны хүчил (CH_3COOH)
- Фенонтолин ($C_{12}H_8N_2H_2O$)
- Морын давс ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot H_2O$)
- UV-Vis Cary 60 спектрофотометр
- Стандарт уусмалууд - Төмрийн 10 мг/л буюу 10 ppm –ийн стандарт уусмалыг морын давснаас ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) бэлтгэн, шаардлагатай уусмалуудыг шингэлж хэрэглэнэ.
- Буфер уусмал – натрийн ацетатын $pH = 4.5$ буфер уусмал бэлтгэнэ.

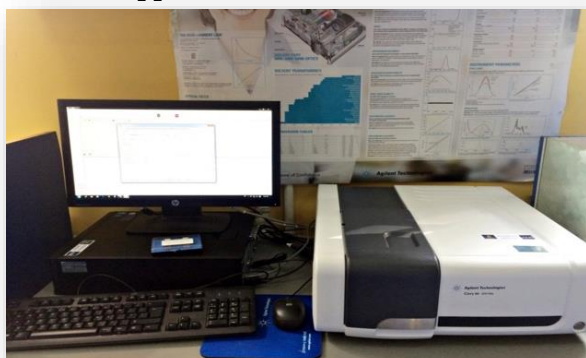
Шинжилгээний дараалал

- Бэлдсэн төмрийн стандарт уусмалаас 1, 2, 3, 4, 5 мл-ийг таслан авч 50 мл-ийн хэмжээст колбонд хийгээд тус бүрд 5 мл фенантролин болон 5 мл буфер уусмал хийж хэмжээс хүртэл нэрмэл усаар шингэлж бэлтгэнэ.
- Дээж болон стандарт дээжийн уусмалаас фенантролин болон буфер уусмал ашиглан ферро ионыг тодорхойлсон. Эдгээр уусмалуудаа бэлтгээд 1 цагийн дараа UV-Vis Cary 60 спектрофотометр багажсин дээр хэмжилтийг явуулна. Стандарт болгож авсан 5 дээжийн тусламжтай жиших муруйг байгуулсан. Стандартуудыг багажсинд унцуулахад үүссэн жиших муруйн корреляцийн коэффициент (R) 0.95-аас их байх шаардлагатай. Үүний дараа дээж уусмалуудаа нэг нэгээр нь хэмжиж харгалзах концентраци болон гэрэл шингээлтийн утгыг тэмдэглэж авсан.

Шинжилгээний үр дүн тооцоолол:

$$Fe(II)\% = \frac{KVD \times 100\%}{та}$$

K - Стандарт уусмал болох морын давсны концентрацийг гэрэл шингээлтэд харьцуулсан дундаж утга, *D* – гэрэл шингээлт, *V* – 200мл-ын хэмжээст колбонд дээжээ шингэлсэн эзлэхүүн, *т* – Дээжний масс, *а* – шингэлсэн эзлэхүүнээс авсан аликвот



Зураг 2.4 UV/VIS спектрофотометр

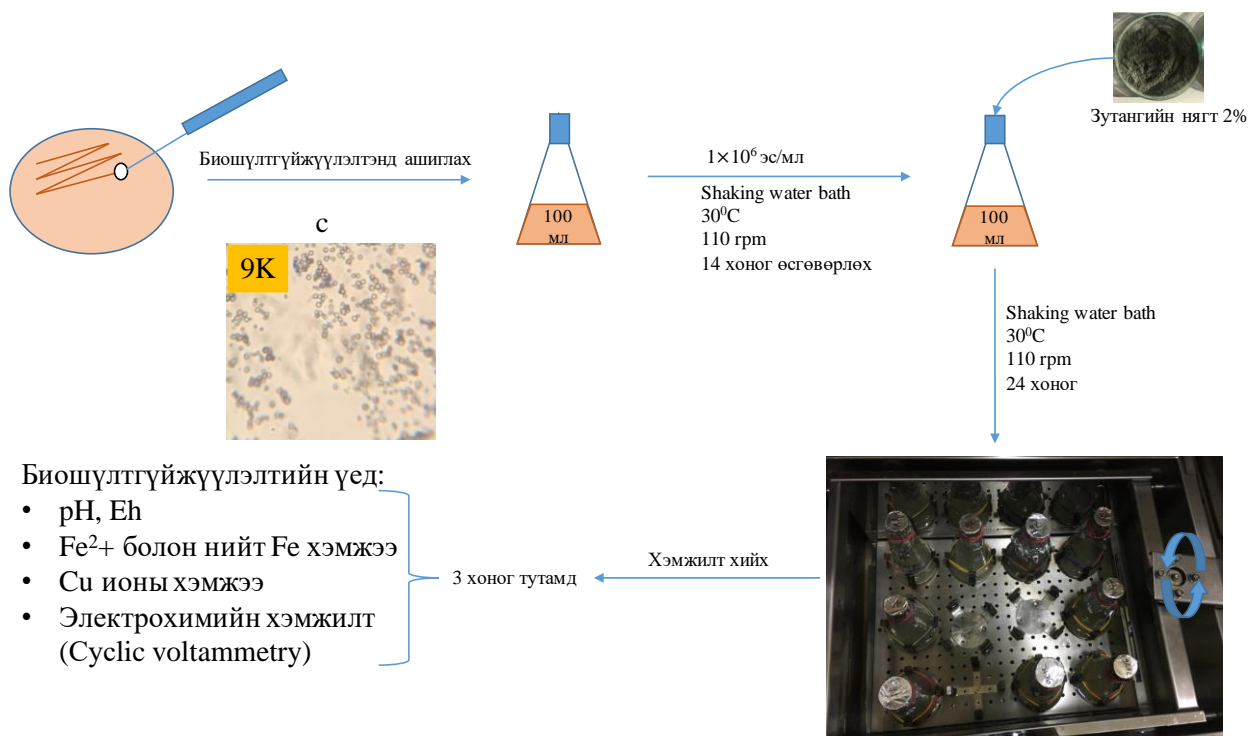


Зураг 2.5 Ферро ионы

ХЭМЖИЛТ

2.3 ЯЛГАСАН БАКТЕРИЙН ОРОЛЦООТОЙ Fe^{2+} ИОНЫ ИЛҮҮДЭЛТЭЙ БОЛОН ДУТАГДАЛТАЙ ГЭСЭН ХОЁР НӨХЦӨЛД ЯВУУЛСАН БИОШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТИЙН СУДАЛГАА

Өсгөвөр с-г 1×10^6 эс/мл хүртэл 14 хоног өсгөвөрлөлт явуулсан. Өөрөөр хэлбэл эсийн тоог нэмэгдүүлсэн. Үүний дараагаар зэсийн баяжмалаас зутангийн нягт 2% байхаар 1×10^6 эс/мл хүртэл өсгөвөрлөсөн 9К тэжээлт орчин руу нэмээд био-шүлтгүйжүүлэлтийн процессыг явуулсан. Био-шүлтгүйжүүлэлтийг shaking water bath-д $30^{\circ}C$ -т, эргэлт минут нь 110 байхаар тохируулж, 24 хоногийн хугацаанд туршилт явуулсан. Энэ үедээ 3 хоног тутамд рН, исэлдэн ангижрах потенциал, Fe^{2+} болон нийт төмрийн хэмжээ, зэсийн ионы хэмжээ мөн цахилгаан-химийн хэмжилт хийж байсан (Зураг 2.6-2.10).



Зураг 2.6 Бактерийн оролцоотой биошүлтгүйжүүлэлтийн судалгаа явуулах нөхцөл

2.4 БАГАЖ ХЭРЭГСЭЛ

Био-шүлтгүйжүүлэлт болон зэсийн шимт уусмалаас бактерийг ялгах үеийн цахилгаан-химийн хэмжилт-cyclic voltammetry(цикль-вольтметр) хэмжилтүүдийг Dropsens μ – Стат400 маркийн Бипотенциостат/гальваностат багажийг ашиглан дуслын электродын систем дээр явууллаа.



Зураг 2.7 Ddropsens μ - Стат маркийн

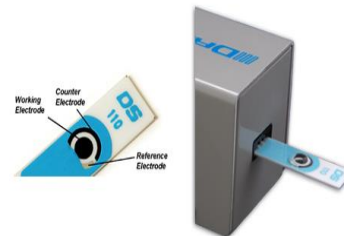
Бипотенциостат/гальваностат

- Ажлын электрод – нүүрстөрөгч цахилгаан-д
- Хальцуулагч электрод – Ag/AgCl цахилгаан-д
- Тоологч электродд – нүүрстөрөгч цахилгаан-д

Цикль-вольтметрийн бүх хэмжилтийг 9К гэжээлийн орчинд 20 мВ/сек хэмжих хурдтайгаар -1000 мВ ~ 1000 мВ хязгаарт эерэг потенциалын чиглэлд хэмжилт хийсэн.

Зураг 2.8-д дуслын электродыг харуулсан байна. Дуслын электрод нь ганц дусал дээжээр л хэмжилт хийж чадах учраас олон хоногоор явагдах био-шүлтгүйжүүлэлтийн процесст том давуу тал болж өгсөн.

Screen printed carton electrode



Зураг 2.8 Дуслын электрод



Зураг 2.9 PHS -3BW микропроцессор



Зураг 2.10 Электрон микроскоп

Уусмалын рН болон исэлдэн ангижрах потенциалын хэмжилтийг PHS-3BW микро процессор ашиглан хэмжсэн бол электрон микроскопоор микроорганизмын эсийн тоо ба грамаар будагддаг зэрэг хэмжилт хийхэд хэрэглэсэн.

Ш БҮЛЭГ. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

3.1 ЗЭСИЙН ШИМТ УУСМАЛААС БАКТЕРИЙН ОМГИЙГ ӨСГӨВӨРЛӨЖ, ЦЭВЭР ӨСГӨВӨР ЯЛГАН АВАХ ПРОЦЕСС

Зэсийн шимт уусмал дахь бактерийг 9К тэжээлийн орчин, 9К+С тэжээлийн орчин, NCIMB гэсэн гурван тэжээлийн орчинд өсгөвөрлөсөн. Бактерийн өсөх таатай орчныг бүрдүүлэхийн тулд шингэн тэжээлийн орчинд 3 хоног өсгөвөрлөж, 10мл-ийг таслан авах, тунгаах, шууд гэсэн нөхцөлөөр дахин шингэн тэжээлийн орчинд шилжүүлэх замаар орчин сэлгэж 3 удаа давтан өсгөвөрлөсөн. Тэжээлт орчнуудын өнгө хугацаа өнгөрөх тусам өөрчлөгдсөн бөгөөд 9К болон NCIMB тэжээлт орчнуудын хувьд тунгалаг ногооноос гүн улаан өнгөтэй болсон (Зураг 3.1).



Зураг 3.1 Бактерийн өсгөвөрлөлтийн үеийн тэжээлт орчны өнгөний өөрчлөлт

Бактерийн өсгөвөрлөлтийг 9 хоногийн хугацааны туршид 9К, 9К+С, NCIMB гурван орчинд явуулсан. Туршилтын явцад уусмалын исэлдэн ангижрах потенциал ба pH-ийг хянасан ба үр дүнг хүснэгт 3.1-т үзүүлэв.

