



**БОЛОВСРОЛ,
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ
ЯАМ**



**“ЭРДЭНЭТИЙН УУЛЫН БАЯЖУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН
ХАЯГДЛААС ИОНЫ БОЛОН КОЛЛОИД ХЭЛБЭРТЭЙ ЗЭС,
МОЛИБДЕНИЙГ КОАГУЛЯЦТАЙ ХӨӨСӨН ЯЛГАРАЛТЫН
ФЛОТАЦЫН АРГААР ЯЛГАХ ХИМИ-ТЕХНОЛОГИЙН
СУДАЛГАА” СУУРЬ СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ТАЙЛАН**

(2018-2021)

Төслийн удирдагч: дэд проф. Д.Эрдэнэчимэг

2021 ОН УЛААНБААТАР

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 Сс-2018/55

“ЭРДЭНЭТИЙН УУЛЫН БАЯЖУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН ХАЯГДЛААС ИОНЫ БОЛОН КОЛЛОИД ХЭЛБЭРТЭЙ ЗЭС, МОЛИБДЕНИЙГ КОАГУЛЯЦТАЙ ХӨӨСӨН ЯЛГАРАЛТЫН ФЛОТАЦЫН АРГААР ЯЛГАХ ХИМИ-ТЕХНОЛОГИЙН СУДАЛГАА”

Сэдэвт эрдэм шинжилгээний суурь судалгааны ажлын эцсийн тайлан
(2018-2021)

Төслийн удирдагч:

Д.ЭРДЭНЭЧИМЭГ Доктор (Ph.D)

/МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ-ийн профессор/

2021 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	А.Дэлгэржаргал	Хими технологич	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	гүйцэтгэгч
3	Б.Маралмаа	Хими технологич	МУИС-ийн ХШУИС-ийн ХБИТ	гүйцэтгэгч
4	Э.Уугангэрэл	Хими технологич	АШУИС-ийн БААС	гүйцэтгэгч
5	Г.Гэрэлтуяа	Хими технологич	Геологийн Төв Лаборатори	гүйцэтгэгч
6	Ц.Цэдэв	Химийн багш	РС-инспекшн лаборатори	гүйцэтгэгч

ТӨСЛИЙН ХҮРЭЭНД ХИЙГДСЭН ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ

ИЛТГЭЛ, БҮТЭЭЛҮҮД

Нэг. ХЭЛЭЛЦҮҮЛСЭН ИЛТГЭЛ, ЗОХИОН БАЙГУУУЛСАН ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ХУРАЛ

А. Эрдэм шинжилгээний хуралд хэлэлцүүлсэн илтгэл:

1. Maralmaa.B, Koichiro.Sh, Yoshihiro.S Erdenechimeg D, Utilization of the flotation surfactant on the removal and recovery of heavy metals from industrial wastewater by precipitation and foam separation, The 1st Integrated Conference on Joint Research Program in Mongolia-2019 (ICJPM).
2. Maralmaa Byambaa, Erdenechimeg Dolgor, Koichiro Shiomori, Yoshihiro Suzuki”. Removal and recovery of heavy metals from industrial wastewater by precipitation and foam separation using lime and casein. The Proceedings of the 6th International Conference on Chemistry and Chemical Engineering, Research and Development in Chemistry, 2018.06
3. .Maralmaa Byambaa, Erdenechimeg Dolgor, Koichiro Shiomori, Yoshihiro Suzuki”. Utilization of surface active casein on the foam separation for removal of heavy metals from industrial wastewater” The Proceedings of the International Conference on Chemistry: Baikal shkola. 2018.09
4. Maralmaa.B, Erdenechimeg.D, Koichiro.Sh, Yoshihiro.S, Removal and recovery of heavy metals from industrial wastewater by precipitation and foam separation using lime and casein, The Water Environment (Kyushu-Okinawa branch) Conference, Japan Society of Water Environment, 2018.03
5. Maralmaa.B, Erdenechimeg.D, Koichiro.Sh, Yoshihiro.S, A study on removal and recovery of heavy metals from industrial wastewater by precipitation and foam separation, The 6th UOM-NUM Symposium on Environmental Sciences and Technologies, 2018.02

Хоёр. ЭРДЭМ ШИНЖИЛГЭЭНИЙ ӨГҮҮЛЭЛ

1. Tsedev Ts., Bujinlkham T., Maralmaa B., Oyun B. Erdenechimeg D., Research of copper recovery by foam separation from flotation tailing”, ISSN 2587-9022 Bulletin of ACTUAL SCIENCE, Russia, Volgograd 2020. № 11 (40) pp 17-22. <https://www.actual-science.com/archive>
2. Цэдэв.Ц, Сүхбат.Б, Оюун.Б, Эрдэнэчимэг.Д. (2020) Баяжуулалтын хаягдлаас хөөсөн ялгаралтын аргаар зэс ялган авах судалгаа, *The Environment*, Vol 2, Issue 1, Mongolian Society of Environmental Engineers and Professionals, Mongolia. pp.19-21.
3. Maralmaa Byambaa, Erdenechimeg Dolgor, Koichiro Shiomori and Yoshihiro Suzuki “Removal and Recovery of Heavy Metals from Industrial Wastewater by Precipitation and Foam Separation Using Lime and Casein” *Journal of Environmental Science and Technology*, 2018, Vol.11, Issue:1, pp1-9. (Citescore =0.73; ISSN 1994-7887, DOI: 10.3923/jest.2018.1.9.)
4. Б.Маралмаа, Э.Уугангэрэл, Д.Эрдэнэчимэг, Электрохимическая активность железа в растворах сульфида натрия с добавлением и без добавления EDTA” АКТУАЛЬНАЯ НАУКА, Россия, г. Волгоград, Выпуск № 4, ISSN: 2587-9022, 2018 г.

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

№	Сэдэв	Гүйцэтгэгч	Хамгаалсан он
А. Магистрын дипломын ажил			
1	Эрдэнэтийн үйлдвэрийн хаягдал хүдрээс зэсийг хөөсөн ялгаралтын флоатцын аргаар ялган баяжуулах судалгаа	Ц.Цэдэв	2020
2	Флоатцын сурфактант урвалжийн судалгаа	Б.Маралмаа	2019
Б. Бакалаврын дипломын ажил			
1	Эрдэнэтийн хаягдлын ширхэглэгийн фракц дахь Cu, Mo, Fe -ийн агуулга, тэдгээрийн фазын судалгаа	Б.Бурмаа	2019
2	Флоатцын хаягдлаас хөөсөн ялгаралтын аргаар зэс ялган авах хими технологийн судалгаа	Б.Сүхбат	2020

Агуулга

УДИРТГАЛ	14
БҮЛЭГ I ОНОЛЫН ХЭСЭГ	15
1.1 Зэсийн ХҮДРИЙН ШИНЖ ЧАНАР.....	15
1.2 Зэс, зэсийн ХҮДРИЙН ШИНЖ ЧАНАР.....	16
1.3 ФЛОТАЦЫН АРГА, ТҮҮНД НӨЛӨӨЛӨХ ХҮЧИН ЗҮЙЛ.....	18
1.4 ҮЙЛДВЭРИЙН ХАЯГДАЛ УСНААС ХҮНД МЕТАЛЛЫГ ЯЛГАХ АРГУУД	23
БҮЛЭГ II СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ	25
2.1 ФЛОТАЦЫН БАЯЖУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН ҮЙЛДВЭРИЙН ХАЯГДАЛ ЗУТАНГИЙН ШИРХЭГЛЭГИЙН ФРАКЦ ДАХЬ Cu, Mo, Fe -ийн ТАРХАЛТ, ЗЭСИЙН ЭРДСИЙН ФАЗЫН ШИНЖИЛГЭЭ	25
2.1.1 СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ.....	25
2.1.1.1 Судалгааны ерөнхий загварчлал	25
2.1.1.2 Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл	25
2.1.1.3 Дээжүүдэд хийгдсэн шинжилгээ	26
2.1.2 СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН	27
2.1.2.1 Ширхэглэгийн фракцийн массын эзлэх хувь	27
2.1.2.2. Зутангийн хатуу хэсгийн ширхэглэтийн фракц дахь зэс, молибден, төмрийн тархалт	28
2.1.2.3. Үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь нийт зэс, молибден, төмрийн агуулга тодорхойлсон судалгаа	29
2.1.2.4. Зэсийн фазын анализ	29
2.1.2.5. Рентген дифрактометрийн шинжилгээний (XRD) үр дүн	34
2.1.2.6. SEM-EDX-ИЙН ҮР ДҮН.....	36
Дүгнэлт	37
2.2 ҮЙЛДВЭРИЙН ҮЙЛДВЭРИЙН ХАЯГДАЛ УСАН ДАХЬ ХҮНД МЕТАЛЛЫГ ХӨӨСӨН ЯЛГАРАЛТЫН АРГААР ХӨВҮҮЛЭН БАЯЖУУЛАН ЯЛГАХ СУДЛАГАА	38
2.2.1. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ	38
2.2.1.1. СУДАЛГААНЫ ЕРӨНХИЙ ЗАГВАРЧЛАЛ	38
2.2.1.2. Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл	38
2.2.2. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН	39
2.2.2.1. Тунадасжуулах оновчтой рН ба коагулянтын нөлөөг тооцоолох	39
2.2.2.2. Хүнд металлыг тунадасжуулан, хөөсөнд ялгах флоатацлахад хэрэглэх казейны тохиромжтой агууламж	42
Дүгнэлт	47
2.3 ҮЙЛДВЭРИЙН ҮНДСЭН БОЛОН ХАМТЫН ФЛОТАЦЫН ХАЯГДЛААС ХӨӨСӨН ЯЛГАРАЛТЫН АРГААР КАЗЕЙНЫ ОРОЛЦООТОЙГООР ЗЭС ЯЛГАН АВАХ СУДАЛГАА	48
2.3.1 СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ	48

2.3.1.1	Судалгааны ерөнхий загварчлал	48
2.3.1.2	Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл	48
2.3.1.3	Дээжүүдэд хийгдсэн шинжилгээ	48
2.3.2	Судалгааны үр дүн	50
2.3.2.1	Флоацын дараах хатуу хаягдлын химийн шинжилгээний үр дүн	50
2.3.2.2	<i>Хөөсөнд ялгах флоацын аргаар баяжуулахад казейны концентрацыг тодорхойлсон үр дүн</i>	<i>51</i>
	<i>Дүгнэлт</i>	<i>55</i>
	НЭГДСЭН ДҮГНЭЛТ.....	57

Товч агуулга

Энэхүү судалгаанд сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн 2 төрлийн флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутангийн дээж ашигласан бөгөөд флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь хүдрийн жижиг хэсгийн ширхэглэгийн фракцын найрлага болон фракц бүрд зэсийн эрдсийн фазын найрлага болон тархалтыг судалсан болно. Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь хатуу хэсгийг ширхэглэгээр нь фракцаар ангилан, фракц бүрд үндсэн бүрэлдэхүүн хэсгүүд болох Cu, Mo, Fe агуулгыг тодорхойлсон.

Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь эрдсийн жижиг хэсгийн тархалтыг судлан үзэхэд зутангийн хатуу хэсгийн –(XX) 90 орчим хувийг $15\mu\text{m} < (XX) > 74\mu\text{m}$ хэмжээтэй жижиг хэсэг эзэлж байна. Дээж дэх Cu, Mo, Fe-ийн агуулгыг ширхэглэгийн фракц бүрд тодорхойлж үзэхэд Cu, Mo, Fe-ийн хамтын флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутанд 15 мкм-ээс дээш ширхэгтэй фракц-д Cu 300 мг/кг, 44 мкм-ээс дээш ширхэгтэй фракц-д 600 мг/кг байв. Түүнчлэн хамтын флоатцын дараа төмрийн эрдсийг дарах хэсгээс авсан 2-р дээжид Cu, Mo-ийн агуулга 15 мкм-ээс дээш ширхэгтэй фракц-д 4500 мг/кг, 44 мкм-ээс их ширхэгтэй фракц-д 9200 мг/кг тус тус зэсийн агууламжтай байна.

Зэсийн фазын шинжилгээгээр халькопирит (CuFeS_2) болон борнит (Cu_5FeS_4) зэрэг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдсүүд нь сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутанд голчлон агуулагдаж байна. Үйлдвэрийн пиритийг дарах үндсэн флоатцын үйлдвэрийн хаягдалд Cu, Mo илүү ихээр алдагдаж байгаа нь судалгааны үр дүнгээс харагдсан.