Хүснэгт 3.1 Уусмалын рН болон исэлдэн ангижрах потенциалын үр дүн

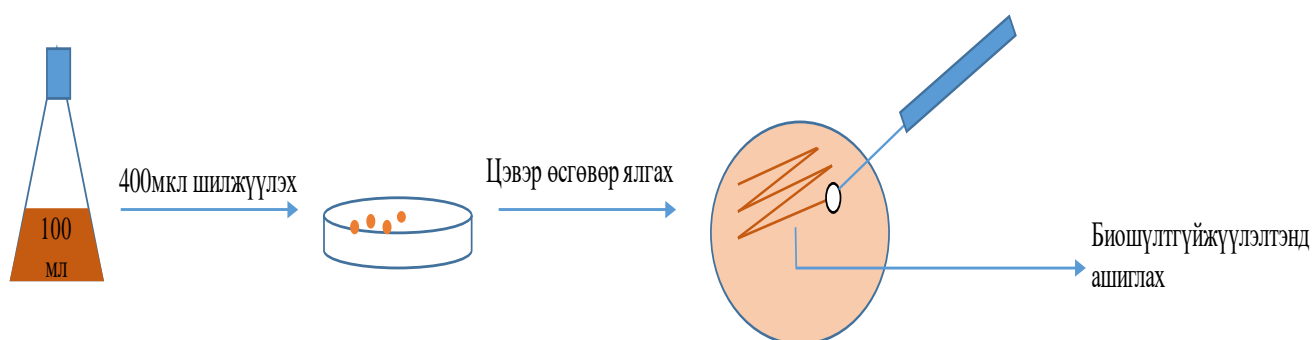
Тэжээлт орчин	1 цагийн дараа:		72 цагийн дараа:		144 цагийн дараа:				216 цагийн дараа:					
	рН	Eh	рН	Eh	рН	Eh	рН	Eh	рН	Eh	рН	Eh	рН	Eh
9K	2.11	253	2.09	254	2.07	255	2.02	257	1.93	262	1.89	263	1.63	276
9K+C	2.27	243	2.16	249	2.45	234	2.46	234	2.61	226	2.63	224	2.26	244
NCIMB	1.91	262	1.89	263	2.07	254	2.27	243	1.98	260	1.98	259	1.92	262

Хугацаа өнгөрөх тусам тэжээлт орчны рН буурч, исэлдэн ангижрах потенциал өсөх ёстой бөгөөд энэ зүй тогтлын дагуу 9K тэжээлт орчин хамгийн зохистой байсан учир цаашдын туршилтнууддаа 9K тэжээлт орчныг сонгон авч явсан.

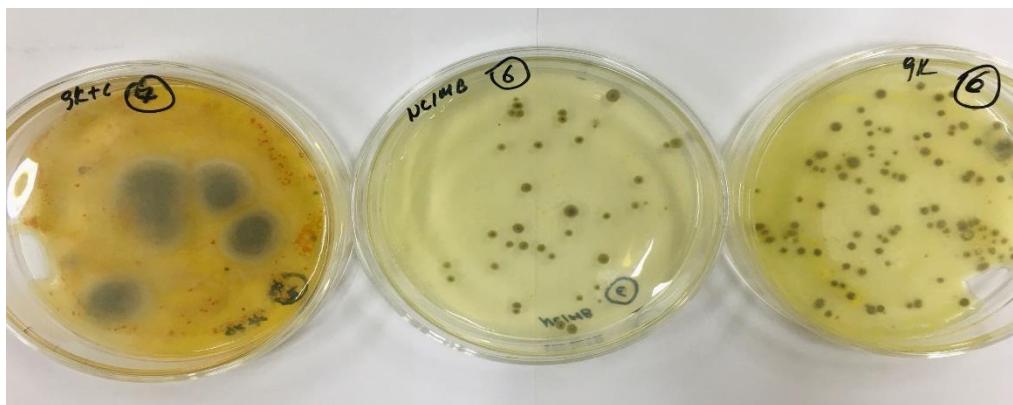
3.2 ЦЭВЭР ӨСГӨВӨР ГАРГАН АВАХ ПРОЦЕСС

Нийт 9 хоногийн турш шингэн тэжээлийн орчинд өсгөвөрлөсний дараа 3 орчин тус бүрд хатуу тэжээлийн орчин бэлдэж хатуу тэжээлт орчин руу шилжүүлсэн. Хатуу тэжээлт орчинд шилжүүлсэний дараагаар түүнээсээ цэвэр өсгөвөр ялган авах процессыг явуулсан. Тус процессуудыг дараах бүдүүвч 3.2-т харуулав.

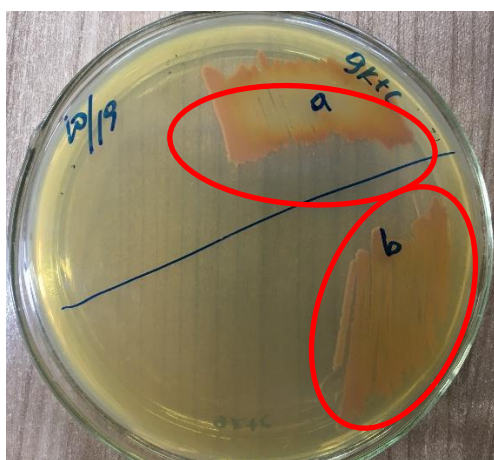
Зураг 3.2 Цэвэр өсгөвөр гарган авах аргачлал



Зураг 3.3-т хатуу гурван өөр тэжээлийн орчинд бактери өсгөвөрлөгдсөн байдлыг харуулсан бол зураг 3.4; 3.5; 3.6 дугаар зургуудад цэвэр бактерийн өсгөвөрлөгдсөн байдлыг тус тус үзүүлсэн байна. 9K+C орчноос болон 9K тэжээлт орчноос TF харин NCIMB-ээс SA гэсэн бактерийн 4 цэвэр өсгөвөр гарган авсан.



Зураг 3.3 Шингэн тэжээлийн орчноос хатуу тэжээлийн орчин руу



Зураг 3.4 өсгөвөр-а болон өсгөвөр-в



Зураг 3.5 өсгөвөр-с

Хүснэгт 3.2 Гарган авсан 4 цэвэр өсгөвөр

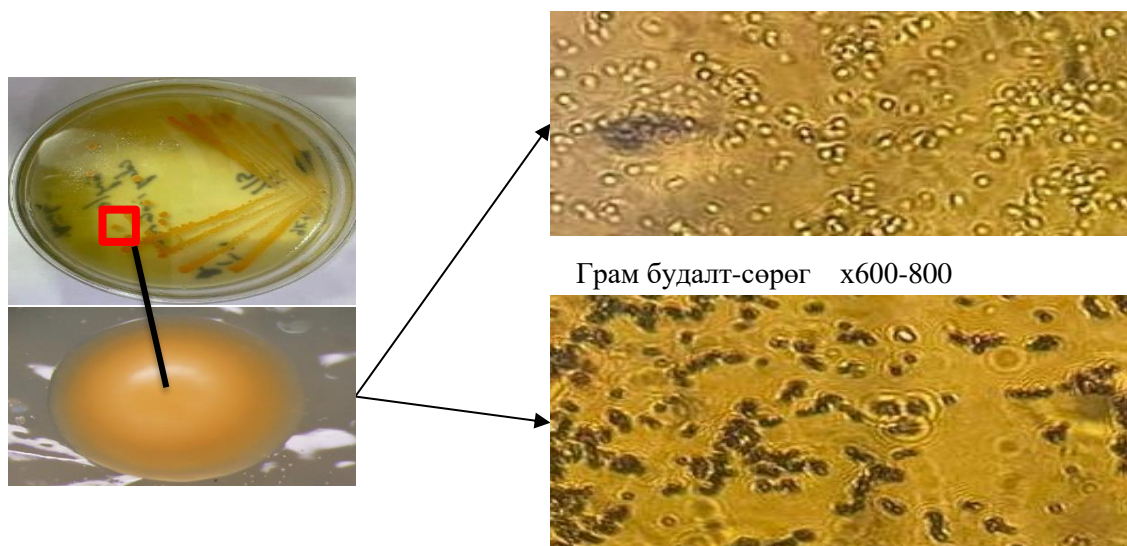


Зураг 3.6 өсгөвөр-d

Тэжээлт орчин	Цэвэр өсгөвөр
9K+C	а болон б
9K	с
NCIMB	д

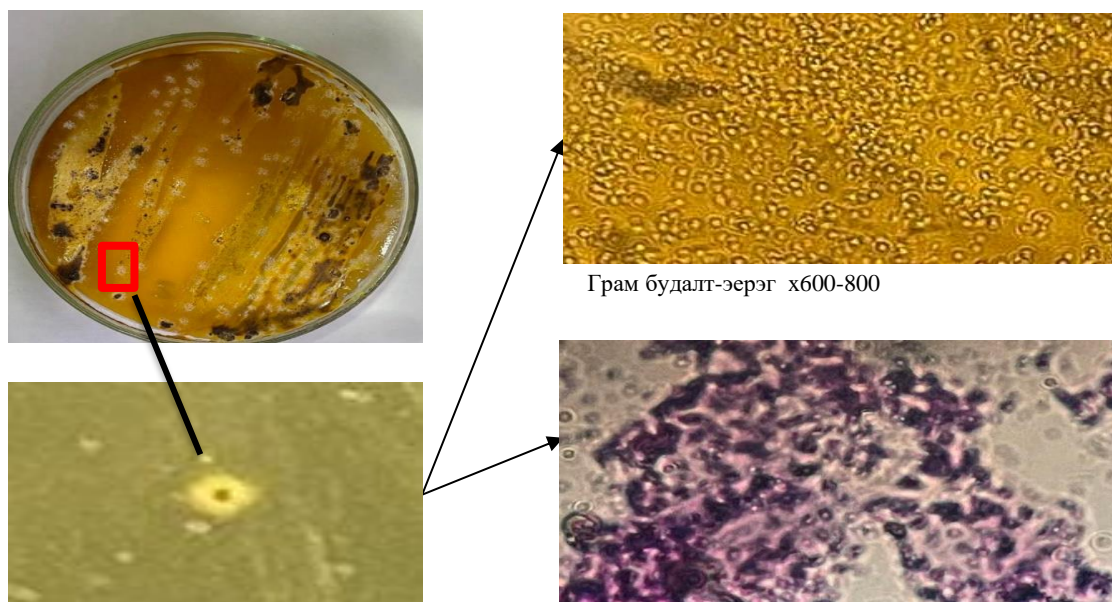
Төмрийг исэлдүүлдэг бактериуд өсдөг нийт 4 бактерийг дан колониор нь өсгөн ялган авсан. Бактерийн дан колони болон Грам будгаар будсан морфологийн шинжилгээний үр дүнг зураг-3.7-3.10 хүснэгт 3.3-д тус тус үзүүлэв.

Т.Ф-1 бактерийн морфологи шинж чанар



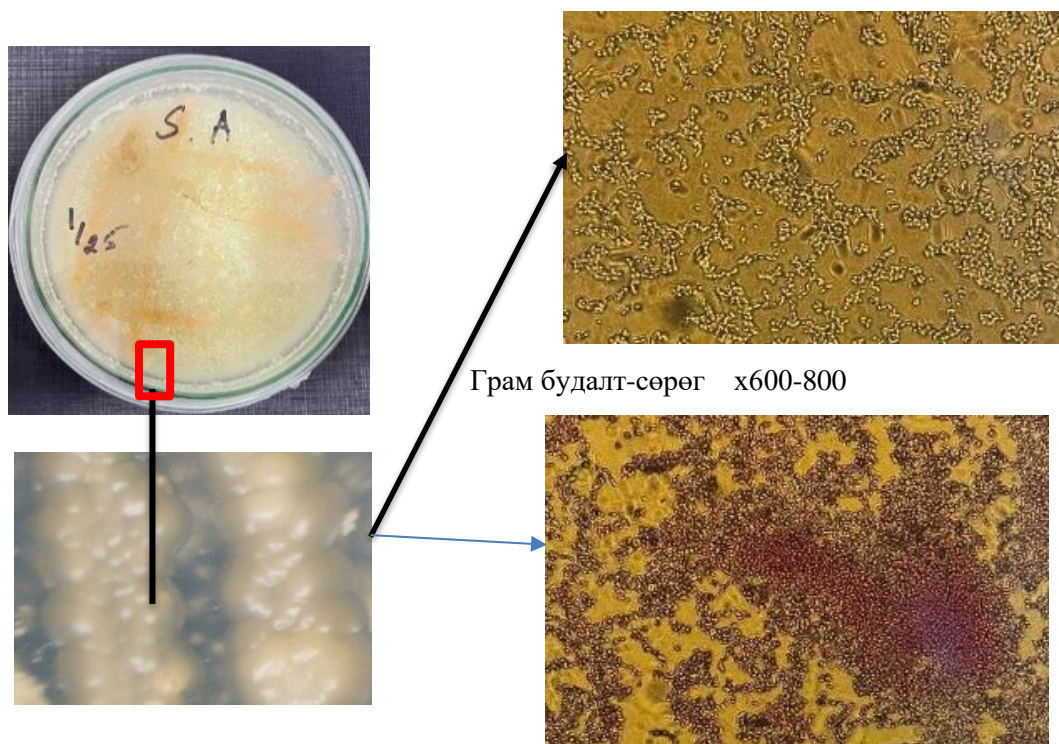
Зураг 3.7. Шимт уусмалаас ялгаж авсан Т.Ф 1 бактерийн холимог болон цэвэр өсгөвөр

Т.Ф-2 бактерийн морфологи шинж чанар



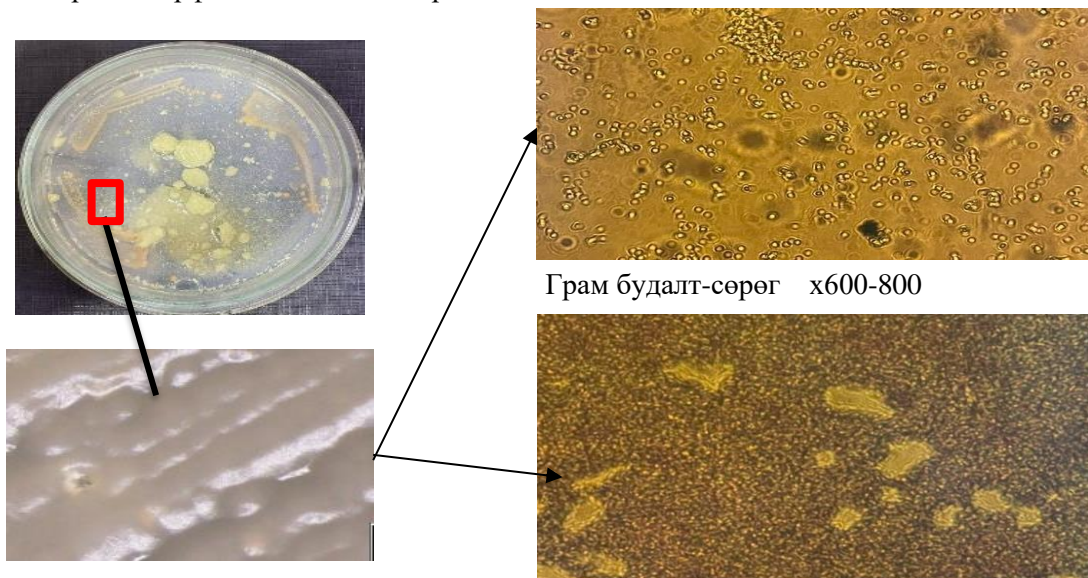
Зураг 3.8 Шимт уусмалаас ялгаж авсан Т.Ф 2 бактерийн холимог болон цэвэр өсгөвөр

S.A-5 бактерийн морфологи шинж чанар



Зураг 3.9 Шимт уусмалаас ялгаж авсан SA 5 бактерийн холимог болон цэвэр өсгөвөр

S.A-9 бактерийн морфологи шинж чанар



Зураг 3.10. Шимт уусмалаас ялгаж авсан SA 9 бактерийн холимог болон цэвэр өсгөвөр

Зураг-3.7-3.8 үзүүлсэн бактериуд төмөр исэлдүүлдэг бактериуд ба Зураг-3.9-3.10 үзүүлсэн бактериуд хүхэр исэлдүүлдэг бактериуд юм. Грам будалтаар сөрөг гарсан бактериуд нь нь *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus*, *Acidithiobacillus thiooxidans*, *Acidithiobacillus caldus* бактериудын төрөл байх боломжтой ба Грам эерэг гарсан бактерийн хувьд *Leptospirillum*, *Sulfobacillus*, *Acidimicrobium*, *Ferromicrobium*, *Firmicutes*, *Actinobacteria* төрлийн бактериуд байх боломжтой юм (N. Pradhan et al. / *Minerals Engineering* 21 (2008) 355–365). Ялгаж авсан цэвэр өсгөврүүдийн хувьд Грамм сөрөг болон эерэг зууван эс, Грамм сөрөг дугариг бүтэцтэй тус тус байлаа. Дээрх зураг цахилгаан-н микроскопоор 600-800 дахин өсгөлттэй авсан зураг юм. Бактериудын колони морфологийн шинж чанарыг хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлэв(Хүснэгт 3.3).

Хүснэгт 3.3. Бактерийн колони морфологийн шинжилгээний үр дүн

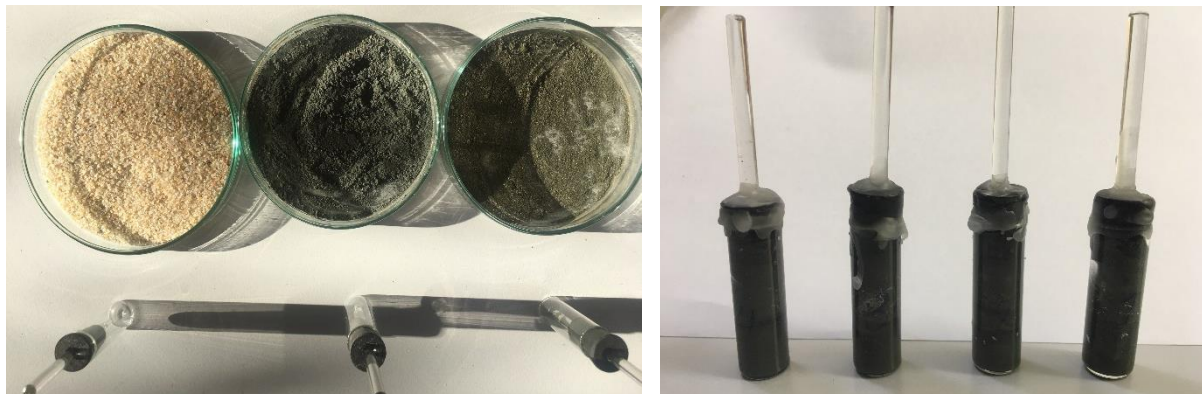
	T.F-1	T.F-2	S.A-5	S.A-9
Колони хэлбэр	Дугуй	Цэгэн	Дугуй	Жигд бус
Колоний хэмжээ	0,2см	0,08см	0,1см	0,1см
Колоний гадаргуу	Гөлгөр	Гөлгөр	Гөлгөр	Гөлгөр
Колоний тунгалаг байдал	Булингартай	Бүүдгэр (mathe)	Булингартай	Булингартай
Колоний хажуугаас харагдах байдал	Гүдгэр	Гүдгэр	Гүдгэр	Гүдгэр
Колоний зах	Бүтэн	Тэгш бүтэн	Тэгш гөлгөр	Тэгш гөлгөр
Колоний өнгө	Улбар шар	Цайвар шар	Цайвар шар	Цагаан шар
Колоний төлөв байдал	Хуурай	Хуурай	Хатуу	Хатуу

Бидний ялган авсан бактериудын колони морфологийн шинжилгээний дүнгээс харахад колони хэлбэр, хэмжээ, өнгө зэрэг нь өөр учир ялгаатай бактериуд гэж үзэж байгаа бөгөөд нийт ялгасан 15 бактериас эдгээр 4 бактериудыг био-шүлтгүйжүүлэлтэд хэрэглэхдээ колони шинж чанар өөр, бактерийн өсөлтийн хурд өндөр байгааг нь харгалзан сонгож авсан болно.

Бактерийн өсгөврөлтийн явц дахь эс тоолох ажлыг UV, бактерийн колони өсгөврөлөн тоолох, микроскопоор Горяеврийн камерт эс тоолох гэсэн 3 төрлийн аргыг нэгэн зэрэг хэрэглэсэн. Бишүлтгүйжүүлэлтэд бактерийг хэрэглэхдээ 10^{7-8} тооны эс болсны дараа хэрэглэсэн. Тэжээлийн 9К орчны бактериуд хүхэртэй тионы орчны бактериудаас харьцангуй хурдан өсгөврөлөгдөж байсан.

3.3 ӨСГӨВРИЙН ХАДГАЛАЛТ

Бактерийн цэвэр өсгөвөр гарган авсан ч түүнийгээ үхүүлэх, өсгөврөө алдах боломжтой учраас микро организмыг урт хугацаанд хүнд нөхцөл шаардагдахгүй, тасалгааны температурт хадгалсан байдлыг зураг 3.11-т харууллаа.



Зураг 3.11 Өсгөвөрийг тасалгааны температурт хадгалах нь

Өсгөврийг хадгалах арга [13]

Tiobacillus ferrooxidans-ийн өсгөврийг Fe^{2+} эсвэл сульфидын эрдсүүдтэй 9К орчинд хөргөгчид $4^{\circ}C$ хадгалах боломжтой. Удаан хугацааны хадгалалтыг дараах аргуудаар хийдэг.

1. Сул задалдаг эсвэл инертэн субстраттай холих

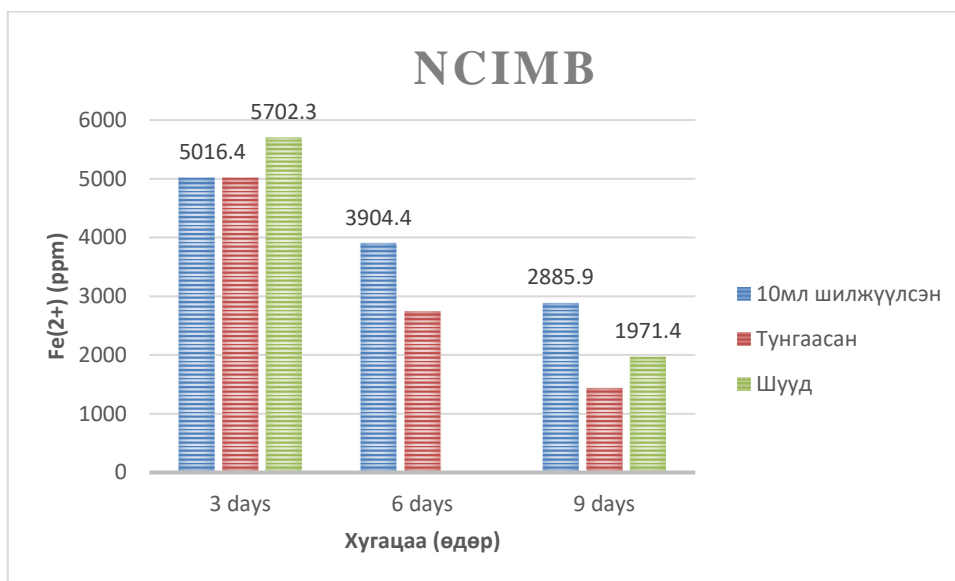
Гутге ба Агата нар *Tiobacillus ferrooxidans* -ийн 10^{12} эс/мл тооны эс агуулсан суспензийг 1г лигнит, 1г халькопирит агуулсан хүдэртэй хольж хадгалсан байна. Бактерийн исэлдүүлэх чадвар нь 8 сарын дараа халькопиритийнх 5%, лигнитийнх 30%-аар тус тус буурсан байна.

Бактерийн өсгөврийг 250мл-ийн тагтай шувтан колбонд 9К орчинд 48 цагийн турш савлагаатай сэгсрэгчид байлгана. Дараа нь элс ба пиритийг 1:3 харьцаатай хольсон ариутгасан хуруу шилэнд эсвэл ампулд хийнэ. Элс пиритийн өөр харьцааг авч болно. Элс пиритийг урьдчилан угааж хатаана. Ампулыг таглаж парафинаар битүүмжилнэ. Элс пиритийн 1-3г хольцыг 10^9 кл/мл нягттай 1-2мл өсгөвөрт рН 2-2,5, Eh 350-370мВ, Fe^{2+} 1.5-4.7 г/л агууламжтай байхаар тооцоолон хийсэн. Ийм өсгөврийг 1,5-3 жил өрөөний температурт хадгалж болно.