Үйлдвэрийн хаягдал уусмалыг загварчлан бэлдсэн хүнд металлууд бүхий уусмалаас хөөсөнд салган ялгах микро-флоатцын аргаар Cr, Cu, Cd, Pb, Mo металлуудыг ялгах зохистой нөхцөлийг тогтоосон ба сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн технологийн үйлдвэрийн хаягдал зутангаас Cu, Mo, Fe зэрэг үндсэн металлуудыг тунадасжуулан улмаар хөөсрүүлэгч, цуглуулагч урвалжийн хосолсон үүрэгтэй гадаргуугийн идэвхт бодис болох сүүний казейнийг ашиглан хөөсөнд үнэт бүрдлийг ялгах микро флоатцын туршилтыг явуулсан. Үйлдвэрийн хаягдал уусмалыг

загварчлан бэлдсэн хүнд металлуудын агуулга бүхий уусмалаас Cr, Cu, Cd, Pb-ийг 96%-ийн металл авалттайгаар салган ялгасны дараа уусмалын рН-ийг өөрчлөн 5.3 болгож Мо дахин хөөсөнд ялгах замаар боловсруулахад Мо-ийн 76% -ялган авах боломжтой байв.

Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн хаягдлын зутангаас хөөсөн ялгаралтын флоатцын туршилтаас флоатцын цуглуулагч урвалж (казейн) ын концентрацын зохистой хэмжээг 17мг/л гэж тогтоосон.

Түлхүүр үг: *Хөөсөн ялгаралтын флоатц, нарийн ширхэгтэй жижиг хэсэг, коллоид, хамт ургалттай эрдэс, пирит, халькопирит, зэсийн хүдэр, баяжмал*

Төслийн судалгааны материал ба арга зүй

Хүнд металлын агуулгатай үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан уусмал бэлтгэл: Уусмал дахь хүнд металлуудад Cu, Mo нь бидний судалгаанд авсан сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн үндсэн бүрдэл хэсэг учир эдгээр металлууд заавал байхаас гадна тэдгээрийг дагалдах Cr, Cd, Pb нарыг оролцуулсан бэлдсэн. Хүнд металлын эх уусмалын агуулгыг 10 г/л агуулгатай байхаар бэлтгэсэн ба молибден (V) хлорид, зэс (II) -ийн хлорид, кадми (II) хлорид, хар тугалга (II) хлорид, хромын (III) хлорид болон гексагидратыг тус тус хэрэглэсэн. Судалгаанд Японы Wako Pure Chemical Industries компанийн үйлдвэрлэсэн анализын цэвэр химийн бодисууд хэрэглэсэн. Туршилт судалгаанд хэрэглэсэн хүнд металл агуулсан, шүлтлэг, дунд зэргийн хатуулагтай үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсануусмалын найрлагыг хүснэгтээр үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Туршилтад ашигласан хиймэл бохир усны найрлага

Усны төрөл	Давсны агуулга(мг/л)				рН	Усны чанар	
	NaHCO ₃	CaSO ₄ *2H ₂ O	MgSO ₄	KCl		Хатуулаг(мг/л CaCO ₃)	Шүлтлэг (мг/л CaCO ₃)
Дундаж хатуулагтай	96	60	60	4	7.4-7.8	80-100	60-70

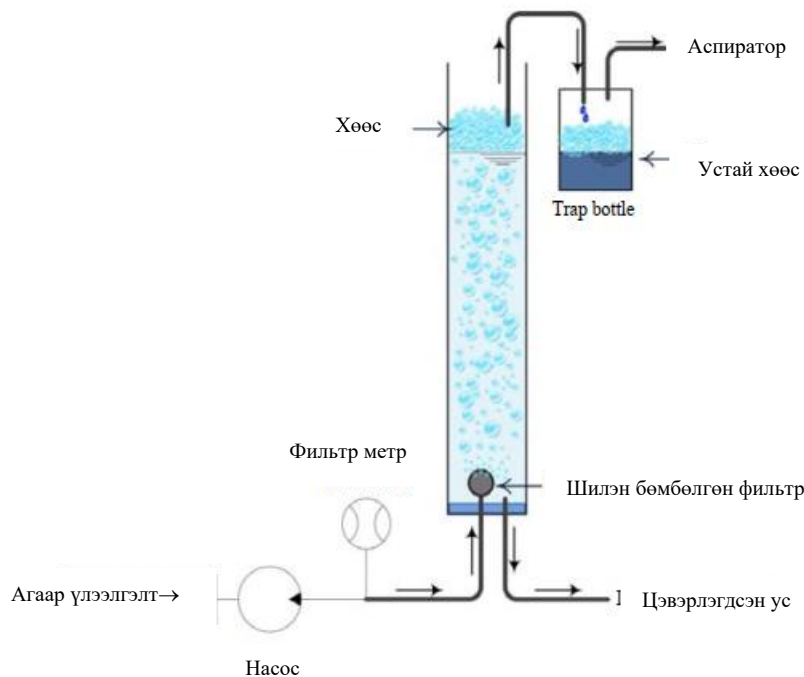
Үйлдвэрийн хаягдлын уснаас дээж авалт: Зэсийн сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн хоёр төрлийн хаягдлын дээжийг 2018 оны хавар авсан. Ихэнх

Үйлдвэр нь хаягдал усыг хаягдлын цөөрөмд хуримтлуулан, хаягдлын далангийн дээд налууугийн гадаргуугийн урсгал дренажны суваг уруу орж, улмаар шүүрлийн суваг уруу ордог. Үйлдвэрийн хаягдал хадгалагчийн хуримтлалын далангийн доороос шүүрлийн ус шүүрлийн сувгаар дамжин эргэлтийн усны насосын станц уруу орж Баяжуулах үйлдвэрлүү буцааж 100% эргүүлэн ашигладаг ба бид үйлдвэрийн хаягдал зутангийн дээжийг хаягдлын далан уруу явахаас нь өмнө хамтын флоатцын болон үндсэн флоатцын дараах хаягдлын тунгаагуурын гаралтуудаас авсан болно (Зураг 2.1.2).

Тунадасжуулалт ба седиментаци: Миямото MJS-8 маркийн хутгууртай реактор ашиглан тунадасжуулалт, седиментаци болон коагуляци явуулсан ба зутангийн рН-ийн зохистой орчинг тохируулсан. Үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсануусмалыг 500 мл-ийн эзлэхүүнтэй бэлтгэсэн. Уусмалын рН-ийг 1 М давсны хүчил (HCl) уусмал дээр 1 М NaOH болон Ca(OH)₂ уусмалаас дулаар нэмэх замаар тохируулсан. Хутгалттай реакторт коагулянтгүй болон коагулянттай (төмрийн) туршилт тавьсан ба коагулянттай туршилтыг 39% төмрийн (III) хлоридийг 5 минутын турш 150 эрг/мин хутгалттайгаар уусган хэрэглэсэн. Холимгийг 15 минут байлгасны дараа пипетка ашиглан дээж авч анализ хийсэн.

Хүнд металлуудыг тунадасжуулан хөөсөнд ялгах флоатцын арга: Гидрофоб гадаргын шинж чанартай үнэт бүрдлийг хөөсөн хэсэгрүү ялган авах процессыг гадаргуугийн идэвхт бодис сүүний уургийн (5, 10, 15 мг/л) тусламжтай явуулсан. Сүүний уургийг 1000мг/л агуулгатайгаар 0,01М NaOH -ийн уусмалд уусгана. Үйлдвэрийн хаягдал усан дахь хүнд металлуудыг 150 эрг/мин хурдтай хутгалттай реакторт 1 минутын хугацаанд тунадасжуулсны дараа сүүний уурагтай харилцан үйлчлүүлж, агаар үлээлгэснээр үүссэн хөөсөн хэсэгт үнэт бүрдлийг ялган авна. 1-р зурагт үнэт бүрдлийг хөөсөнд ялгах микрофлоатцын төхөөрөмжийг үзүүлэв. Баганын ёроолоос шилэн бөмбөлгөн шүүлтүүрээр (Киношита Рика, Япон) агаар дамжин дисперслэгдэн орж ирэх ба шилэн бөмбөлгөн фильтрийн 1.5 см диаметртэй, нүхний хэмжээ 5-10 мкм хооронд хэлбэлздэг ба агаарын бөмбөлгийг ийм хэмжээнд хүртэл жижиглэх зорилготой. Дээд хэсэгт үүссэн хөөсийг усны урсгалын насос ашиглан хуримтлуулах саванд шилжүүлнэ. Хуримтлуулсан хөөсийг "хөөстэй ус" гэж нэрлэдэг. Хөөс ялгах боловсруулах хугацаа 2-4 минут, Агаарын урсгалын хурд 0.3 л/мин. Доошоо кран онгойлгон хүнд металаас цэвэрлэгдсэн усыг ялган авна.

Шинжилгээний аргууд: Үйлдвэрийн хаягдал зутангаас цэвэршүүлсэн усан дахь болон хөөсөнд баяжуулсан баяжмал дахь хүнд металлуудын агууламжийг (ICPS 8100, Шимадзу, Япон) -индуктив хосолсон плазмын спектрометр, ICP-OES болон ААС-ийн аргуудаар тодорхойлсон. Бүх дээжийг 1 моль HNO_3 хүчлээр хүчиллэг болгосон ба хэмжилт бүрийн хувьд олон элементийн агууламж бүхий стандарт уусмалыг ашиглана. (ICP болон ААС-ийн шинжилгээнд зориулсан олон элементийн стандарт уусмал 100 мг/л В, Cd, Cr, Cu, Fe, Mo, Mn, Na, Ni, Pb, Zn, Wako Pure Chemical Industries). Шинжилгээний үр дүнг 3 давталттай туршилтын үр дүнгээр гарган авах ба үр дүнгийн стандарт хазайлтыг тооцоолсон болно. Молибдений хувьд бусад хүнд металлуудаас хөөсөнд ялгарах нөхцөл өөр бөгөөд орчны рН-ийг 1М HCl -оор 5-6 болгож тохируулан ялгасан ба уусмалын орчинг рН метр (LAQUA, Horiba, Japan) ашиглан тодорхойлсон.



Зураг 1. Хөөсөнд үнэт бүрдлийг ялгах багц тоног төхөөрөмжийн систем

Төслийн үр дүнгийн шинэлэг буюу дэвшилттэй тал:

Сульфидийн хүдрийг флоатацын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн хаягдал зутангаас нарийн, дисперсэд, коллоид ширхэгтэй үнэт бүрдэл хэсгүүдийн ширхэглэгийн фракцын шинжилгээг болон ширхэглэгийн фракцууд дахь үндсэн компонентүүд, тэдгээрийн фазын болон агуулгын тархалтыг судалгааг хийсэн нь металлургийн үйлдвэрийн хатуу хаягдлыг бүтэц, ширхэглэг, эрдсийн фазын найрлагаар нь харьцуулан нарийвчлан судалсан анхны судалгаа юм.

Хаягдлын зутангаас энгийн флоатацаар ялгах боломжгүй маш нарийн дисперсэд, коллоид ширхэгтэй болон ууссан ионы байдалтай хаягдаж буй Cu, Mo-ийг шинэ төрлийн флоатацын сурфактантын тусламжтайгаар хөөсөнд ялган флоатацлах, металл авалтыг сайжруулах технологийн судалгаа хийсэнд энэхүү суурь судалгааны ажлын шинэлэг тал оршино.

Флоатацын урвалжаар казейныг ашигласны давуу тал нь үйлдвэрлэлийн нөхцөлд флоатацын цуглуулагч урвалжаар органик (ксантогены хүчлийн нийлмэл эфир, полиакриламид) болон органик биш (дитиофосфатын натрийн давс) маш хортой бодис урвалжыг ашигладаг. Харин казейн нь амьтны гаралтай бүтээгдэхүүн төдийгүй хөөсрүүлэгч, дарагч, цуглуулагчдын үүргийг гүйцэтгэдэг давуу талтай.

УДИРТГАЛ

Аж үйлдвэр хурдацтай хөгжихийн хэрээр зэс, молибдений хэрэглээ улам ихсэж, дэлхийн төдийгүй Монгол улсын импорт, экспортын гол нэрийн бүтээгдэхүүний нэг хэвээр байсаар байна. Манай оронд нийт экспортын 93.4%-ийг ашигт малтмалын бүтээгдэхүүн эзэлж, дэлхийд эхний 10-т багтах үйлдвэр (Эрдэнэт үйлдвэр ТӨҮГ) зэс, молибдений баяжмал гарган авч экспортолдог. Гэвч, үйлдвэрийн ил уурхай гүнзгийрэх тутам зэсийн агуулга буурч, зэс молибдений сульфидийн эрдсүүдийн ширхэглэг жижгэрч, нарийн дисперсэд, коллоид болох тусам баяжмалын гарц муудах, эдийн засгийн хувьд алдагдалтай байх, ашигт малтмалаа үйлдвэрийн хаягдалд ихээр алдаж хүрээлэн буй орчинд эрсдэл учруулах зэрэг асуудлууд тулгарч байна.