3.4 ЦЭВЭР ӨСГӨВӨР ГАРГАН АВАХ ПРОЦЕССЫН ҮЕ ДЭХ ТЭЖЭЭЛТ ОРЧИН ТУС БҮРИЙН ФЕРРО ИОНЫ АГУУЛГЫН ӨӨРЧЛӨЛТ

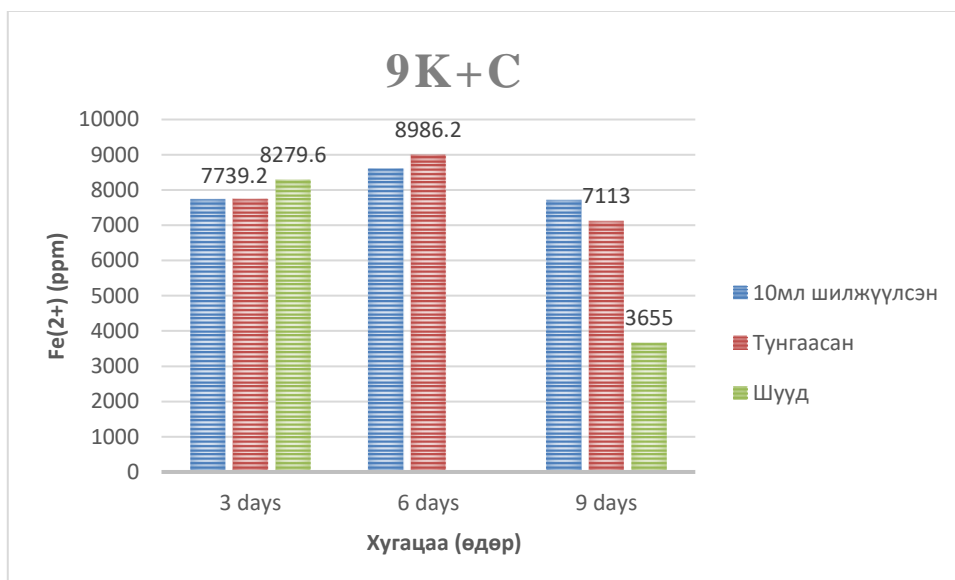
Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх тэжээлт орчин тус бүрийн ферро ионы агуулгын өөрчлөлтийг $/Fe^{2+}$ ионы хэмжээг/ фенантролийн аргаар

спектрофотометрийн аргаар тодорхойлон хянасан ба агуулгын өөрчлөлтийг 3.13-3.14 зургуудаар үзүүлэв.



Зураг 3.12 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх NCIMB орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт

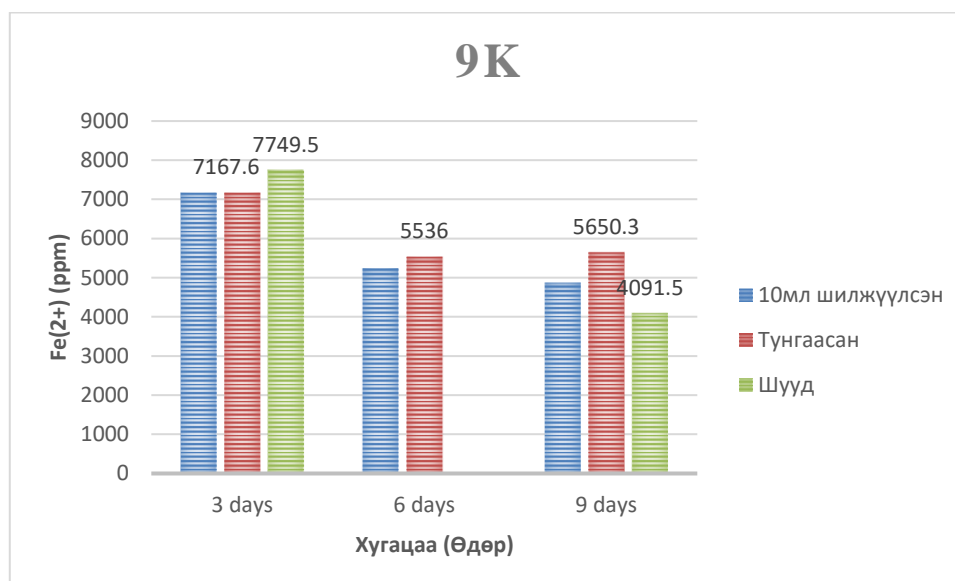
Зураг 3.12-т цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх NCIMB орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлтөөс харахад хугацаа өнгөрөх тусам шилжүүлж буй нөхцөл тус бүрээс үл хамааран ферро ионы агуулга жигд буурсан байна.



Зураг 3.13 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх 9K+C орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт

Зураг 3.13-т цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх 9K+C орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт харуулав. Хугацааны дунд үе буюу 6 дахь хоногт ферро ионы

агуулга бага зэрэг өсөлттэй байсан ч цаашдын өдрүүдэд шилжүүлсэн нөхцөл тус бүрийн хувьд харгалзан буурсан байна.



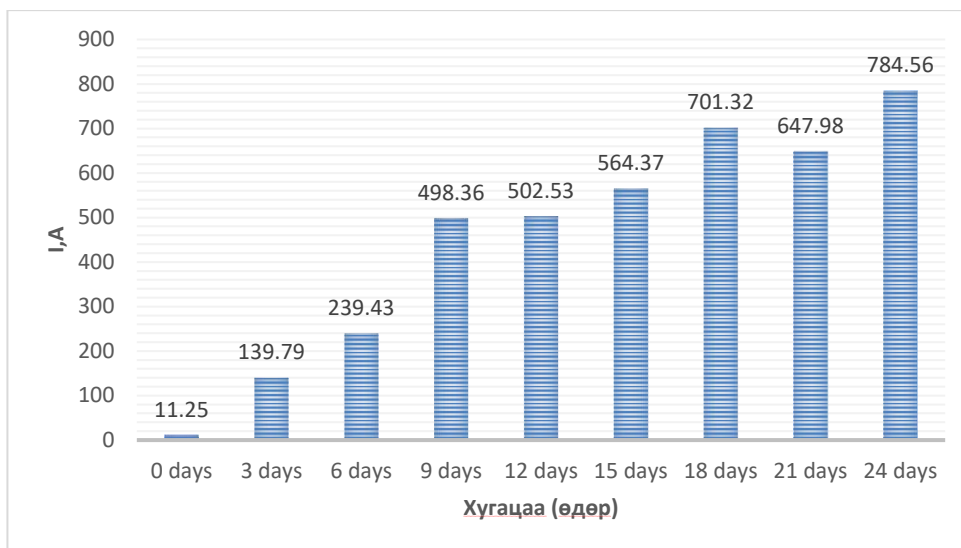
Зураг 3.14 Цэвэр өсгөвөр гарган авах процессын үе дэх 9K орчны ферро ионы агуулгын өөрчлөлт

Хугацаа өнгөрөх тусам мөн л ферро ионы агуулга буурсан байгаа нь харагдаж байгаа ч тунгаах нөхцөлөөр шилжүүлсэн үеийн сүүлийн буюу 9 дэх хоногт ферро ионы хэмжээ бага зарэг өссөн байсан (Зураг 3.14).

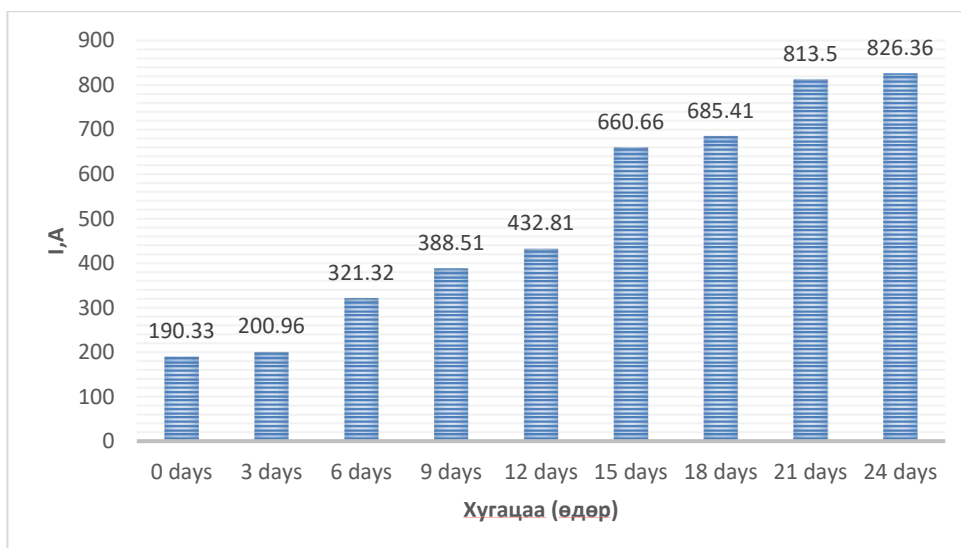
Тэжээлт орчин тус бүр дээрээс дээж аван Fe^{2+} ионыг хэмжин үзэхэд 9K болон NCIMB орчнууд дээр тогтмол буурсан, 9K+C дээр харин 6 дахь хоног дээр бага зэрэг өсөөд, буцаад буурсан байгаа нь харагдаж байна. Fe^{2+} хэмжээ буурна гэдэг нь Fe^{2+} бактерийн оролцоотойгоор Fe^{3+} руу шилжиж байгааг илэрхийлнэ. Энэ нь тухайн өсгөврийн орчинд төмөр исэлдүүлэгч бактериуд NCIMB, 9K, 9K+C орчнуудад ажиллаж байгааг харуулж байна

3.5 Fe^{2+} ИОНЫ ИЛҮҮДЭЛТЭЙ НӨХЦӨЛД БИОШЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ ЯВУУЛСНЫ ДАРААХ ЦАХИЛГААН-ХИМИЙН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

Зураг 3.15-аас Fe^{2+} илүүдэлтэй(бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлтийг харвал 24 хоногийн дараа гүйдлийн хамгийн их утга 784.56А болсон байна.



Зураг 3.15 Fe²⁺ илүүдэлтэй(бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт

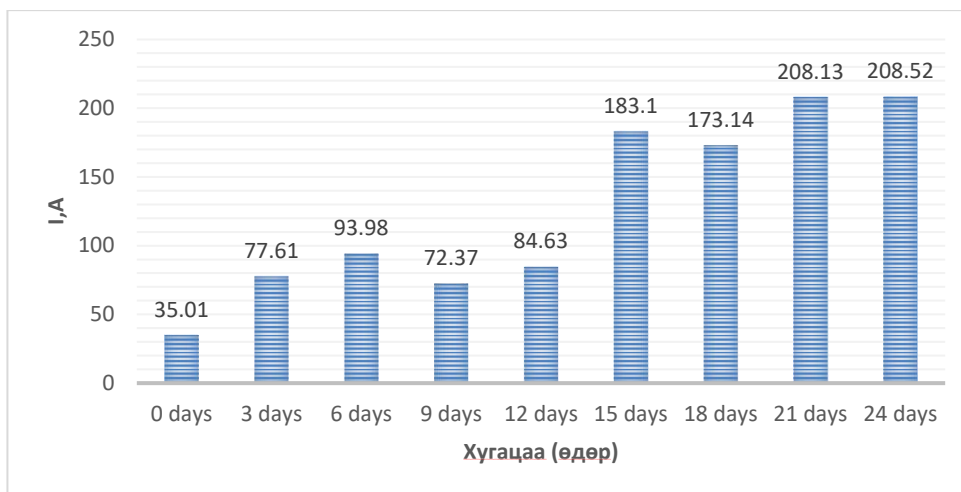


Зураг 3.16 Fe²⁺ илүүдэлтэй(бактертай) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт

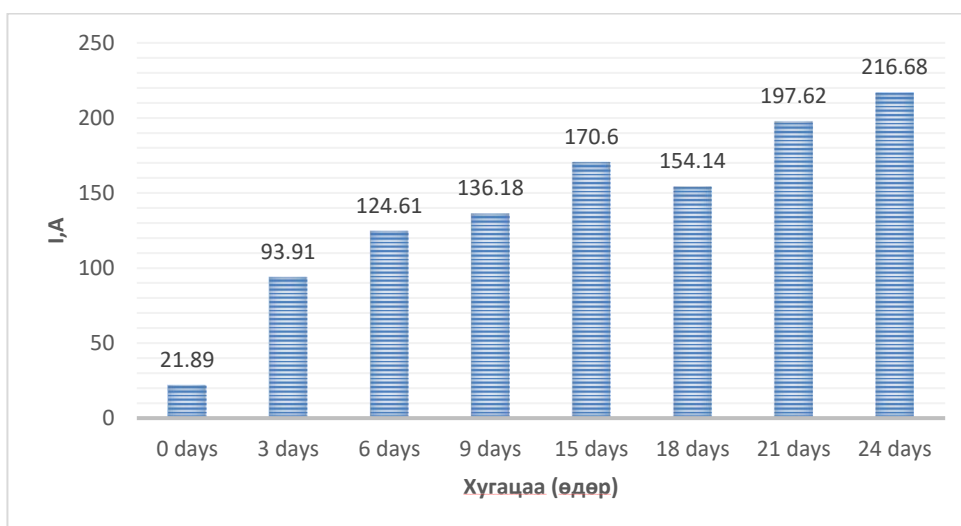
Зураг 3.16-ийн хувьд Fe²⁺ илүүдэлтэй(бактеритай) био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлтөөс харвал гүйдлийн утга тасралтгүй өссөн байна. Мөн бактеритай үеийнхийг бактеригүй туршилтын утгатай харьцуулан үзвэл гүйдлийн утга их байгаа нь харагдлаа.

3.6 Fe²⁺ ИОНЫ ДУТАГДАЛТАЙ НӨХЦӨЛД БИОШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ ЯВУУЛСНЫ ДАРААХ ЦАХИЛГААН-ХИМИЙН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

Fe²⁺ дутагдалтай биошүлтгүйжүүлэлтийн процесс маш удаан идэвх муутай байгаа нь гүйдлийн утга 200А орчим байгаа гэдгээс харж болно (Зураг 3.17).



Зураг 3.17 Fe²⁺ дутагдалтай(бактертгүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт



Зураг 3.18 Fe²⁺ дутагдалтай(бактеритай) био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн гүйдлийн утгын өөрчлөлт

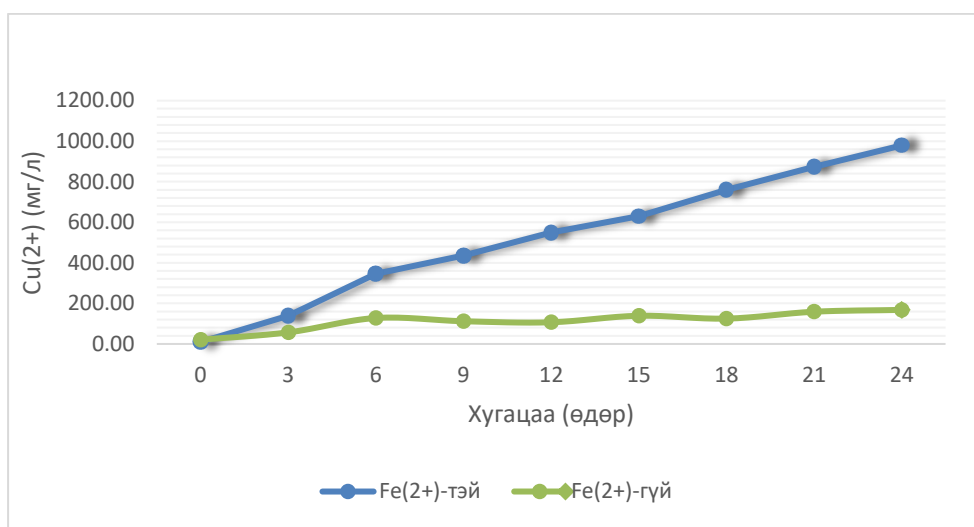
Fe²⁺ дутагдалтай мөн бактери байгаа ч гэсэн гүйдлийн утга харьцангуй бага байгаа нь био-шүлтгүйжүүлэлтэд Fe²⁺ маш их үүрэгтэйг давхар харуулж өгч байна (Зураг 3.18).

Мөн Fe²⁺ илүүдэлтэй үеийнх Fe²⁺ дутагдалтай үеийн гүйдлийн утга 3.8 дахин их байгаа нь нь Fe²⁺ → Fe³⁺ урвалын дүнд үүсэх энергиэр амьдардаг төмөр исэлдүүлэгч бактери байгааг гэрчилж байна.

3.7 БИО-ШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТИЙН ҮЕИЙН ЗЭСИЙН АГУУЛГА, УУСМАЛЫН pH, ИСЭЛДЭН АНГИЖРАХ ПОТЕНЦИАЛ БОЛОН ФЕРРО ИОНЫ ӨӨРЧЛӨЛТИЙГ ХАРУУЛСАН ДҮН

Хоёр исэлдэлтийн хэмтэй төмөр- Fe²⁺ илүүдэлтэй био-шүлтгүйжүүлэлтийн үед уусмалд шилжиж буй зэсийн агуулга огцом өсөлттэй байгаа нь ажиглагдсан. Энэ нь

Fe^{2+} ба хүхрийн бактерийн оролцоотой исэлдэлт нь био-шүлтгүйжүүлэлтийг хурдасгаж байгаа бөгөөд шүлтгүйжүүлэлтэд Fe^{2+} ямар их нөлөөтэйг харуулж байна (Зураг 3.19).



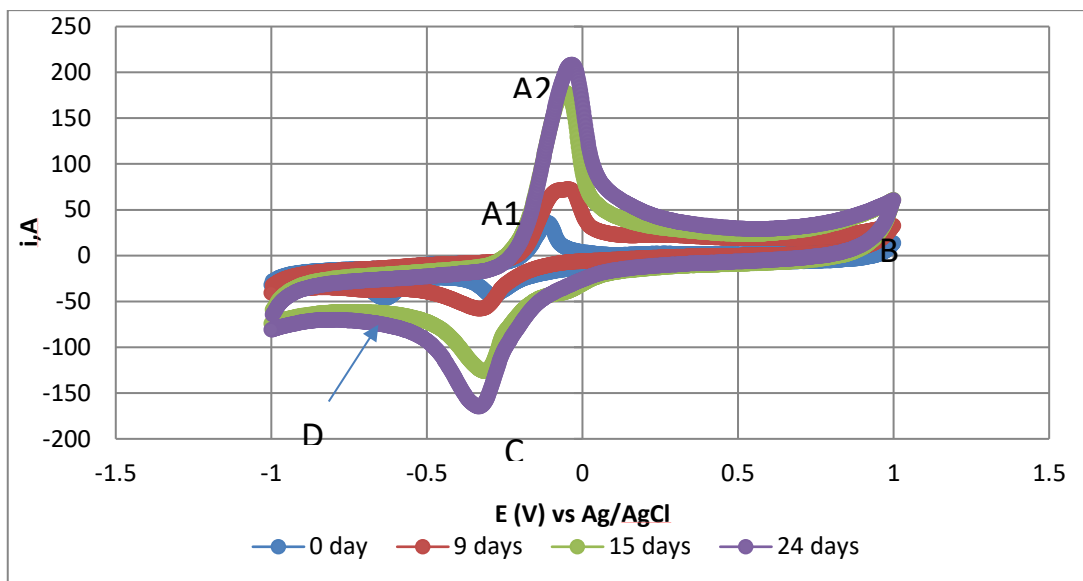
Зураг 3.19 Биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн зэсийн агуулгын өөрчлөлт

Төмөр- Fe^{2+} илүүдэлтэй био-шүлтгүйжүүлэлтийн үед рН хугацааны туршид буурч байна. Өөрөөр хэлбэл хүхэр бактерийн оролцоотой исэлдэж хүхрийн хүчил үүсгэж байна гэсэн үг юм. Харин Fe^{2+} дутагдалтай үед эсрэг нөхцөл байдал үзүүлж байгаа нь бактерийн амьдрах нөхцөл, үйл ажиллагаанд Fe^{2+} зайлшгүй хэрэгтэй гэдэг нь тодорхой болж байгаа гэдгийг зураг 3.20-т харууллаа.

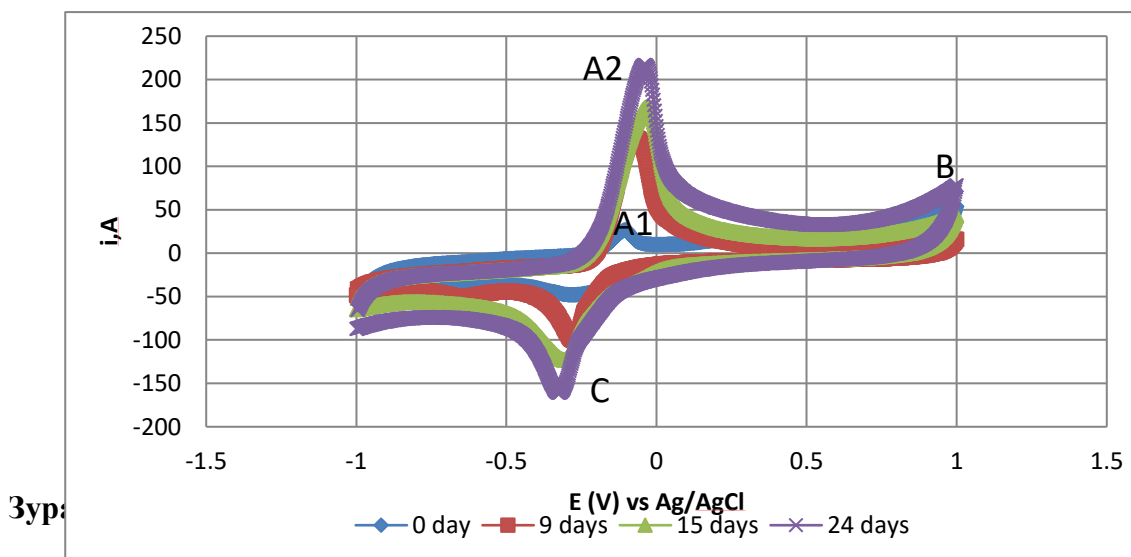
Fe^{2+} дутагдалтай үеийн биошүлтгүйжүүлэлтийн хувьд исэлдэн ангижрах потенциал ерөнхийдөө буурах хандлагатай байгаа бол Fe^{2+} илүүдэлтэй үеийн хувьд тогтмол өсч байгаа бөгөөд биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн рН-ийн өөрчлөлттэй харьцуулан үзвэл уусмалын хүчиллэг чанар өндөр байх тусам исэлдэн ангижрах потенциал өсдөг гэдэг зүй тогтол ажиглагдана.

3.8 ТӨМӨР- Fe^{2+} ДУТАГДАЛТАЙ НӨХЦӨЛД БИО-ШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ ЯВУУЛСНЫ ДАРААХ ЦИКЛ-ВОЛЬТМЕТРИЙН ХЭМЖИЛТ

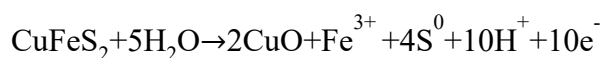
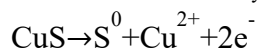
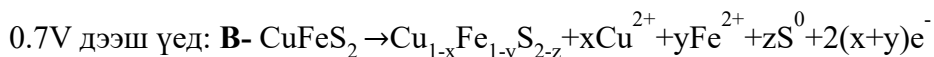
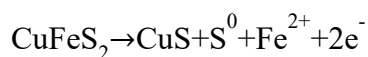
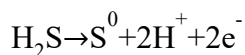
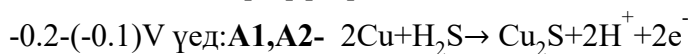
Цикл-Вольтметрйин хэмжилтээс исэлдэх, ангижрах процесс, аливаа урвалын хурдыг шууд харж болно. Энэ нь туршилтын үед том давуу тал болж өгсөн. Зураг 3.20 ба 3.21-оос 3 исэлдэлтийн пик, 2 ангижралтын пик ажиглагдаж байна. Өөрөөр хэлбэл Fe^{2+} дутагдалтай нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлтийн процесс идэвх муутай боловч шүлтгүйжүүлэлт бага зэрэг явагдсан байсан.