Эрдэнэтийн – овоо орд газар нь Монгол улсын хойд хэсэгт орших Булган аймгийн зүүн – өмнөд хэсэгт Хангал сумын нутагт Дархан хотын төмөр замын станцаас 150 км – ийн зайд баруун урд зүгт байрладаг. Орд газар нь гранодиоритпорфир болон тодорхой хэмжээгээр гранодиорит ба кварцын диоритын эртний фазаас бүрдсэн их хэмжээний зэсийн хүдрээс тогтдог[1]. Эрдэнэт үйлдвэр нь зэсийн хүдрийг олон дамжлагын үндсэн дээр хөвүүлэн баяжуулах аргаар зэсийн баяжмалыг гарган авдаг. Зэсийн баяжмал гарган авахдаа хүдэрт агуулагдах зэс, төмөр зэрэг голлох элементээс бүрсэн эрдсийн шинж чанараас хамааруулан хүдрийг 0.074 мм хэмжээтэй болтол нунтагладаг. Гэхдээ хүдрийг нунтаглах үед чулуулаг үүсгэгч эрдэс ба сульфидүүдийн микро хатуулагийн ихээхэн зөрөөнөөс болоод сульфидүүд хэт нунтагран жижиг ангиудад (0.1мм-ээс бага) ялангуяа 0.044мм-ийн жижиг ангиудад шилждэг. Ийнхүү жижиг хэсэгт шилжсэн хүдэр нь энгийн флоатацаар баяжигддаггүй. Баяжуулах үйлдвэрийн хам-флоатацын хаягдлыг олон жил судалсан судалгаанаас авч үзэхэд хүдэр дэх зэсийн 12-14% нь түүнд алдагдаж байна. Ерөнхийдөө суларсан зэсийн эрдсийн 40% нь -0.02 мм-ийн ангид, харин 30-35% нь +0.1 мм-ийн ангид хам ургалттай хэлбэрээр тус тус хаягдаж байна [2], [3]. Энэхүү нунтаграсан жижиг ангиуд нь энгийн хөөсөн флоатацад баяжигдахгүй бөгөөд хам-флоатацын үйлдвэрийн хаягдал болон хаягдаж байна. Мөн нөгөөтээгүүр үйлдвэрийн ил уурхай гүнзгийрэх тутам зэсийн агуулга буурч, зэс молибдений сульфидийн эрдсүүдийн ширхэглэг жижгэрч, нарийн дисперсэд, коллоид болох тусам баяжмалын гарц муудах, эдийн засгийн хувьд алдагдалтай байх, ашигт малтмалаа үйлдвэрийн хаягдалд ихээр алдаж хүрээлэн буй орчинд эрсдэл учруулах зэрэг

асуудлууд тулгарч байна. Иймд, үйлдвэрлэлийн явцад алдагдаж буй зэс, молибдений нарийн ширхэгтэй компонентүүд болон хүдэрт дагалдах үнэт бүрдэл хэсгүүд, хүнд металлуудыг бага өртгөөр, богино хугацаанд, шинэ төрлийн флоатцын сурфактант ашиглан хялбар технологиор үйлдвэрийн хаягдлаас ялгах боломжийг судалснаар ашигт малтмалаа бүрэн боловсруулах, байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөллийг бууруулах, экспортын бүтээгдэхүүний эдийн засгийн алдагдлыг арилгах, үйлдвэрээс гарч байгаа усаа цэвэрлэн дахин ашиглах зэрэг боломж бүрдэнэ.

Судлагдсан байдал

Өмнөх судалгаануудыг авч үзвэл, хүнд металл болон байгалийн эрдэс материалын үнэт бүрдэл хэсэг болох зэс, молибденыг хаягдлаас ялган авах болон ундны уснаас зайлуулах тунадасжуулалт, мембран шүүлт, ион солилцол, электрохимийн, биологийн болон адсорбцийн зэрэг олон арга хэрэглэгдсэн байна. Гэсэн хэдий ч, эдгээр аргууд нь удаан, их хэмжээний хоёрдогч үйлдвэрийн хаягдал болох лаг шавар үүсгэх, өртөг өндөр, шүүлтүүрийн бөглөрөл зэрэг өөр өөрсдийн гэсэн дутагдалтай талуудтай [1].

Сүүлийн жилүүдэд, хүнд металл болон байгалийн эрдэс материалын үнэт бүрдэл хэсэг болох зэс, молибденыг зайлуулах, ялгахад бага өртөгтэй, өндөр чадамжтай болон хүрээлэн буй орчинд ээлтэй аргачлалыг эрж хайхад ихээхэн анхаарал хандуулагдсаар байна [4-8]

Өмнөх судалгаануудаас харахад, хийн бөмбөлөг ашигладаг флоатцын төрлийн аргууд нь хатуу шингэн салгах хамгийн хурдан аргуудын нэг гэдгээр танигдсан байна. Түүнчлэн, бохирдуулагч нэгдлүүдийг шингэнээс зайлуулахад adsorptive bubble separation аргад хамаарагддаг хөөсөн салгалтын арга нь энгийн ажиллагаатай, хурдан, өндөр үр өгөөжтэй, үйлдвэрийн хэмжээнд томруулахад хялбар болон өртөг бага гэдгээрээ ихээхэн сонирхол татсаар байна [9-14]. Судалгааны гол аргачлалаар, бид хүнд металл болон байгалийн эрдэс материалын үнэт бүрдэл хэсэг болох зэс, молибденыг зайлуулахад коагуляци болон хөөсөн салгалтын аргад анхаарал хандуулсан. Коагуляци болон хөөсөн салгалтын хосолмол технологи нь (үйлдвэрийн хаягдал ус ба гадаргын уснаас суспенжлэгдсэн нэгдлийг зайлуулах хатуу шингэнийг салгах арга) төмрийн хлорид болох коагулянт, сүүний казеин болох гадаргуугийн идэвхт бодисыг ашиглан өмнөх судалгаануудаар судлагдсан арга юм [9-11]. Хөөсөн салгалтын процесс нь уснаас бохирдуулагчдыг хөөсөнд хуримтлуулж зайлуулах өндөр чадамжтай байдаг. Төмрийн гидроксидын тусламжтай бий болсон

коагулянт нь казейн коллекторын харилцан үйлчлэлийн дүнд бөмбөлгийн гадаргууд наалдах боломжтой нь судлагдсанаас харагдсан ба хүнд металл болон эрдэс материалын үнэт бүрдэл болох зэс, молибден нь казейны (флоатцын сурфактант) тусламжтай бөмбөлгийн гадаргууд наалдаж гидрофоб шинж чанарт шилжих боломжтой гэж үзсэн байна. Сүүний уураг болох казейн нь хөөсрөх өндөр чадвартай, хүрээлэн буй орчинд ээлтэй болон молекул бүтэцдээ олон төрлийн металлтай холбогдогч функционал бүлэг агуулдгаас шалтгаалан өвөрмөц шинэ чанартай гадаргуугийн идэвхт уургуудын нэг юм[15-18]. Сүүний уураг казейныг усан орчноос хүнд металл ба байгалийн эрдэс бодисын үнэ цэнэтэй бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг ялгахын тулд гадаргуугийн идэвхтэй бодис болгон ашиглах талын судалгаа хомс байна.

Судалгааны зорилго:

Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн хаягдал зутангаас нарийн, дисперсэд, коллоид ширхэгтэй үнэт бүрдэл хэсгүүдийн ширхэглэгийн фракцын шинжилгээг хийх, ширхэглэгийн фракцууд дахь үндсэн компонентүүд, тэдгээрийн фазын болон агуулгын тархалтыг судлах, хаягдлын зутан дахь Си, Мо-ийг шинэ төрлийн флоатцын сурфактантын тусламжтайгаар ялгах зохистой нөхцөлийг тогтоох, металл авалтыг сайжруулах технологийн судалгаа хийхэд оршино. Энэхүү зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг тавьж ажиллав. Үүнд:

- 1. Үйлдвэрийн баяжуулалтын дараах хаягдлын ширхэглэгийн фракц дахь үнэт бүрдэл хэсэг (Си, Мо, Fe)-ийн агуулга, тэдгээрийн фазын найрлагын судалгаа хийх*
- 2. Хүнд металлуудын агуулга бүхий бэлдсэн уусмалаас металлуудыг коагулянттай болон коагулянтгүйгээр тунадасжуулан улмаар гадаргуугийн идэвхт сурфактант бодис ашиглан үнэт бүрдлийг хөөсөнд ялгах онцлогийг судалж, зохистой нөхцөлүүдийг тогтоох*
- 3. Флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал зутангаас хөөсрүүлэгч, цуглуулагч урвалж болох сүүний казейны оролцоотойгоор хөөсөнд зэсийг ялгах микрофлоатц явуулж урвалжуудын зохистой нөхцөлийг тогтоох, хүнд металлуудыг ялган авах судалгаа хийх, технологийн горим тогтоох*

БҮЛЭГ I ОНОЛЫН ХЭСЭГ

1.1 Зэсийн хүдрийн шинж чанар

Эрдэнэтийн – овоо орд газар нь Монгол улсын хойд хэсэгт орших Булган аймгийн зүүн – өмнөд хэсэгт Хангал сумын нутагт Дархан хотын төмөр замын станцаас 150 км – ийн зайд баруун урд зүгт байрладаг. Орд газар нь гранодиоритпорфир болон тодорхой хэмжээгээр гранодиорит ба кварцын диоритын эртний фазаас бүрдсэн их хэмжээний зэсийн хүдрээс тогтдог[1]. Эрдэнэт үйлдвэр нь зэсийн хүдрийг олон дамжлагын үндсэн дээр хөвүүлэн баяжуулах аргаар зэсийн баяжмалыг гарган авдаг. Зэсийн баяжмал гарган авахдаа хүдэрт агуулагдах зэс, төмөр зэрэг голлох элементээс бүрсэн эрдсийн шинж чанараас хамааруулан хүдрийг 0.074 мм хэмжээтэй болтол нунтагладаг. Гэхдээ хүдрийг нунтаглах үед чулуулаг үүсгэгч эрдэс ба сульфидүүдийн микрохатуулагийн ихээхэн зөрөөнөөс болоод сульфидүүд хэт нунтагран жижиг ангиудад (0.1мм-ээс бага) ялангуяа 0.044мм-ийн жижиг ангиудад шилждэг. Ийнхүү жижиг хэсэгт шилжсэн хүдэр нь энгийн флотацар баяжигддаггүй. Баяжуулах үйлдвэрийн хам-флотацын хаягдлыг олон жил судалсан судалгаануудаас авч үзэхэд хүдэр дэх зэсийн 12-14% нь түүнд алдагдаж байна. Ерөнхийдөө суларсан зэсийн эрдсийн 40% нь -0.02 мм-ийн ангид, харин 30-35% нь +0.1 мм-ийн ангид хам ургалттай хэлбэрээр тус тус хаягдаж байна [2], [3]. Энэхүү нунтаграсан жижиг ангиуд нь энгийн хөөсөн флотацад баяжигдахгүй бөгөөд хам-флотацын үйлдвэрийн хаягдал болон хаягдаж байна. Мөн нөгөөтээгүүр үйлдвэрийн ил уурхай гүнзгийрэх тутам зэсийн агуулга буурч, зэс молибдений сульфидийн эрдсүүдийн ширхэглэг жижгэрч, нарийн дисперсэд, коллоид болох тусам баяжмалын гарц муудах, эдийн засгийн хувьд алдагдалтай байх, ашигт малтмалаа үйлдвэрийн хаягдалд ихээр алдаж хүрээлэн буй орчинд эрсдэл учруулах зэрэг асуудлууд тулгарч байна. Иймд, үйлдвэрлэлийн явцад алдагдаж буй зэс, молибдений нарийн ширхэгтэй компонентүүд болон хүдэрт дагалдах үнэт бүрдэл хэсгүүд, хүнд металлуудыг бага өртгөөр, богино хугацаанд, шинэ төрлийн флотацын сурфактант ашиглан хялбар технологиор үйлдвэрийн хаягдлаас ялгах боломжийг судалснаар ашигт малтмалаа бүрэн боловсруулах, байгаль орчинд үзүүлэх сөрөг нөлөөллийг бууруулах, экспортын бүтээгдэхүүний эдийн засгийн алдагдлыг арилгах боломж бүрдэнэ.