Зураг 3.20 Fe^{2+} дутагдалтай(бактергүй) биошүлтгүйжүүлэлтийн үеийн Цикл-Вольтметрийн хэмжилт



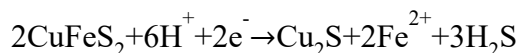
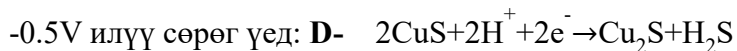
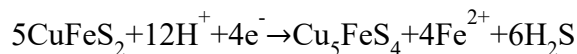
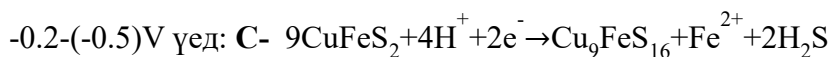
Анодын пик [3] [14] [15]



Хүхэрт устөрөгч элементийн хүхэр болтол исэлдэх урвал, халькопиритын задралаар ковеллит үүсэх мөн халькопирит исэлдэж зэсийн ион уусмалд шилжин орж

ирсэн байна. Мөн гол урвал ферри ион үүсч байгаа бөгөөд Fe^{3+} нь маш хүчтэй исэлдүүлэгч учир тус процесст чухал үүрэг гүйцэтгэнэ.

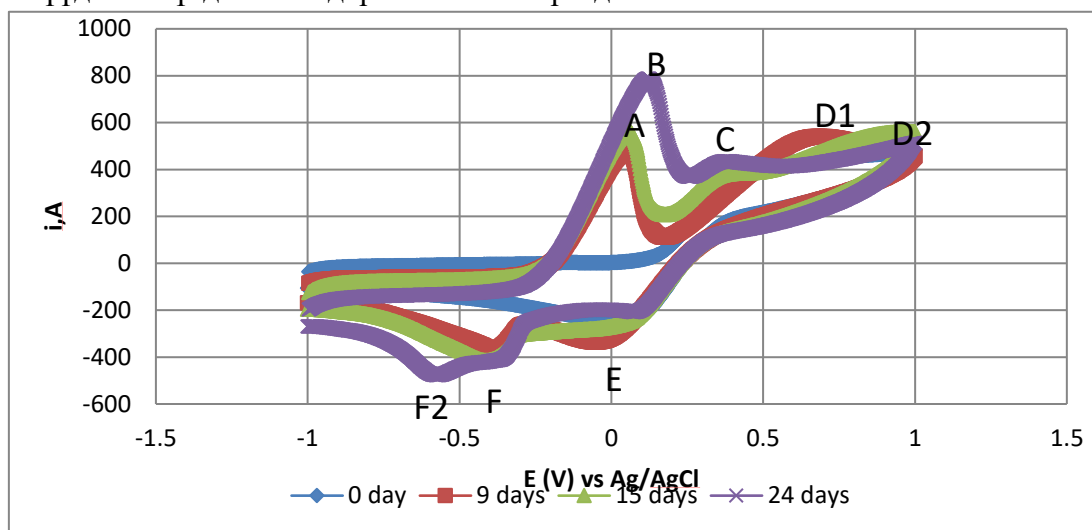
Катодын пик



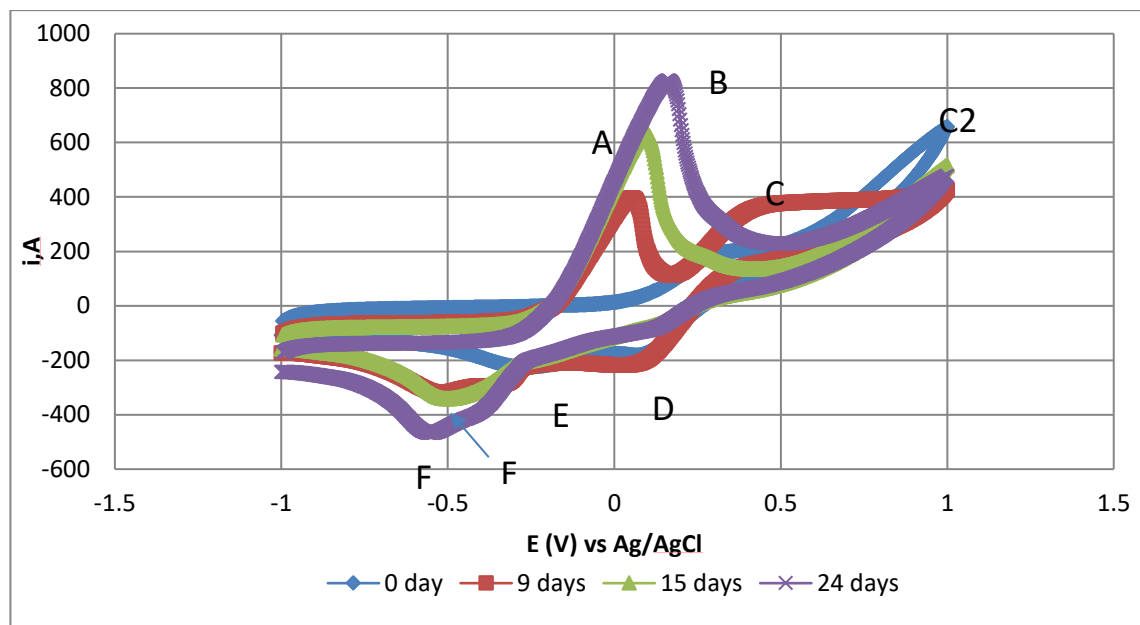
Уусаагүй үлдсэн халькопирит ангижирч борнит болон талнахит үүсгэх урвалд орж байгаа ба борнит болон талнахит цааш исэлдэн зэсийн ионыг үүсгэдэг.

3.9 ТӨМӨР- Fe^{2+} ИЛҮҮДЭЛТЭЙ НӨХЦӨЛД БИО-ШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТ ЯВУУЛСНЫ ДАРААХ ЦИКЛ-ВОЛЬТМЕТРИЙН ХЭМЖИЛТ

Зураг 3.22 ба 3.22-ыг өмнөх туршилтын утга буюу зураг 3.20 ба 3.21-той харьцуулан үзэхэд илүү их исэлдэлт, ангижралтын пик үзүүлснээс гадна гүйдлийн далайц Fe^{2+} илүүдэлтэй үед маш өндөр байгаа нь харагдсан.

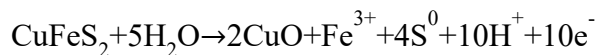
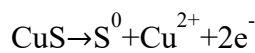
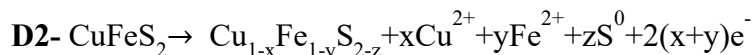
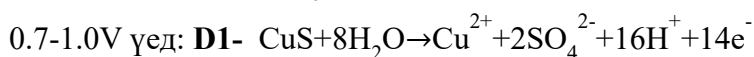
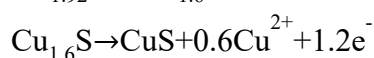
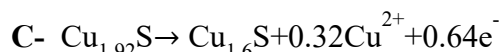
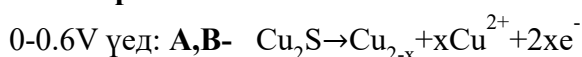


Зураг 3.22 Fe^{2+} илүүдэлтэй(бактергүй) био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн Цикл-Вольтметрийн хэмжилт



Зураг 3.23 Fe^{2+} илүүдэлтэй(бактертай) био-шүлтгүүжүүлэлтийн үеийн Цикл-Вольтметрийн хэмжилт

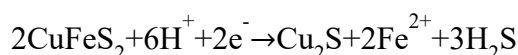
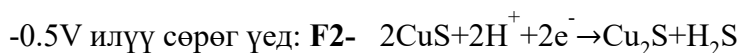
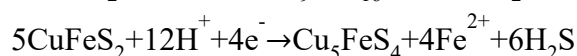
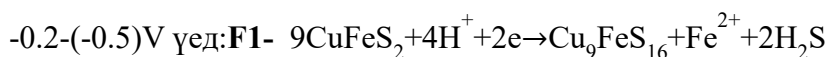
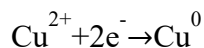
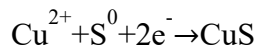
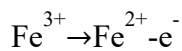
Anodic peak



Ферро ионы илүүдэлтэй үед илүү олон исэлдэлтийн пик үзүүлсэн бөгөөд халькозин завсрын бүтээгдэхүүн болтлоо исэлдэж, улмаар зэсийг мөн л уусмалд шилжүүлэх урвал явагдаж байна.

Cathodic peak

0.2V үед: **E** $Fe^{3+}; Cu^{2+}; S^0$ ангижрах процесс



Ферри ион, зэсийн ион, элементийн хүхрийн ангижрах процесс явагдах хэдий ч халькозин руу шилжих, борнит болог талнахит үүсэх урвал давхар явагдаж байна.

3.10 БАГА АГУУЛГАТАЙ ХАЯГДАЛ ХҮДРЭЭС ЗЭСИЙГ БИО-ШҮЛТГҮЙЖҮҮЛЭЛТИЙН АРГААР УУСМАЛД ШИЛЖҮҮЛЭХ СУДАЛГАА

1.1 Хаягдал хүдрийн дээжийн минераграфийн болон петрографын шинжилгээний үр дүн
Хаягдал хүдрийн 200 кг жинтэй дээжээс дөрвөн ширхэг дээж сонгон авч чулуулгийн нэр, эрдэслэг бүрэлдэхүүн, хувирлын онцлог, хүдэржилтийг тодорхойлохын тулд өнгөлсөн тунгалаг шлиф бэлтгэн № ХО-1, № ХО-2, № ХО-3, № ХО-4 гэж дугаарлан Nikon-optiphot 2-POL, Olympus маркийн туйлширсан гэрлийн ВХ-53, Olympus маркийн хос гэрлийн ВХ-51 микроскоп ашиглан петрограф (хүснэгт -3.4) болон минераграфийн (хүснэгт -3.5) шинжилгээ хийсэн.

Шинжилгээний дүнгээс дараах дүгнэлтийг гаргасан. Үүнд:

1. Петрографийн шинжилгээгээр тухайн ордын агуулагч чулуулаг нь хувирсан плагиоборжин, жигд бус мөхлөгт шүлтлэгдүү кварцат диорит, миндалинлаг андезит, гялтгануур-кварцат метасоматитаас тогтжээ.
2. Минераграфийн шинжилгээгээр бичил шигтгээлэг, шигтгээлэг мөхлөг, судал, судланцар, линзлэг бөөгнөрлүүд мөн нэвчсэн байдлаар тааралдах пирит, титанит, халькопирит, халькозин, ковеллин болон гидрогетит зэрэг хүдрийн эрдсүүдийг тодорхойлсон болно.
3. Хүдрийн эрдсээс пирит зонхилж, титанит тодорхой хэмжээгээр, халькопирит, халькозин, ковеллин цөөнөөр тохиолдоно. Пирит нь шар өнгөтэй, гурвалжин, тэгш өнцөгт, шоо дөрвөлжин, изометрлэг зэрэг идиоморфлог хэлбэртэй бөгөөд заримдаа ильмениттэй ассоциаци үүсгэж, зарим нэг мөхлөгүүд нь зах хэсгээрээ халькопирит, халькозин, ковеллиноор түрэгдсэн байна. Халькопирит нь ногоон шар өнгөтэй, зөв бус хэлбэртэй бөгөөд хааяадаа титаниттай ассоциаци үүсгэж, мөн халькозин, ковеллиноор захаасаа болон эмжээрлэгдэн түрэгджээ. Халькозин, ковеллин нь зөв бус хэлбэртэй мөхлөгүүдээс гадна ихэнх тохиолдолд халькопиритийг түрсэн нарийн эмжээрээр тааралдана. Халькозин нь цагаан цэнхэр, ковеллин нь хөх өнгөтэй, улаан дотоод рефлекстэй болно.