1.2 Зэс, зэсийн хүдрийн шинж чанар

Зэсийн ордуудыг зэс-профирын, зэс-никелийн, цул сульфидийн, зэсийн элсэн чулуу ба занарын, скарны, судлын кварц-сульфидийн болон аранжин зэсийн гэсэн 6 төрлүүдэд хувааж үздэг. Профирын ордууд дэлхий дахины зэсийн хэрэглээний 50-60%-ийг хангадаг. Манай оронд хамгийн их тархсан зэсийн ордын төрөл нь профирын төрөл болно [19]. Профирын төрлийн ордууд эдийн засгийн хувьд зэсийн хамгийн чухал ордуудын нэг юм. Гидротермал хувиралд автагдсан сульфидийн ба ислийн хүдрийн эрдсүүд судал болон шигтгээ байдлаар их хэмжээний чулуулаг дотор агуулагдах магмын-гидротермал системийг профирын орд гэнэ. Профирын ордын хүдрийн гол эрдсүүдэд пирит, халькопирит, борнит, энаргит, халькозин, молибденит, алт, магнетит, гематит, галенит ордог.

Зэс нь байгаль дээр сульфидийн, исэлдсэн, холимог хүдэр болон аранжин зэс байдлаар тохиолддог ч эдгээрээс хамгийн өргөн хэрэглэгддэг нь сульфидийн хүдэр юм. Зарим тохиолдолд зэсийн хүдэрт бусад өнгөт металлууд ялангуяа Zn, Pb, Ni, Mo, As агуулагдахаас гадна үргэлж Au, Ag болон Se, Te, Tl зэрэг ховор элементүүд дагалдан оршдог. Зэсийн хүдэржилт нь дараах 3 бүсэд үүсдэг [1], [21].

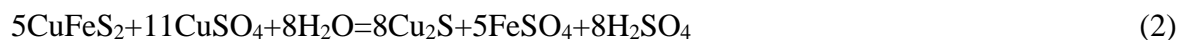
Анхдагч сульфидийн хүдрийн бүс: Зэсийн сульфидийн анхдагч хүдэржилт ерөнхийдөө газрын гадаргаас 1–5 км-ийн гүнд, 2000–3000 бар даралтад, 200–600⁰C-д үүсдэг байна. Хүдрийн үндсэн эрдсүүдэд: халькопирит (CuFeS₂), борнит (Cu₅FeS₄), теннантит (Cu₁₂As₄S₁₃), тетраэдрит (Cu₁₂Sb₄S₁₃), пирит (FeS₂), энаргит (Cu₃As₄S₄), сфалерит (ZnS), галенит (PbS) гэх мэт эрдсүүд багтана.

Исэлдсэн хүдрийн бүс: Атмосферийн тунадасны хүчилтөрөгч ба нүүрсхүчлийн хийн үйлчлэлээр ердийн температур, даралтад анхдагч сульфидүүд исэлдэн уусаж уусмалд шилждэг. Атмосферийн тунадас, тухайлбал борооны 1 л усанд ойролцоогоор 30% хүчилтөрөгч, 60% азот, 10% нүүрсхүчлийн хий агуулагдана. Гэтэл ердийн агаарт 23% хүчилтөрөгч, 75.7% азот, 0.03% нүүрсхүчлийн хий агуулагдана. Иймд борооны ус химийн идэвх маш өндөртэй байдаг. Зэсийн сульфатын (CuSO₄) зарим хэсэг чулуулаг дахь карбонатууд, фосфат, силикатуудтай, мөн хүдрийн усан дахь кальцийн карбонат болон бикарбонаттай урвалд орж тухайн нөхцөлдөө тогтвортой малахит-(Cu₂[CO₃](OH)₂), азурит-

(Cu₃[CO₃]₂(OH)₂), хризоколла-[(CuAl)₂H₂Si₂O₅(OH)₄·nH₂O], бирюза-(CuAl₆[PO₄]₄[OH]₈·4H₂O), брошантит-(Cu₃(SO₄)[OH]₆), халькантит-(CuSO₄·5H₂O), куприт-(Cu₂O), делафоссит-(CuFeO₂), аранжин зэс зэрэг зэсийн эрдсүүдэд шилжинэ. Жишээ нь:



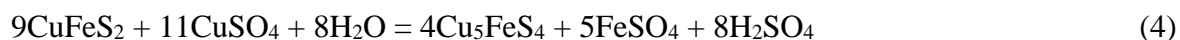
Хоёрдогч сульфидийн хүдрийн бүс: Хүчилтөрөгчөөр баяжсан агаарын тунадас хүдрийн биеийн гадаргаас доош нэвчих замдаа хүдрийн эрдсийг исэлдүүлсээр газрын доорх усны бүсэд нийлэх хүртлээ өөртөө агуулсан хүчилтөрөгчөө зарцуулж дуусгана. Усан уусмалд шилжсэн зэсийн сульфатын үндсэн хэсэг газрын доорх усны бүсэд орж ирэх ба энд зэсийн сульфат нь анхдагч сульфидүүдтэй харилцан үйлчлэлцэж тэдгээрийг задлан, халькозин, ковеллин, борнит зэрэг хоёрдогч сульфидүүдийг үүсгэнэ. Ийнхүү энэ бүсэд ангижрах урвал дараах урвалуудын дагуу явагдаж хоёрдогч сульфидүүд үүснэ.



халькозин



ковеллин



борнит

Хоёрдогч сульфидийн хүдрүүд дэх зэсийн эзлэх хувь их, зэсээр баяжигддаг тул энэ бүсийг хоёрдогч баяжилтын бүс гэж нэрлэдэг. Анхдагч болон хоёрдогч зэсийн сульфидүүдийн хүдэр дэх зэсийн агуулгыг харьцуулан хүснэгт 1-д үзүүлэв. Хоёрдогч сульфидийн хүдэрт анхдагч сульфидийн хүдрүүдийг бодвол харьцангуй өндөр зэсийн агуулгатай болох нь хүснэгтээс харагдаж байна.

Флоатац гэдэг нь froth – хөвөх гэсэн латин үгнээс гаралтай flotation буюу хөвүүлэх гэсэн үг юм. Устай муу харилцан үйлчилж, үл норох шинж чанартай эрдсүүдийн эгэл хэсгүүд сонгомолор хийн фазтай наалдан бэхлэгдэж, агаарын бөмбөлөгтэй хамт хөвөн дээш гарах үзэгдэлд флоатцын баяжуулалт үндэслэгддэг. Флоатац явуулахад түүхий эдийг 0.1 – 0.3 мм ийн зохистой хэмжээтэй жижиг хэсгүүд болтол нунтаглан усанд хийж агаараар хөөрөгдөн хөөсрүүлдэг. Гэвч Эрдэнэт УБҮ нь анхдагч хүдрийн бүсээс олборлосон хүдрээ 0.074 мм болтол нунтаглан флоатац явуулдаг. Энэ нь анхдагч хүдрийн бүсийн зонхилох эрдэс болох халькопиритийг дагалдах пиритийн эрдэстэй хамт ургалттай учраас ялгаж салгахын тулд

0.074 мм болтол нунтаглах болсон. Флотацын процессын дүнд шингэний гадаргуу дээр хөөсөн хөөсөн хэсгийг флотацын баяжмал, шингэн тунаж үлдсэн хэсгийг флотацын үйлдвэрийн хаягдал гэнэ [1],[21].

Хүснэгт 1.2.1 Анхдагч ба хоёрдогч сульфидүүд дэх зэсийн стехеометрийн агуулга

Сульфидүүдийн үүсэл	Эрдсийн нэр	Химийн томъёо	Зэсийн агуулга, %
Анхдагч	Халькопирит	$CuFeS_2$	34.6
	Энаргит	Cu_3AsS_4	48.3
	Теннантит	$Cu_{12}As_4S_{13}$	44
Хоёрдогч	Халькозин	Cu_2S	79.8
	Ковеллин	CuS	66.5
	Борнит	Cu_5FeS_4	63.5

1.3 Флотацын арга, түүнд нөлөөлөх хүчин зүйл

Флотацаар баяжуулах арга нь ионы флотац, электрофлотац, хальсан флотац, тосон флотац, хөөсөн флотац, хатуу ханан флотац, вакуум флотац, хийн флотац гэх мэт маш олон олон төрөл байдаг [5]. Хөөсөн флотац нь физик химийн үзэгдэл бөгөөд хатуу, шингэн, хийн фазуудын зааг дээр явагдана. Эрдсийн гадарга усаар норох чадвар нь шүргэлцэж буй ус, эрдэс хоёрын гадаргын туйлт чанарын ялгавраар тодорхойлогдоно. Агаарын бөмбөлгүүд гидрофоб буюу усанд нордоггүй гадаргын шинж чанартай байна. Иймд гидрофоб гадаргын шинж чанартай агаарын бөмбөлгүүд усны молекултой харилцан үйлчлэхгүй, уснаас хөнгөн учир амархан дээш хөөрнө. Дээшлэх замдаа хийн бөмбөлгүүд усанд норохгүй байгаа гидрофоб эрдсийн жижиг хэсгүүдтэй мөргөлдөн 2 молекулын хооронд эхлээд адгези үүсч улмаар когезид шилжин маш богино хугацаанд (0.001-0.002 сек) таталцан дагалдсанаар хийн бөмбөлгүүд эрдсийг усны гадарга дээр хөвүүлэн гаргаж ирнэ. Эрдсийн жижиг хэсгүүд агаартай наалдах процесс нь энерги зарцуулахгүй өөрөө аяндаа явагдах процесс бөгөөд термодинамикийн II хуульд захирагдана [21].

Гидрофоб эрдсүүд агаарын бөмбөлөгтэй наалдан дээш хөвөх явцад ихэвчлэн үнэт бүрдэл хэсэг хөөсрөн гарч ирэх ба энэ хэсгийг баяжмал гэнэ. Гидрофиль чанартай эрдсүүд агаарын бөмбөлөгт наалдахгүй усан фазад үлдэх ба үүнийг флотацын үйлдвэрийн хаягдал гэж нэрлэнэ. Агаарыг флот машины доод хэсгээс тэжээлийг дээд хэсгээс өгнө. Флотацад

хэрэглэгддэг өөр нэг физик хэмжигдэхүүн нь норолтын хязгаарын өнцгөөр Θ юм. Эрдсийн агаарын бөмбөлөгтэй үүсгэх Θ – их байх тусам гидрофоб (агаарын бөмбөлөгт наалдах чадвар сайн) шинж чанартай, флотацд сайн орно [21].

Флотацдагдаж байгаа эрдсийн жин нь хийн бөмбөлгүүдийг өргөх хүч ба агаарын бөмбөлөгтэй наалдах хүчнээс бага байх шаардлагатай. Хүнд эрдсүүдийн хувьд нунтаглагдсан эрдсүүдийн хэмжээ 0.2-0.3 мм, хөнгөн эрдсүүдийн хувьд (нүүрс мэтийн) 0.25-1.2мм - ээс ихгүй байх шаардлагатай. 5-20мкм-ээс бага нунтаглагдсан эрдсүүд флотацад муу орох бөгөөд бусад том ширхэгтэй эрдсүүдийн флотацад саад болдог. Хэт нунтаглалтаас зайлсхийхийн тулд бутлалтыг тодорхой шат дамжлагаар тохирсон хэмжээнд буталж, бутлагдсан хэсгийг зайлуулсны дараа бутлагдаагүй хэсгийг бутлах шаардлагатай [1].

Флотацын урвалжууд

Флотацын үед нунтагласан хүдрийн булингарыг цуглуулагч урвалжаар үйлчлэхэд эрдсээс аль нэгийг сонгон адсорбцолдог бөгөөд тэдгээр сонгогдсон жижиг хэсгүүдийн норголтыг багасгаснаар агаарын бөмбөлөг буюу хийтэй наалдан хамт дээш хөвөн гарч ирдэг. Флотацын процессод цуглуулагч, хөөсрүүлэгч, дарагч, тохируулагч, идэвхжүүлэгч гэсэн 5 төрлийн урвалжийг хэрэглэдэг ба урвалжуудыг үүрэг зорилгоор нь дараах байдлаар ангилна[1], [21] .Үүнд

1. Цуглуулагч Цуглуулагч урвалжууд нь ус - эрдэс фазуудын шүргэлцэх зааг дээр адсорбцлогдоно. Туйлт бүлгүүд эрдсийн зүг, харин туйлт биш цуглуулагчийн молекул бүлгүүд усыг чиглэсэн байх бөгөөд үүний үр дүнд эрдсийн гадаргуу гидрофобжсон бүрхүүлтэй болдог. Си, Pb, Ni, Au, Fe, Zn гэх мэт металлуудын сульфидийн эрдсүүдийн хувьд цуглуулагч урвалжуудад –SH - тионы – S - S - дисульфид бүлэг агуулсан янз бүрийн бодисуудаар үйлчлэн цуглуулна. Онцгой их хэрэглэдэг цуглуулагчдаар тиол болон тионы групп агуулсан дитиофосфат ((RO)₂PS₂Me) болон ксантогенатыг (ROCS-SK) хэрэглэнэ. Газрын шүлтийн металлуудын эрдсүүдийг – апатит, флюорит, барит болон суурилаг эрдсүүдэд (Fe₂O₃, MnO₂, ZrO₂ба бусад) голдуу дээд тосны хүчлүүдийг эсвэл шүлтийн саванг цуглуулагчаар ашигладаг. Харин туйлт биш бүтэцтэй хүхэр, нүүрс гэх мэт эрдсүүдийг цуглуулахад алифат нүүрс-устөрөгч агуулсан янз бүрийн тосыг ашигладаг.

2. Хөөсрүүлэгч Хөөс үүсгэгчид нь флоатацлагдсан эрдэстэй хөөсийг батжилтай байлгах үүрэгтэй. Хөөс үүсгэгч урвалжаар ус-агаарын завсар адсорбцлох, хөөс үүсгэх чадвартай бодисуудыг ашиглана.
3. Дарагч Ижил хэмжээний флоатацад ордог эрдэс бодисуудын зарим нэгийг ялган хөөсрүүлэх, нөгөө хэсгийг хөвүүлэхгүй суспензид үлдээхийн тулд үлдээх бодисуудынхаа норгогдох шинж чанарын ихэсгэх зорилгоор нэмдэг бодис. Мөн хоосон чулуулгийг агаарын бөмбөлөгтэй бэхлэгдэхээс сэргийлж дарагч урвалжийг хэрэглэдэг.
4. Тохируулагч Флоатац явуулж байгаа орчин нөлөөлж бодисын хөвөх, живэх нөхцөлийг тохируулах чанар бүхий бодис. Тохируулагч урвалж нь цуглуулагч урвалжийн тухайн эрдсийн гадаргад үйлчлэх сонгомол чанарыг нэмэгдүүлэх холбогдсон бат бэхийг нэмэгдүүлэх цуглуулагчийн зарцуулалтыг багасгах зэрэг үүрэг гүйцэтгэнэ.

Сүүний уураг-Казейн

Цагаан шаргал өнгөтэй химийн найрлагын хувьд фосфопротеидийн бүлэгт багтах ба сүүнд казейны-кальци-фосфорын нэгдэл маягаар оршдог аморф бодис юм. Шинэхэн саасан сүүнд казейн комплекс байдлаар орших казейны мицеллээс тогтдог. Казейны найрлаганд нүүрстөрөгч, устөрөгч, хүчилтөрөгч, азот, хүхэр, фосфор ордог. Казейны молекул масс 30000 кДа орчим байдаг. Казейны молекулд амин ба карбоксиль бүлгийн аль аль нь байдаг учраас амфотер шинж чанартай [22].

Казейны фракц нь 4 бүлэг уургаас тогтоно. Энэ нь α_s1 , α_s2 , β , γ казейн юм. Үнээний сүүний 2.3-2.9% -ийг казейн эзэлдэг ба нийт казейнд $\alpha_s1=38\%$, $\alpha_s2=10\%$, $\beta=36\%$, $\gamma=14\%$ тус тус байгаа нь судалгаагаар тогтоогдсон. Гэхдээ энэ үзүүлэлт нь газар нутгийн онцлог, үнээний угсаа үүлдэр зэргээс шалтгаалаад тодорхой хэмжээтэй байдаг [22].

Казейны гол фракц нь α, β, γ казейн бөгөөд бусад бодис бага хувиар агуулагддаг. Полипептидийн гинжүүд нь хоорондоо карбоксил бүлэг ба фосфорын хүчлийн үлдэгдлээрээ кальцийн гүүрээр дамжин холбогдсон байдаг. Таван зуу хүртэл тооны ийм казейны комплекс кальцийн ион ба фосфат кальцийн тусламжтайгаар холбогдон дунджаар 10-5 см диаметртэй, $0.3 \cdot 10^{(-15)}$ г жинтэй бөмбөлөг хэлбэрийн бүтэц болох казейны мицеллийг үүсгэдэг. Казейны мицелл үүсгэдэг бүтцийг гидрофоб холбоо ба фосфат кальцийн коллоид тор бэхжүүлдэг.

Хүснэгт 1.3.1. Казейны фракцуудын молекул масс изоэлектрик цэг

Казейны фракцууд	Молекул масс кДа	Изоэлектрик цэг
α – казейн	25000	4.4-4.7
β – казейн	24000	4.8-5.1
γ – казейн	19000	5.3-5.8

Нийт казейны ихэнхийг α казейн эзэлдэг. α -казейн бол гидрофоб шинжтэй. Тэр нь олон хувилбартай. В хувилбар нь 119 амин хүчлээс тогтсон фосфопротеид байдаг. Дараах амин хүчлүүд агуулагддаг ба Үүнд: аспарагины хүчил – 7, аспарагин – 8, треонин – 5, серин – 8, серинфосфат – 8, глютамины хүчил – 25, глютамин – 14, пролин – 17, глицин – 9, аланин – 9, валин – 11, метионин – 5, изолейцин – 11, лейцин – 17, лизин – 14, тирозин – 10, фенилаланин-8, гистидин-5, триптофан – 2, аргинин – 6 тус тус агуулагддаг [22-23].

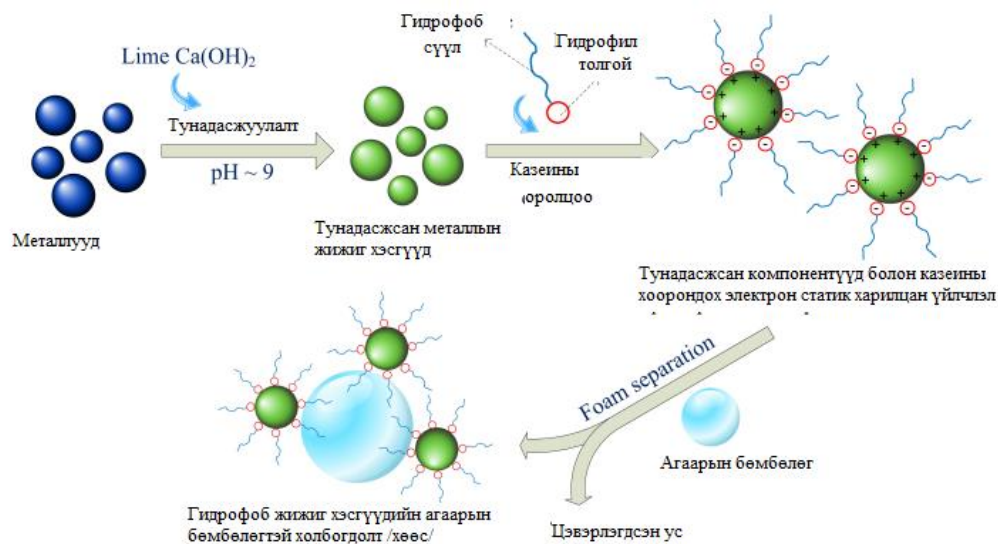
Үндсэн фракцууд болох α, β, γ казейн нь пролины агууламж өндөртэй болон жигд тархсан байдгаас шалтгаалан α ороомгийн эзлэх хувь бага зэрэг сийрэг бүтэц үүсгэдэг. Казейны комплекс температурын үйлчлэлд тэсвэртэй байдгийг хүхэр агуулсан амин хүчлүүд болох цистеин, цистин чөлөөт байдлаар байдаггүйгээр тайлбарлаж болно [23].

Казейн нь цуглуулагч, дарагч, хөөсрүүлэгчийн үүргүүдийг нэгэн зэрэг гүйцэтгэдэг [24].

Ионы болон коллоид хэлбэртэй зэс, молибденийг хөөсөн ялгаралтын аргаар ялгах химийн механизм

Судалгааны үр дүнгүүдэд үндэслэн гадаргуугийн идэвхт бодис казейныг тунадасжуулалт болон хөөсөн ялгарлын замаар металлуудыг ялгах механизмын бүдүүвч зураглалыг Зураг 1.3.1-д харууллаа. Бүдүүвчид үзүүлснээр металлуудыг ялгах механизмыг дараах байдлаар тайлбарлаж болно: Шүлтлэг орчинд шохойн чулууны оролцоотой металлуудын бүрэлдэхүүн гидроксид хэлбэрээр тунадасажна. Металлын гидроксид хэлбэрээр тунадасажсан хэсгүүд казейны аминий бүлгийн эерэг цэнэгтэй хэсэгтэй донор-акцептор механизмаар холбогдох боломжтой. Тунадасжаагүй үлдсэн металлын сульфидийн эрдсүүд хүчилтөрөгчийн оролцоотой исэлдэх процессод орох ба энэ үед сульфидийн хүдрийн хүхэр сульфат хэлбэрээр уусмалд шилжинэ. Хүхэр уусмалд исэлдэн шилжсэний дараа эерэг цэнэгтэй үлдсэн металл нь сөрөг цэнэгтэй казейний солидофиль групптэй донор-акцептор механизмаар холбогдоно (Зураг 1.3.1). Ийнхүү гадаргуугийн идэвхтэй бодис казейн

хавсарснаар тэдгээр хэсгүүд нь казейны гидрофоб сүүлээр бүрхэгдсэн тул тэдгээрийг гидрофоб коллоид шинж чанартай болгон өөрчлөлнө. Эцэст нь гидрофоб жижиг хэсгүүд нь усан орчинд бөмбөлгийн гадаргуутай амархан холбогдож, уусмалын дээд хэсэгт хөөс хэлбэрээр цугларна.



Зураг 1.3.1. Гадаргуугийн идэвхит бодис казейныг тунадасжуулалт болон хөөсөн ялгалтын замаар металлуудыг ялгах механизмын бүдүүвч зураглал

Флоатцын баяжуулалтын технологид дараах хүчин зүйлс нөлөөлнө. Үүнд:

- Хүдрийн найрлага
- Бүхэллэг
- Булингийн хатуулаг
- Температур
- Усны найрлага
- Урвалжийн төрөл, онцлог
- Флоатцын камерын зохион байгуулалт, зарчим
- Флоатцын схем
- Хугацаа
- Булингийн эзлэхүүн
- Агаар өгөлт
- pH

Эдгээр хүчин зүйлс бүрдэж байж флоатц явагдах ба үүнийг технологийн горим гэнэ. Харьцангуй том бүхэллэгтэй хүдэр баяжуулахад өтгөрүүлэх, шүүх, хатаах төхөөрөмжийн хүчин чадал ихсэх, хөөсрүүлэгчээс бусад урвалжийн хэмжээ багасах боловч эрдэс хаягдах аюултай байдаг.

1.4 Үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг ялгах аргууд

Үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг зайлуулах химийн тунадасжуулалт, ион солилцол, шингээлт, мембран шүүлтүүр, коагуляци-флокуляци, флоатц зэрэг төрөл бүрийн аргууд байдаг [25].

Химийн тунадасжуулалт: Химийн тунадасжуулалт нь харьцангуй энгийн, ажиллагаа нь хямд учраас үйлдвэрийн процессод өргөн хэрэглэгддэг, үр дүнтэй арга юм. Дотроо сульфидийн тунадасжуулалт, гидроксидын тунадасжуулалт гэсэн төрөлтэй.

Ион солилцол: Ион солилцлын арга нь кинетик хурдан, зайлуулалтын үр дүн өндөр, цэвэршүүлэлтийн хүчин чадал сайн зэрэг олон давуу талтай учраас өргөнөөр хэрэглэгддэг арга юм. Ион солилцогч давирхайгаар синтетик эсвэл байгалийн хатуу давирхайг ашиглах ба үйлдвэрийн хаягдал усан дахь металлтай давирхайн катион нь солилцдог. Ихэнх катион солилцогчид нь карбоксилийн хүчлийн бүлэг (COOH) агуулсан сул хүчлийн давирхай, сульфохүчлийн бүлэг (SO₃H) агуулсан хүчтэй хүчлийн давирхайнууд байдаг. Ион солилцлын бүтээмж болон эдийн засгийн ашигтай байдал нь ион солилцогч давирхайн хүчин чадлаас хамаардаг [25].