Хүснэгт -3.4 Петрографийн шинжилгээний үр дүн

Д/д	ӨТШ, №	Чулуулгийн нэр	Чулуулгийн		Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсүүдийн нэр	Эрдсийн агуулга, %	Чулуулаг бүрдүүлэгч эрдсүүдийн мөхлөгийн	
			структур	текстур			хэлбэр	хэмжээ, мм
1	ХО-1	Хувирсан жижиг-дунд мөхлөгт плагио- боржин	Гипидиоморфлог, Лепидограно- бластлаг	Цул	Плагиоклаз Кварц Калишпат Гялтгануур Хүдрийн эрдэс Титанит Ц. И.циркон	55-60 25-30 5-10 4-5 0.6 0.4 Цөөн	Призмлэг, изометрлэг Зөв бус, изометрлэг Зөв бус, хавтгай, изометрлэг Хайрслал, ялтсархаг Изометрлэг, зургаан талт, призмлэг, тэгш өнцөгт Призмлэг, изометрлэг Призмлэг, зургаан талт	0.02-3.7 0.02-5.0 0.02-2.0 0.01-0.1 0.01-0.5 0.01-0.9 0.05
2	ХО-2	Жигд бус мөхлөгт хувирсан биотиттой шүлтлэгдүү кварцат диорит	Гипидиоморфлог	Цул	Плагиоклаз Кварц Хувирсан өнгөт эрдэс Калишпат Хүдрийн эрдэс Титанит Апатит, Ц.и.циркон Төмрийн усан исэл	65-67 15-20 7-10 3-5 3 2 Цөөн Цөөн	Призмлэг, тэгш өнцөгт Зөв бус Зөв бус, хавтгай Хуудсархаг, ялтсархаг Ромбо, зургаан талт, призмлэг, тэгш өнцөгт, изометрлэг Изометрлэг, призмлэг, шаантиг Изометрлэг, зургаан талт, призмлэг Нэвчсэн	0.5-7.5 0.2-2.5 0.2-1.2 0.1-3.0 0.02-1.2 0.02-1.1 0.02-0.05 ≤0.01
3	ХО-3	Андезит	Порфирлог, үндсэн хэсэг-микролитлог	Урсгал, миндалинлаг	Плагиоклаз Хувирсан өнгөт эрдэс Галт уулын шил Хүдрийн эрдэс Титанит Кварц	68-70 13-15 10-12 5-7 Цөөн Цөөн	Призмлэг Зургаан талт, ромбо, призмлэг - Идиоморфлог Зүүлэг, зөв бус, изометрлэг, шаантиг Зөв бус	0.05-0.3 0.05-1.2 - 0.01-0.1 0.01-0.1 0.02-0.07
4	ХО-4	Гялтгануур-кварцат метасоматит	Лепидогранобластлаг Цацраг маягийн	Цул	Гялтгануур (серицит, мусковит) Кварц _{1,п} Хүдрийн эрдэс Титанит	50-55 30-35 5-10 Цөөн	Хайрслал, ялтсархаг хуудсархаг Зөв бус, изометрлэгдүү Идиоморфлог Зүүлэг, зөв бус, шаантиг	≤0.01-0.2 0.3-2.0 0.02-2.0 0.01-1.5 0.01-0.5

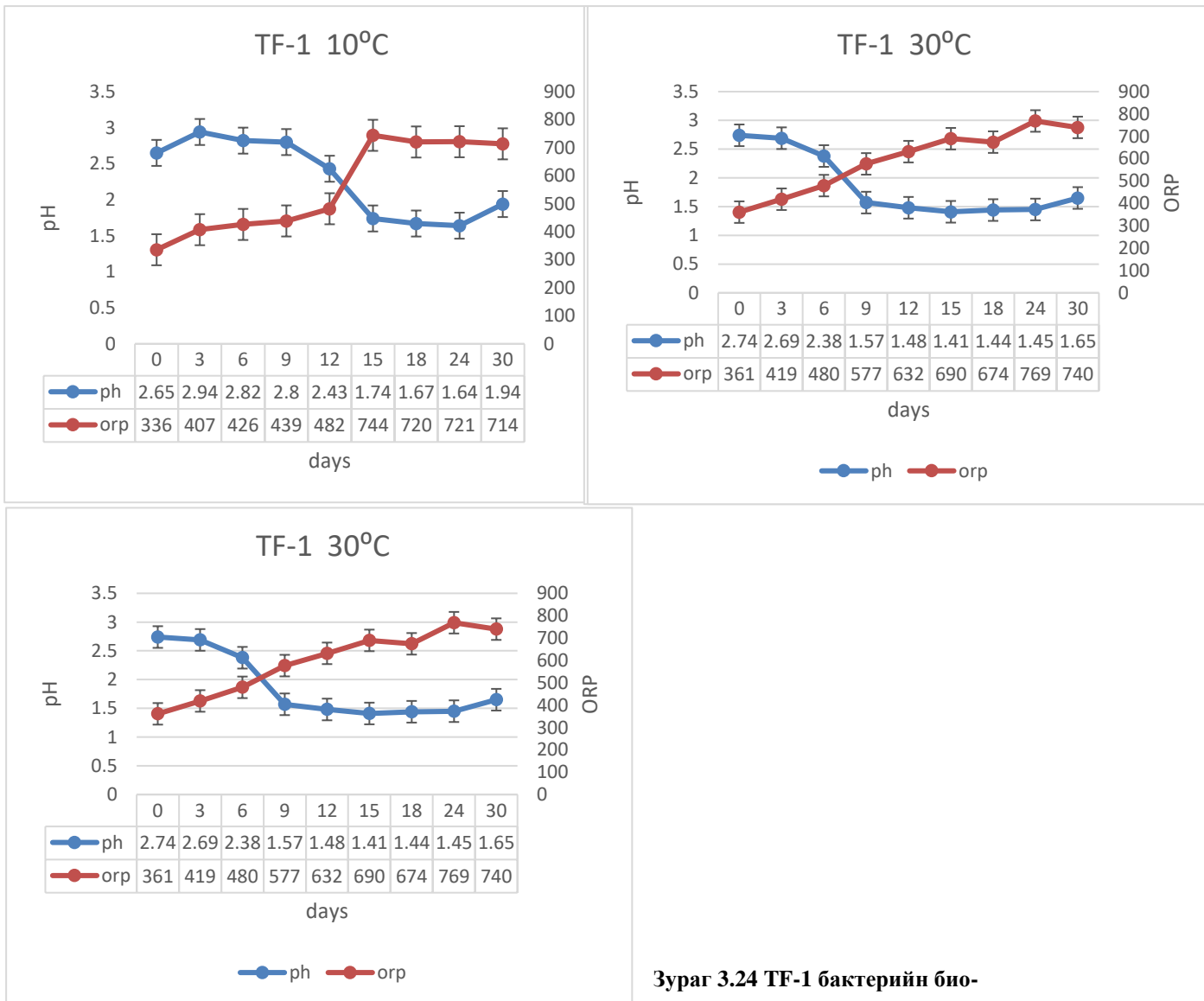
Хүснэгт -3.5 Минераграфийн шинжилгээний үр дүн

ӨТШ, №	Хүдрийн эрдсийн нэр	Хүдрийн эрдсийн агуулга, %	Хүдрийн эрдсийн		Хүдрийн эрдсийн мөхлөгийн		Хүдрийн эрдсийн төсөөлж байгаа ялгарсан дэс дараалал
			структур	текстур	хэлбэр	хэмжээ, мм	
Хувирсан жижиг-дунд мөхлөгт плагио-боржин	Пирит Титанит Халькопирит Халькозин Ковеллин	0.6 0.4 Цөөн Цөөн Цөөн	Бичил шигтгээлэг, шигтгээлэг	Цул	Изометрлэг, призмлэг, тэгш өнцөгт, зургаан талт Призмлэг, изометрлэг Зөв бус, гонзгой Зөв бус Зөв бус	0.01-0.5 0.01-0.9 0.02-0.5 0.02-0.07 0.02-0.05	Титанит→ Пирит→ Халькопирит→ Халькозин→ Ковеллин
Жигд бус мөхлөгт шүлтлэгдүү кварцаг диорит	Пирит Титанит Халькозин Ковеллин Халькопирит Гидрогётит	3 2 Цөөн Цөөн Цөөн Цөөн	Бичил шигтгээлэг, шигтгээлэг	Цул	Изометрлэг, призмлэг, тэгш өнцөгт, зургаан талт Призмлэг, зүүлэг, зөв бус, шаантиг Зөв бус Зөв бус Зөв бус Зөв бус, нэвчсэн		Титанит→ Пирит→ Халькопирит→ Халькозин→ Ковеллин→ Гидрогётит
Миндалинлаг андезит	Пирит Титанит	5 2	Бичил шигтгээлэг, шигтгээлэг	Цул	Идиоморфлог Зөв бус, зүүлэг, шаантиг	0.02-0.1 0.02-0.1	Пирит → Титанит
Гялтгануур-кварцаг метасоматит	Пирит Титанит Халькопирит	5-10 Цөөн Цөөн	Бичил шигтгээлэг, шигтгээлэг	Цул, судлархаг	Идиоморфлог Зөв бус, зүүлэг, шаантиг Зөв бус	0.02-1.5 0.02-0.5 0.02-0.2	Титанит→ Пирит→ Халькопирит

Зэсийн хүдрийг дан өсгөврөөр биошүлтгүйжүүлэх судалгаа

Нэгэн төрлийн болгож 0,074 мм хүртэл буталсан төлөөлөх дээжээс дан бактерийн өсгөврөөр биошүлтгүйжүүлэх туршилтыг хийж гүйцэтгэв. Төмөр исэлдүүлэгч бактерийн 9К орчноос ялган авсан TF1, TF2 дан бактериудаар туршилтыг үзүүлэв. Био-шүлтгүйжүүлэлтийг хатуу:шингэний харьцааг 1:10 харьцаатай хийж, pH, ORP, CV, нийт Fe, Cu, Fe²⁺ гэсэн үзүүлэлтүүдээр 3 хоног тутамд хянаж байв.

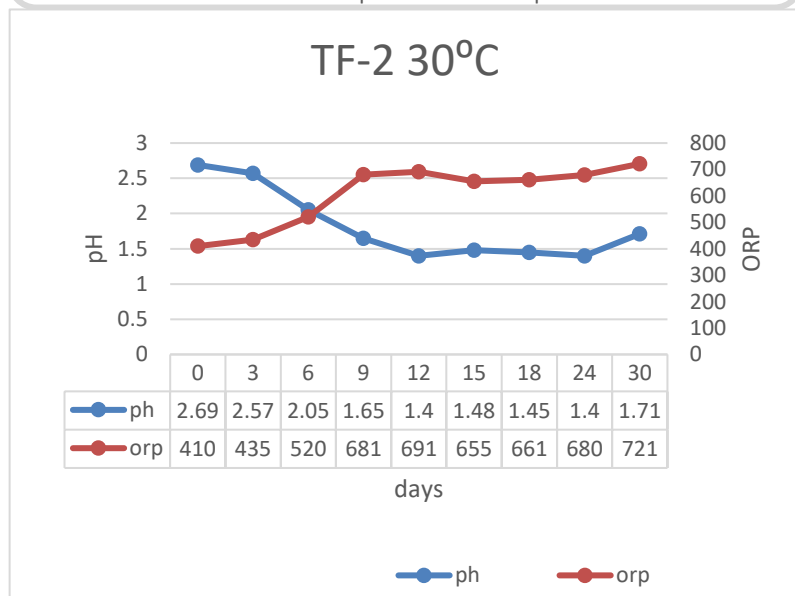
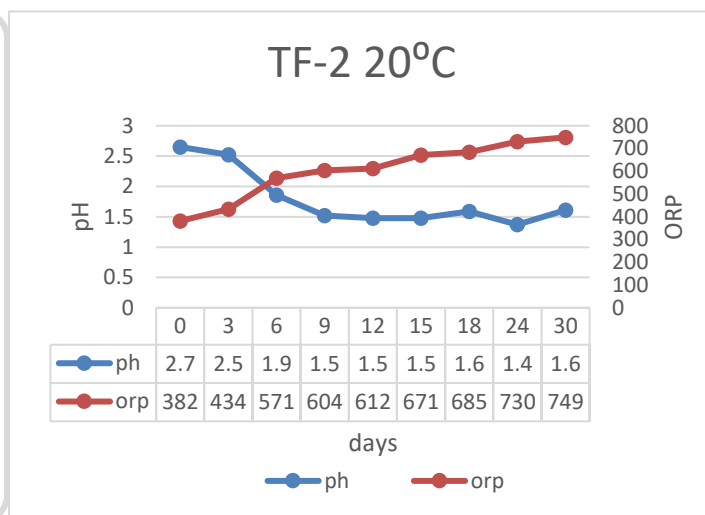
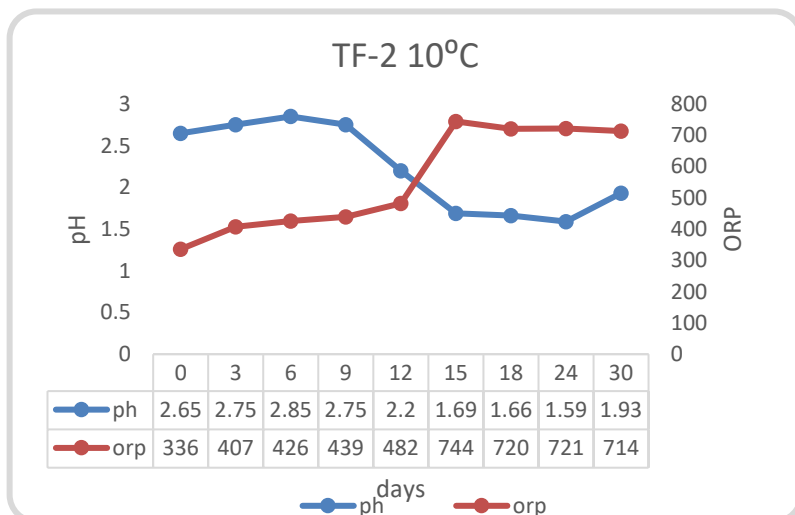
TF-1 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн үр дүнг зураг 3.24 -аар үзүүлэв.