Шингээлт: Шингээлт нь үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг зайлуулах эдийн засагт хэмнэлттэй аргад тооцогддог ба энэ нь физикийн процесс бөгөөд Ван-Дер-Ваальсын хүчний нөлөөгөөр хатуу шингээгчийн гадаргууд үйлдвэрийн хаягдал усан дахь металлын ион нь холбогдож ялгадагт үндэслэдэг.

Мембран шүүлтүүр: Мембран шүүлтүүрийн технологи нь өндөр үр ашигтай, ажиллагаа хялбар, бага талбай эзэлдэг гэх мэт давуу талтай. Үйлдвэрийн хаягдал уснаас металлыг зайлуулахдаа ультра шүүлтүүр, эсрэг осмос, нано шүүлтүүр, болон электродиализын аргыг ашиглана.

Коагуляци-флокуляци: Коагуляцийн арга нь үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг зайлуулах чухал аргын нэг бөгөөд энэ аргаар ууссан хүнд металл болон уусдаггүй бодисыг коагуляциар зайлуулдаг. Хөнгөн-цагааны болон төмрийн сульфат, төмрийн хлорид зэрэг коагулянт урвалжийн нөлөөгөөр коллоид жижиг хэсгийн тогтвортой байдал алдагдаж коагуляцийн процесс явагддаг байна. Харин флокуляцийн нөлөөгөөр коагуляцийн процессоос үүссэн жижиг хэсгийн хэмжээ нэмэгдэж, тогтворгүй жижиг хэсгээс том флок уруу шилждэг [26].

Флотац: Флотац нь хөөс үүсгэн шингэн фазаас хүнд металлыг салгах дээр үндэслэдэг. Уусмалаас металлын ионыг зайлуулах флоатацын үндсэн процессуудад ион флотац, тунадасжуулах флотац ордог.

Электрофлотац: Электрофлотацын арга нь усны электролизоор үүссэн устөрөгч болон хүчилтөрөгчийн хийн жижиг хөөс нь бохирдуулагч бодистой хамт усны гадаргуу дээр хөвж гарч ирэх дээр тулгуурлах ба хатуу-шингэний салгах процесс юм.

Үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг ялгах флоатацын аргууд

Үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металлыг зайлуулах флоатацын арга нь орчин үед ихээхэн судлагдаж байна. Үүний шалтгаан нь флотац процесс нь өндөр бүтээмжтэй, үр ашигтай ажиллах боломжийг олгодогт байгаа юм. Флоатацын процесс нь энгийн, хурдан, эдийн засгийн хувьд ашигтай, салгалтын гарц сайн (бохирдуулагч урвалжийн агууламж $[10^{-6}-10^{-2}$ моль/л] бага байхад 95%-тай цэвэрлэдэг), алт, палладин, мөнгө гэх мэт үнэтэй ионыг сонгомлоор салган авдаг, лаг бага үүсгэдэг зэрэг олон давуу талтай [25], [27]. Үйлдвэрийн хаягдал уснаас хүнд металл ялгах флоатацын аргуудыг дараах байдлаар дурдав.

Тунадасжуулах флотац: Энэ процесс нь тохирох урвалж ашиглан ионы хэлбэрт тунадсыг үүсгэхэд суурилдаг. Металлын уусмалын агуулгаас хамааран сульфид, карбонат зэрэг анионтой давс эсвэл металлын гидроксидын тунадас үүсгэдэг.

Хөөсөөр салгах/хөөсөн флотац: Энэ арга нь ерөнхийдөө ион флотацтай төстэй боловч тогтвортой хөөс үүсгэх хөөсрүүлэгч бодис эсвэл гадаргуу идэвхт бодисыг ашигладаг. Энэ аргаар ионы, молекул, коллоид болон талст бүтэцтэй бодисыг зайлуулдаг ба хөөсөөр салгах процесс нь хий-шингэний гадаргад явагддаг [28].

Коллоидыг шингээн флоатацлах: Коллоидыг шингээн флоатацлах арга нь хүнд металлыг зайлуулах дээр тулгуурлан хөгжиж буй шинэчлэгдсэн флоатацын арга юм [29]. Энэ арга нь металлын ионыг шингээж зайлуулах аргад хамаарах ба цуглуулагч гадаргуу идэвхт бодис нь ихээхэн нөлөө үзүүлдэг. Цуглуулагч урвалжаар натрийн олеате, натрийн лаурил сульфат (SDS)-ыг ашигладаг [28].

Ион флотац: Энэ арга нь эсрэг цэнэгтэй урвалж ашиглан гадаргуугийн идэвхгүй ионыг хөөсөөр салган зайлуулдаг арга юм. Урвалж нь хөөсрүүлэгч болон цуглуулагчийн үүрэг гүйцэтгэх ба агаарын бөмбөлгийн гадарга дээр гадаргуу идэвхгүй ион шингэхэд тусалж өгдөг [25].

БҮЛЭГ II СУДАЛГААНЫ ХЭСЭГ

2.1 Флоатцын баяжуулах үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал зутангийн ширхэглэгийн фракц дахь Cu, Mo, Fe -ийн тархалт, зэсийн эрдсийн фазын шинжилгээ

2.1.1 Судалгааны материал, арга зүй

2.1.1.1 Судалгааны ерөнхий загварчлал



Зураг 2.1.1 Судалгааны ерөнхий загварчлал

2.1.1.2 Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл

Судалгаанд хүдрийг баяжуулах үйлдвэрийн зэс, молибдений хамтын флоатаас гарч буй болон пиритийг дарж Cu, Mo-ийн баяжмалыг пиритээс салгах цэвэрлэгээний болон хяналтын флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдал зутан гэсэн 2 төрлийн технологийн дээж авсан.

Хаягдлын зутанг 44мкм шигшүүрээр, харин 15мкм, 5мкм, 0.1мкм-ийн ширхэглэгийг фильтр дамжуулан, зориулалтын шүүгч багаж (Зураг 2.1.2) ашиглан дараалуулан шүүх замаар үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу хэсгийг ширхэглэгээр нь ангилсан.



Зураг 2.1.2. Вакуум шүүлтүүр, филтрүүд

2.1.1.3 Дээжүүдэд хийгдсэн шинжилгээ

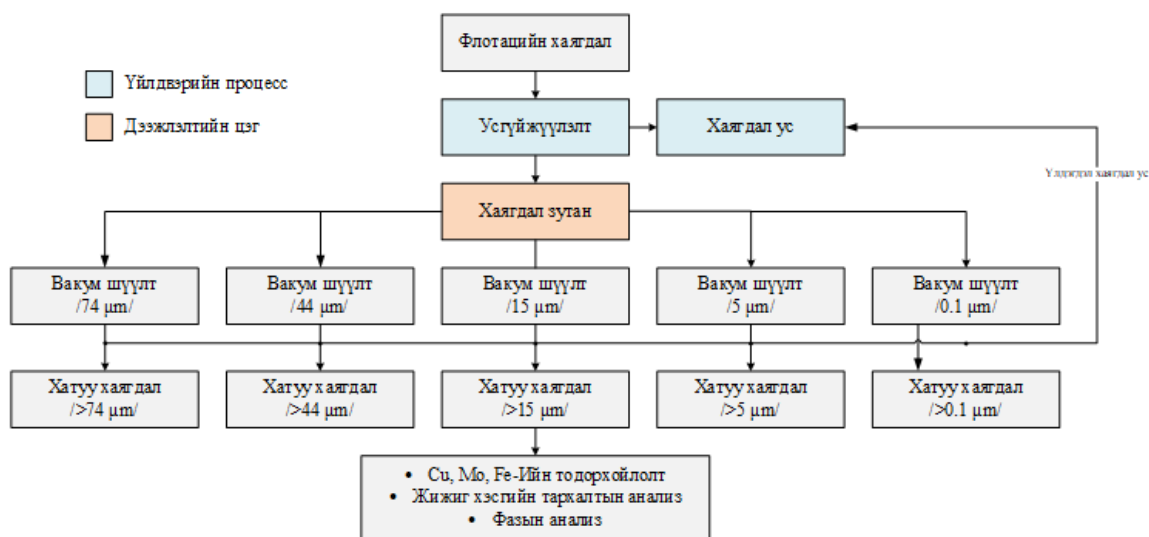
Зэс, молибден, төмрийн агуулгыг спектрофотометрийн арга буюу диэтилдитиокарбаматын аргаар тус бүрт харгалзах хандыг бэлтгэж гэрэл шингээлтийн нягтыг 436 нм, 490 нм, 440 нм-ийн долгионы уртад Cary UV 60 спектрофотометрийн багажаар хэмжиж тодорхойлсон ба Fe, Cu -ийн зарим их агуулгатай үед эзлэхүүний аргыг хэрэглэсэн.

Зэсийг спектрофотометрийн аргаар тодорхойлохдоо 25мл аликвот авч хлорформоор хандлан 25мл уусмал бэлтгэн гэрэл шингээлтийг хэмжсэн болно. Хяналтын журмаар зарим дээжийн Cu, Mo, Fe-ийн агуулгын шинжилгээг Геологийн Төв Лабораторид тодорхойлуулсан.

Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу хэсгийг том дисперс (>44µm) болон жижиг дисперс (44 µm > жижиг дисперс >15µm) системд ангилан, ангилал бүрд анхдагч болон хоёрдогч сульфидийн болон исэлдсэн хүдрийн зэсийн агуулгыг тодорхойлох фазын шинжилгээг хийсэн. Эрдсүүдийн фазын шинжилгээг тэдгээрийн уусах чанарын ялгаанд үндэслэн бүрдэл хэсгээр нь салгаж тодорхойлдог MNS4594:1998; MNS4594:1998 аргуудаар тус тус тодорхойлсон. Исэлдсэн хүдрийн зэсийн агуулгыг (Карбонат, Куприт, Тенорит, Кризоколл) тодорхойлохдоо дээжид 2 г натрийн сульфит ба 100мл хүхрийн хүчлийн шингэрүүлсэн уусмал хийж 20 минутын турш сэгсэрч исэлдсэн зэсийн уусмалын ханд бэлтгэсэн. Хоёрдогч сульфидийн эрдсийн (ковеллин, халькозин, борнит) зэсийн агуулгыг тодорхойлохдоо дээжийг тиомочевин болон 50мл давсны хүчлийн (2N) уусмалд уусган каштай шүүлтүүрээр шүүж уусмалын хандыг

бэлтгэсэн. Анхдагч сульфидийн эрдсэнд (халькопирит) зэс тодорхойлохдоо хоёрдогч сульфидийг уусган шүүхэд шүүлтүүр дээр уусгагчид уусаагүй үлдсэн буюу шүүгдсэн хатуу үлдэгдлийг 650°C-д 1цаг шатаагаад задаргаа хийж анхдагч сульфидийн зэсийн хандыг бэлтгэсэн. Нийт бэлтгэсэн хандыг 436 нм долгионыг уртад зэсийн агуулгыг Cary UV 60 спектрофотометр болон ААС-ийн аргуудыг ашиглан тодорхойлсон.

Дээжийн 44 мкм-ээс дээш болон 44 мкм-ээс доош ширхэглэхтэй, 15 мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй, 5мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй болон 0.1мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй зутангийн хатуу хаягдлуудад XRD-рентген дифрактометрийн шинжилгээ болон SEM-EDX-ийн анализыг ГТЛ болон ШУИС-ийн Нагоягийн Хээрийн Судалгааны Лабораторид тус тус хийлгэсэн ба ширхэглэгийн фракцын шинжилгээний бүдүүвчийг зураг 2.1.3-т үзүүлэв.



Зураг 2.1.3 Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу хэсгийг ширхэглэтээр нь ангилан, шинжлэсэн бүдүүвч

2.1.2 Судалгааны үр дүн

2.1.2.1 Ширхэглэгийн фракцийн массын эзлэх хувь

Үйлдвэрийн хаягдал зутангаас 100мл-ийг шүүж ширхэглэгээр нь ангилаад хатааж жинлэн ширхэглэгийн фракцын эзлэх хувийг гаргасан.

Хүснэгт 2.1.1. Эрдэнэт үйлдвэрийн зутан дахь хатуу хэсгийн агуулга

Ширхэглэгийн фракц	Хатуу хэсгийн эзлэх хувь, %
>74	1,300
>44мкм	65.423
>15мкм	34.566
>5мкм	0.006
>0.1мкм	0.006

Хүснэгтийн үр дүнг харахад 74мкм-ээс том ширхэгтэй 1,3%, 44мкм -ээс том ширхэглэхтэй эрдэс хатуу хэсгийн 65%, 15мкм -ээс том ширхэглэхтэй эрдэс хатуу хэсгийн 35%-ийг эзэлж байхад 5мкм-ээс том болон 0.1мкм-ээс том ширхэгтэй дээж хатуу хэсгийн 0.01% -д ч хүрэхгүй байна. Зутангийн хатуу хаягдлын ихэнхийг 15-74 мкм-ийн хоорондох ширхэгтэй хэсэг 99,08%-ийг эзэлж байна.

2.1.2.2. Зутангийн хатуу хэсгийн ширхэглэтийн фракц дахь зэс, молибден, төмрийн тархалт

Үйлдвэрийн хам-флоатацын үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу хэсгийг ширхэглэгээр жижиг дисперс, нарийн дисперс, микро дисперс гэж 3 ангилан зэс, молибден, төмрийн агуулгыг тодорхойлон Хүснэгт 2.1.2-д үзүүлэв.

Хүснэгт 2.1.2. Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу жижиг хэсэг дэх зэс, төмөр, молибдены агуулга

Жижиг хэсэг	Сu, мг/кг	Мо, мг/кг	Fe, %
Жижиг дисперс (>15мкм)	740	25,150	2.00
Нарийн дисперс (>5мкм)	6470	39,06	2,60
Микро дисперс (>0.1мкм)	21490	59281	10,42

Энэхүү үр дүнгээс үзэхэд микро дисперс систем буюу 5мкм-ээс 0.1мкм ширхэглэхтэй жижиг хэсэгт үнэт бүрдэл хэсгийн агууламж өндөр байна. Хэдийгээр микро-дисперсэд ширхэгтэй үйлдвэрийн хаягдал нь хатуу үйлдвэрийн хаягдал дахь эзлэх хувь нь бага боловч, энэ хэсэгт үнэт бүрдлийн агууламж өндөр 24190-59281 мг/кг байна.

2.1.2.3. Үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь нийт зэс, молибден, төмрийн агуулга тодорхойлсон судалгаа

Үйлдвэрийн хаягдал зутангаас 25 мл-ийг авч, ширгээн задаргаа хийж зутанд агуулагдах нийт зэс, молибден, төмрийн агуулгыг тодорхойлсон дүнг хүснэгт 2.1.3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 2.1.3. Үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь зэс, төмөр, молибдены агуулгыг тодорхойлсон үр дүн

Металл	Зутан дахь агуулга
Cu	850 мг/кг
Mo	3300 мг/кг
Fe	1,4%

Үүнээс харахад үйлдвэрийн хаягдалд зутанд зэсийн агуулга 8.5 мг/л байхад төмөр болон молибдений агуулга 33 мг/л, 140мг/л тус тус байна.

2.1.2.4. Зэсийн фазын анализ

Зэсийн анхдагч болон хоёрдогч сульфидийн болон исэлдсэн хүдрийн зэсийн фазын анализыг том дисперс систем, жижиг дисперс системд хийсэн ба дараах хүснэгтэд үр дүнг харуулав.

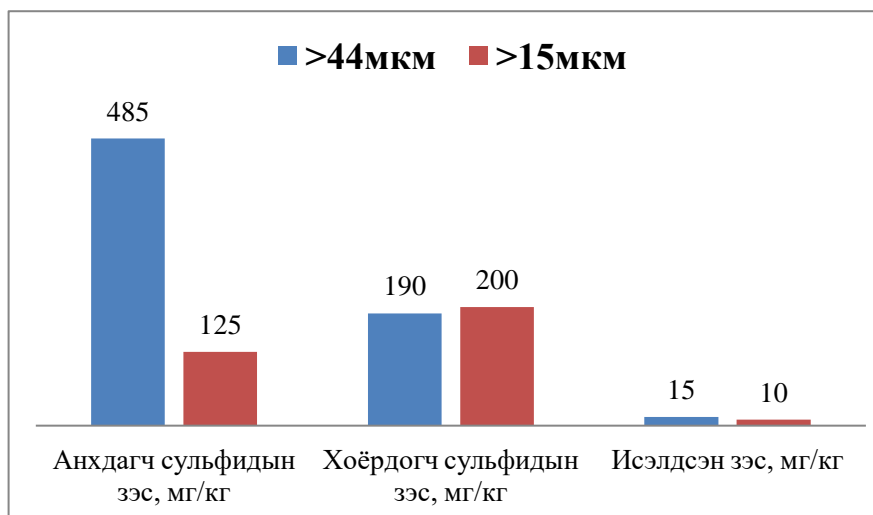
Хүснэгт 2.1.4. Зэсийн фазын анализын үр дүн

№	Зэсийн фазууд	Ширхэглэгийн хэсжээ	Cu, мг/кг	
			Дээж 1	Дээж 2
1	Исэлдсэн зэсийн хүдэр	+44µm	70.36	38.20
2		+15µm	35.57	96.25
3	Хоёрдогч сульфидийн зэс	+44µm	70.31	3118.99
4		+15µm	86.02	1587.57
5	Анхдагч сульфидийн зэс	+44µm	413.24	7120.05
6		+15µm	160.43	1145.46

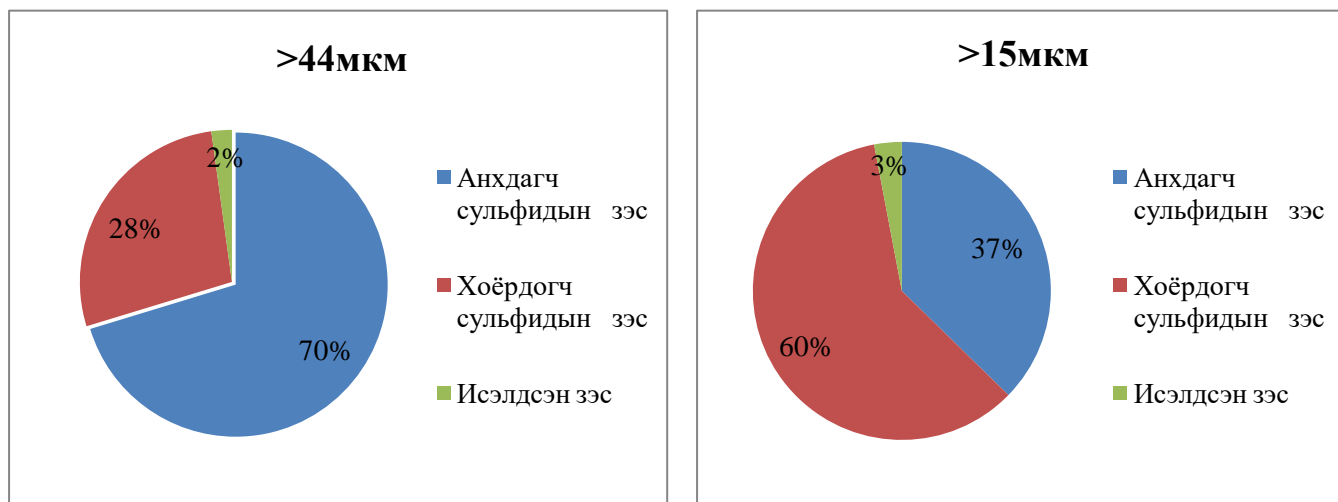
“+” тухайн хэмжээнээс дээш ширхэгтэй гэсэн тэмдэглэгээ бөгөөд үйлдвэрт болон ширхэглэгийн судалгаанд хэрэглэдэг тэмдэглэгээ юм.

Хүснэгтээс харахад зэсийн анхдагч сульфидийн хүдэр ихээр үйлдвэрийн хаягдалд агуулагдаж байгаа бөгөөд 2-р дээж буюу пиритийг дарах үндсэн флоатацын үйлдвэрийн хаягдалд анхдагч болон хоёрдогч сульфидийн хүдрүүд үйлдвэрийн хаягдалд түлхүү ихээр буюу 1145-7120 мг/кг агууламжтай байна.

Хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдал зутангийн 44мкм-ээс дээш, 15мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй флоатацын үйлдвэрийн хаягдал дахь зэсийн фазын агуулгыг тодорхойлон графикаар харьцуулан үзүүлэв(Зураг 2.1.4 ба 2.1.5).



Зураг 2.1.4. Хаягдал зутангийн том болон жижиг дисперс систем дэх зэсийн фазын агуулга



Зураг 2.1.5. Том болон жижиг дисперс систем дэх зэсийн фазын агуулгыг ширхэглэлт тус бүрээр

Дээрх үр дүнгүүдээс үзэхэд үйлдвэрийн төмөр, зэс иолибдений сульфидийн хүдрүүдийн хамтын флоатацын хаягдлын 44мкм –ээс дээш ширхэглэхтэй нийт зэсийн эрдсийн 70%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, 28%-ийг

хоёрдогч сульфидийн эрдэс буюу халькозин, ковеллин, харин 2%-ийг исэлдсэн зэсийн эрдэс буюу карбонат, куприт, делофоссит, кризоколл зэрэг эрдэс эзэлж байна. Харин 44мкм-ээс 15мкм хүртэлх ширхэглэхтэй нийт зэсийн эрдсийн 37%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, 60%-ийг хоёрдогч сульфидийн эрдэс буюу халькозин, ковеллин, 3%-ийг исэлдсэн зэсийн эрдэс буюу карбонат, куприт, делофоссит, кризоколл зэрэг эрдэс эзэлж байна.

Үйлдвэрийн хаягдлын зутангийн дээж авалтыг 2018 оны 3-р сар болон 5-р саруудад хоёр удаа хийсэн бөгөөд зэс, молибден, төмрийн сульфидийн эрдсүүдийг хамтад нь авдаг хамтын флоатацын хаягдлаас 2 удаа дээжлэлт хийсэн ба төмрийн эрдсийг дараад зэс, молибденыг ялган авдаг үндсэн флоатацын хаягдлаас 1 удаа дээжлэлт хийсэн. Эрдэнэтийн УБҮ-ийн үйлдвэрийн хаягдал зутангийн ширхэглэгийн фракц дахь Cu, Mo, Fe -ийн тархалт болон зэсийн эрдсийн фазын шинжилгээний үр дүнгүүдийг нэгтгэн хүснэгт 2.1.5-д үзүүлэв. Хүснэгтэнд Ia-дээж хамтын флоатацын хаягдлаас авсан дээж, Ib- төмрийн эрдсийг дарсны дараа зэс, молибдений эрдсийг ялган авдаг үндсэн флоатацын хаягдлаас авсан дээж бөгөөд үйлдвэрийн хаягдал дээжүүд дэх үндсэн компонентүүдийн агуулгыг ширхэглэгийн фракцуудаар болон нийтэд нь тодорхойлсон үр дүнгүүдийг нэгтгэн үзүүлсэн байна. Үр дүнгээс харахад хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдалд Cu 800-850мг/кг, Mo 3000-8228мг/кг, Fe 1.4-1.75% тус тус байна. Зэсийн эрдсийг фазуудаар нь салган тодорхойлсон дүнгээс харахад хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдалд исэлдсэн эрдсийн хэлбэрээр зэс 15-70,36 мг/кг, хоёрдогч сульфидийн эрдсийн хэлбэрээр 190-600 мг/кг анхдагч сульфидийн хэлбэрээр 125,89 -160,43 мг/кг харин үндсэн флоатацын үйлдвэрийн хаягдалд 44-77 мкм-ийн хооронд ширхэгтэй зэс анхдагч сульфидийн болон хоёрдогч сульфидийн хэлбэрээр хамгийн их буюу 3118,99-7120,05 мг/кг агуулгатай байна.

Дээжүүдэд хийсэн химийн шинжилгээний дүнг нэгтгэн хүснэгт 2.1.6-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад үйлдвэрийн өтгөрүүлэгч танканд флокулянтын тусламжтай булингартай жижиг хэсгүүд бүлгэнсний дараах үйлдвэрийн хаягдал шингэн (хаягдлын цөөрөм рүү явахаас өмнөх) суспенжилт багатай, сулавтар саарал өнгөтэй үйлдвэрийн хаягдал байсан ба Cu 5.9 мг/л, Mo 1.2 мг/л, Fe 5.6 мг/л тус тус агуулгатай байна. Зэс, молибден, төмрийн хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдал (Хвост-3)-д Cu 30,8 мг/л, Mo 4,9 мг/л, Fe 1082,7 мг/л тус тус агуулгатай байна. Хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдал зутан нь саарал өнгийн, үндсэн флоатацын хаягдлын зутантай харьцуулахад 2 дахин их суспенжилттэй зутан байв. Зэс, молибдены үндсэн флоатацын

үйлдвэрийн хаягдал (M-75) нь хар өнгийн суспенжилт ихтэй зутан байсан ба Cu 69,5 мг/л, Mo 14,3 мг/л, Fe 2234,6 мг/л тус тус агуулгатай байсан. Хаягдлын зутанд Zn, Cd, Pb, Mn, Al зэрэг металлууд дагалдан хаягддаг болох нь харагдаж байна.