Зураг 3.24 TF-1 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн үр дүн

“Биометаллургийн, рекультивацийн ба биотүлшний элементээр (бтэ) гүйдэл үүсгэх процессод металлын сульфидын эрдэстэй ацитофиль төрлийн микроорганизмын микробиологийн ба электрохимийн харилцан үйлчлэх механизмын судалгаа”

TF-2 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн pH болон ORP-ийн үр дүнг зураг 3.25 -аар, TF1 болон TF2 бактериудын био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн нийт төмрийн агуулгын өөрчлөлт, зэс авалтыг зураг 3.26-д тус тус үзүүлэв.



Зураг 3. 25 TF-2 бактерийн био-шүлтгүйжүүлэлтийн pH болон ORP -ийн үр дүн

“Биометаллургийн, рекультивацийн ба биотүлшний элементээр (бтэ) гүйдэл үүсгэх процессод металлын сульфидын эрдэстэй ацитофиль төрлийн микроорганизмын микробиологийн ба электрохимийн харилцан үйлчлэх механизмын судалгаа”



Зураг 3.26 TF-2 бактерийн биошүлтгүйжүүлэлтийн нийт төмөр болон зэс авалтын үр дүн

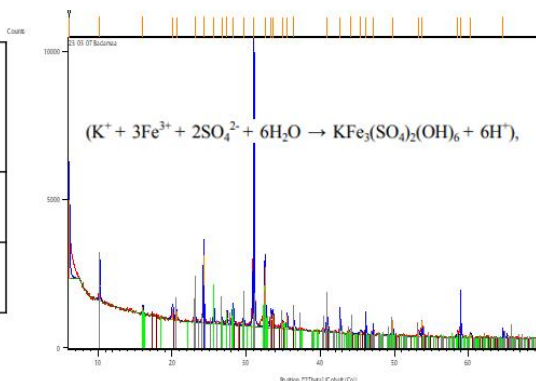
Зэс авалтаар нь био-шүлтгүйжүүлэлтийг 4 бүс болгон ангилсан ба бактерийн дасан зохицох процесс буюу өсөлт удаан явагдах үе шатаар 0-6 хоногт эхлээд 6-12 хоногт эрчимтэй өсөх шат, 12-18 хоногт удаан өсөх шат, 18-27 хоногт тогтворжих байдалтай шатаар тус тус явагдаж байна гэж үзэв.

Бактерийн тэжээлийн орчныг нийт 100 мл уусмалд 10г хүдэр хийж био-шүлтгүйжүүлэлийн 10,20,30 градусын температурт явуулсан. Зэс авалт 30 хонгийн хугацаанд 30 градусын температурт 56,14-55,71% болсон ба нийт төмрийн агуулга буурч шингэн фаз дахь баланс алдагдсан.

Хамгийн сайн зэс авалттай байсан 30 градусын 30 хонгийн дараах 2 туршилтын хатуу хаягдалд шинжилгээ хийж үзсэн ба үр дүнг зураг 3.28-д үзүүлэв.

“Биометаллургийн, рекультивацийн ба биотүлшний элементээр (btэ) гүйдэл үүсгэх процессод металлын сульфидын эрдэстэй ацитофиль төрлийн микроорганизмын микробиологийн ба электрохимийн харилцан үйлчлэх механизмын судалгаа”

№	Дээж	Cu, ppm	Хаягдал дах металын алдагдал	Cu металл авалт, %	Fe, %
1	TF-1 хуурай хаягдал	571	37.08	62.92	4.20
2	TF-2 хуурай хаягдал	603	39.16	60.84	5.31



Тодорхойлогдсон эрдэс:

- Quartz-Кварц (Si_1O_2)
- Albite-Альбит ($Na_{1.96} Ca_{0.04} Si_{5.96} Al_{2.04} O_{16.00}$)
- Muscovite-Мусковит ($H_{1.744} Al_{2.905} F_{0.256} K_{0.86} O_{11.744} Si_2$)
- Jarosite-Ярозит ($H_6 Fe_3 K_1 O_{14} S_2$)

Зураг 3.28. Биошүлтгүйжүүлэлтийн хатуу хаягдалд хийсэн эрдсийн шинжилгээний үр дүн

Хатуу хаягдлын химийн шинжилгээний үр дүнгээс харахад зэс 571-603 мг/кг буюу ppm, төмөр 4,2-5,31% тодорхойлогдсон байна. Төмөр анхны хүдэрт 1,92% агуулгатай байсан бол хаягдал төмрийн агуулга бараг 2 дахин нэмэгдсэн нь уусмалд агуулгатай байсан Fe²⁺ нь Fe³⁺ хэлбэрт шилжин улмаар эрдсийн ярозитийн тунадас хэлбэрээр хатуу фаз руу шилжсэн болох нь харагдаж байна. Уусмалд байгаа Fe²⁺ нь Fe³⁺ төмөрлүү шилжсэн мөн уусмалын рН-ийн бууралт, исэлдэх ангижрах потенциал-ORP -ийн өсөлт, зэсийн металл авалтын өсөлт зэрэг нь бидний өсгөврлөсөн бактериүдийн ажиллагаа сайн байгааг харуулж байна.

Цаашид ярозит эрдэс үүсэх процессыг нарийвчлан судлах шаардлагатай нь харагдлаа.

Дүгнэлт

1. Нуруулдан шүлтгүйжүүлэлтийн шимт уусмалаас микроорганизмын 4 өсгөвөр ялгаж эсийн хэлбэр зүйн морфологийг тогтооход Өсгөвөр TF-1 Грам сөрөг, колони нь дугуй улбар шар, өсгөвөр TF-2 Грам эерэг, колони нь цэгэн цайвар шар өнгөтэй, өсгөвөр SA-5 Грам сөрөг, колони нь дугуй цайвар шар өнгөтэй, өсгөвөр SA-9 Грам сөрөг, колони нь жигд бус цагаан шар өнгөтэй тус тус ялгаатай бүтэцтэй байлаа.
2. Өсгөвөр TF-1, TF-2-ийг ашиглан Fe^{2+} ионы илүүдэлтэй болон дутагдалтай гэсэн 2 нөхцөлд биошүлтгүйжүүлэлт явуулахад Fe^{2+} ионы дутагдалтай үед биошүлтгүйжүүлэлт маш идэвхгүй байгаа нь ажиглагдсан. Энэ нь өсгөвөрүүд нь $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ урвалын дүнд үүсэх энергиэр амьдардаг төмөр исэлдүүлэгч бактери байна.
3. Ферро Fe^{2+} ионы илүүдэлтэй био-шүлтгүйжүүлэлтийн үеийн химийн судалгаагаар уусмалд шилжиж буй зэсийн агуулга ферро ионы дутагдалтай үеийнхээс 5 дахин их байна. Мөн ферро ионы илүүдэлтэй үеийн химийн шинжилгээгээр уусмал дахь ферро ионы хэмжээ буурсан байсан нь хүчтэй исэлдүүлэгч Fe^{3+} ион үүсч урвалыг хурдасгадаг гэдгийг баталж байна.
4. Халькопиритын биошүлтгүйжүүлэлтийн процесс дараах бүдүүвчийн дагуу явагдаж байгааг цахилгаан- химийн аргаар тогтоолоо: $CuFeS_2 \rightarrow Cu_xS (Cu_5FeS_4; Cu_9FeS_{16}) \rightarrow Cu^{2+} + Fe^{3+}$
5. Төмөр исэлдүүлэгч бактериудын зэс авалт $30^\circ C$ -т хамгийн өндөр буюу 56.14%, 55.71% байна.
6. Төмөр исэлдүүлэгч бактерийн идэвх $20^\circ C$ болон $30^\circ C$ температурт $10^\circ C$ температурынхаас илүү байсан. Үйлдвэрт сульфидын эрдсийн уусалтын хурдыг нэмэгдүүлэхийн тулд овоолгын температурыг нэмэгдүүлэх хэрэгтэй нь харагдаж байна.
7. Био-шүлтгүйжүүлэлтийг явуулахдаа уусмалын pH <2 нөхцөлд барьсан боловч хаягдалд яросит тунадасжиж, нийт төмрийн уусмал дахь баланс алдагдаж, төмөр хатуу хэлбэрт шилжсэн байна.
8. Уусмалын pH бага байгаа нь зэсийн уусалтад эерэг нөлөөтэй боловч, ORP өндөр байгаа нь яроситын идэвхгүй давхарга үүсэх сөрөг нөлөөтэй байна.

Ном зүй

- [1] F. Anjum, "Biohydrometallurgy techniques of low grade ores: A review on black shale," *Hydrometallurgy*, Vols. 117-118, pp. 1-12, 2012.
- [2] Д.Эрдэнэчимэг, Үнэт, өнгөт металлын хими технологи, Улаанбаатар: МУИС Пресс төв хэвлэх үйлдвэр, 2019, р. 28.
- [3] H. Zhao, "The dissolution and passivation mechanism of chalcopyrite in bioleaching: An overview," *Minerals engineering*, vol. 136, pp. 140-154, 2019.
- [4] Д.Нямжаргал, "Эрдэнэтийн зэсийн ядуу хүдэр, зэсийн үндсэн эрдсүүдийн биологи-химийн хавсарсан уусалтын судалгаа," р. 13, 2019.
- [5] Г.И.Каравайко, Роль тионовчх бактерий в окислений сульфидных руд Караского месторождения, 1970, pp. 171-198.
- [6] С. К. А. В.И.Каравайко, Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд, 1972, pp. 60-65.
- [7] S. A. Tanne C.K, "Electrochemical investigation of chalcopyrite bioleaching residues," *Hydrometallurgy*, vol. 187, pp. 8-17, 2019.
- [8] Д. Ж. Д.Даваасамбуу, Эрдэс элементийн олборлолт, үйлдвэрлэл, хэрэглээ, ЭТ-УБ, 2000, pp. 76-80.
- [9] M. V. D.G.Lundgren, "Chemical reaction important Bioleaching and Bioaccumulation Workshopon Biotechnology for the mining,metal-refining and fossil fuel.," *Processing Industries, Biotechnology and bioengineering*, 1986.
- [10] А.Доржпалам, Химийн технологи, Улаанбаатар, 2013.
- [11] R. ., S. S. Douglas. E, "Miging with Microber," *Biotechnology*, vol. 13.
- [12] M. Silverman, "Studies on the chemoautotrophic iron bacterium *Ferrobacillus J.Bacteriol*," vol. 78, pp. 326-331.
- [13] Д. Р. Г.И.Каравайко, Биогетехнология металлов-практическое руководство, Москва, 1989.
- [14] e. a. Jung Wang, "Investigation of Interface Reactions and Electrochemical Behaviors of Chalcopyrite Dissolution in Different Leaching Mediums," *Int J.Electrochem*, Vols. 12590-12599, 2013.

- [15] G. I. Arce E.M, "A comparative study of electrochemical behavior of chalcopyrite, chalcocite and bornite in sulfuric acid solution," *Int J.Minerals*, vol. 67, pp. 17-28, 2002.

ХАВСРАЛТ