Хүснэгт 2.1.5 Үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал зутангийн ширхэглэгийн фракц дахь Си, Мо, Fe -ийн тархалт болон зэсийн эрдсийн фазын шинжилгээний үр дүнгүүдийн нэгтгэл

Дээжийн нэр		Дээж Ia (03)		Дээж Ib (05)		Дээж II (05)		Фракц, %	d [мкм]				
Me	d [мкм]	Агуулга [мг/кг]		Агуулга [мг/кг]		Агуулга [мг/кг]							
		Зутанд	Хатуу хэсэгт	Зутанд	Хатуу хэсэгт	Зутанд	Хатуу хэсэгт	Зутанд	Хатуу хэсэгт				
Cu	>74	Бүх фаз	850		800		5900	1.300%	>74				
	>44	Исэлдсэн Си эрдэс				15.98			70.36	38.2	65.423%	>44	
		Хоёрдогч сульфидийн Си эрдэс		-		190.01		600	70.31	3118.99			
		Анхдагч сульфидийн Си эрдэс				485.11			413.24	7120.05			
	>15	Исэлдсэн Си эрдэс		740		10.94		300	35.57	4500	96.25	34.566%	>15
		Хоёрдогч сульфидийн Си эрдэс				200			86.02		1587.57		
		Анхдагч сульфидийн Си эрдэс				125.89			160.43		1145.46		
>5	Бүх фаз	6470	-	-	-	-	0.006%	>5%					
>0.1	Бүх фаз	21490	-	-	-	-	0.006%	>0.1%					
Mo	>74	Бүх фаз	3300	-	8228	-	23.74	-	-				
	>44	Бүх фаз		-		-		-	-	-	-		
	>15	Бүх фаз		25.15		-		-	-	-	-	-	
	>5	Бүх фаз		39.061		-		-	-	-	-	-	
	>0.1	Бүх фаз		59.281		-		-	-	-	-	-	
Fe	>74	Бүх фаз	1.40%	-	1.75%	-	>10%	-	-				
	>44	Бүх фаз		-		-		-	-	-	-		
	>15	Бүх фаз		2.000%		-		-	-	-	-	-	
	>5	Бүх фаз		2.604%		-		-	-	-	-	-	
	>0.1	Бүх фаз		10.417%		-		-	-	-	-	-	

Хүснэгт 2.1.6 Үйлдвэрийн гурван төрлийн үйлдвэрийн хаягдал зутанд хийсэн химийн шинжилгээний дүн

	pH	Булингар, TU	Нийт ууссан хатуу, мг/л	Цахилгаан дамжуулалт, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Металлуудын анхны концентрац, мг/л							
					Al	Mn	Fe	Ni	Zn	Cr	Cd	Pb
Дээж w/w	7.6	23.0	1072.0	2070.0	1.1	0.1	5.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.4
Дээж I	6.5 - 8.5	>1000	1029.0	2355.0	3177.5	43.2	1082.7	1.6	3.9	2.4	1.2	7.8
Дээж II	6.5 - 8.5	740.0	985.0	1850.0	415.2	16.0	2234.6	1.5	1.5	5.4	1.2	4.3

Дээж w/w

Өтгөрүүлэгчид флокулянтын тусламжтай флокуляцлагдсаны дараах үйлдвэрийн хаягдал шингэн

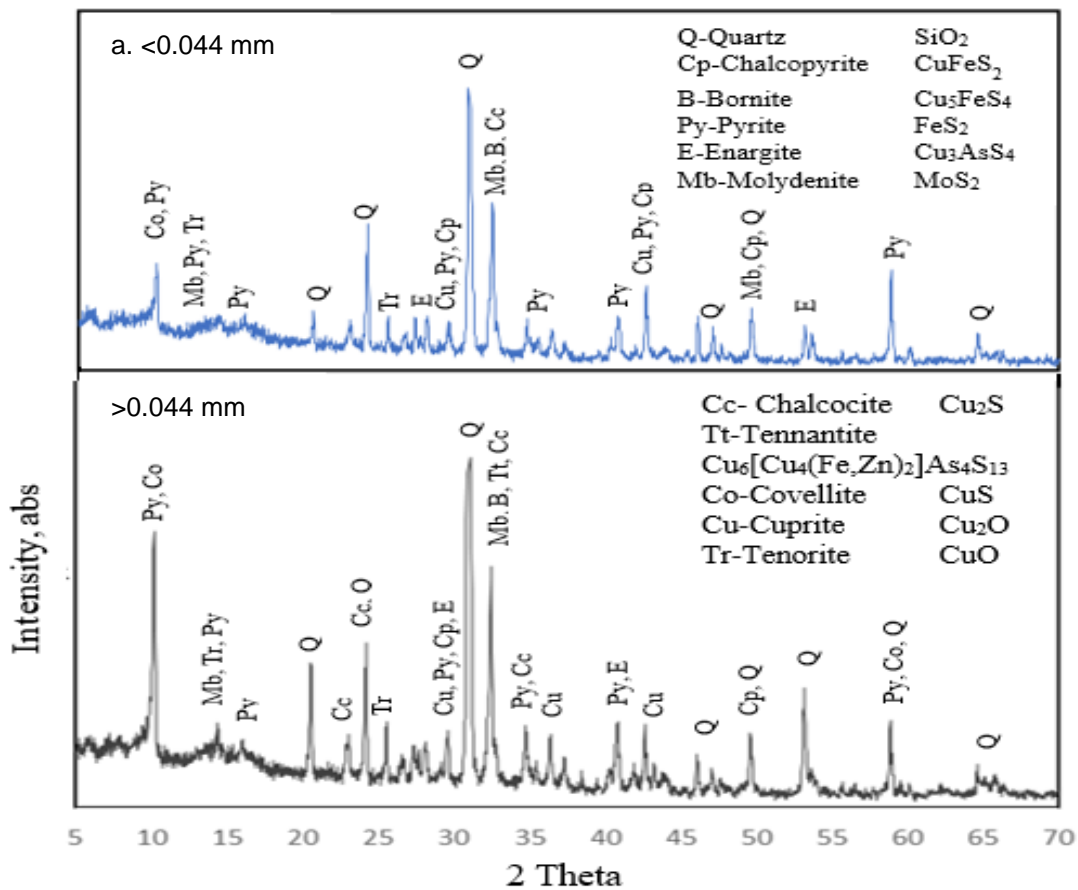
Дээж I Зэс, молибден, төмрийн хамтын флоатацын үйлдвэрийн хаягдал (Хвост-3)

Дээж II Зэс, молибдены үндсэн флоатацын үйлдвэрийн хаягдал (M-75)

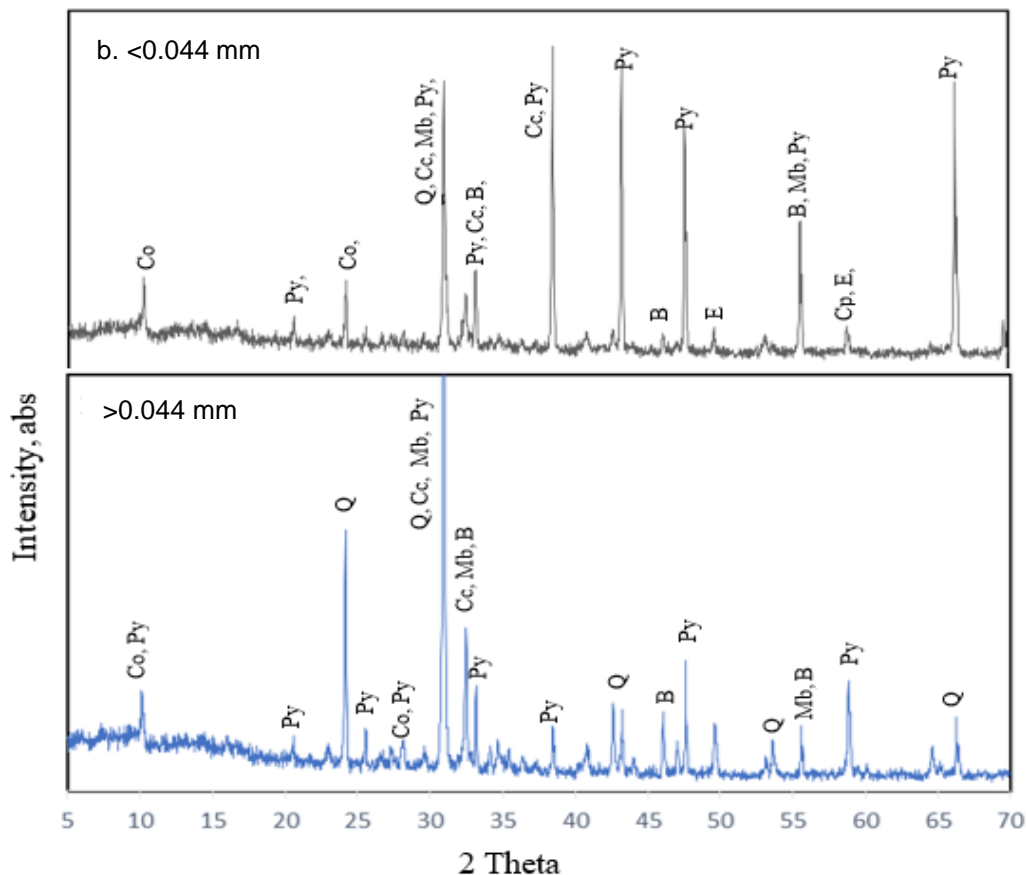
Бүх үр дүн 3 удаагийн хэмжилтээр дундажлагдсан.

2.1.2.5. Рентген дифрактометрийн шинжилгээний (XRD) үр дүн

Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн 44 мкм-ээс дээш болон доош ширхэглэхтэй гэсэн 2 төрлийн дээжийг харьцуулсан байдлаар рентген дифрактометрийн шинжилгээний үр дүнд тооцоолол хийж дараах хоёр графикийг гарган авсан болно.



Зураг 2.1.6. Хамтын флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутангийн 44мкм-ээс их болон бага ширхэглэхтэй эрдсийн рентгенграмм

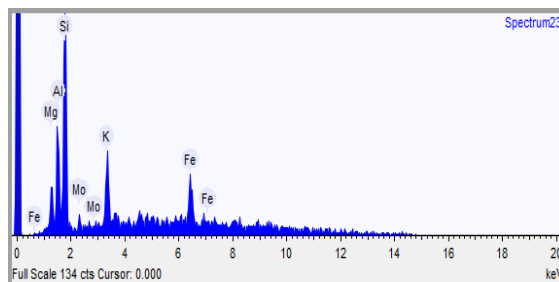
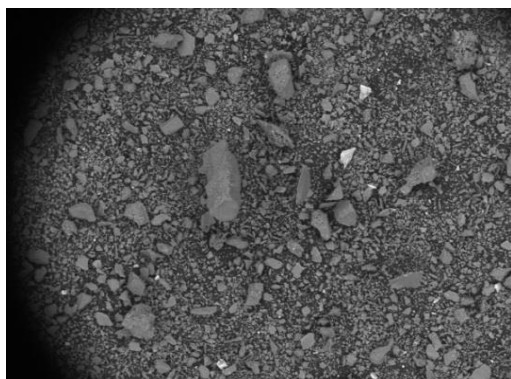


Зураг 2.1.7. Үндсэн флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутангийн 44мкм-ээс их болон бага ширхэглэхтэй эрдсийн рентгенграмм

Хамтын болон сонгомол үндсэн флоатцын хатуу хаягдлын рентген туяаны дифракцийн шинжилгээний дүнг Зураг 2.1.7-2.1.8-д үзүүлэв. Зураг 2.1.7-аас хамтын флоатцын хатуу үйлдвэрийн хаягдал нь пирит, борнит, халькозит, халькопирит, куприт, тенорит зэрэг зэсийн эрдсүүд байна. 44мкм-ээс доош ширхэгтэй дээжид халькопирит, пирит түлхүү илэрсэн байна. Зураг 2.1.8-д бид сонгомол буюу үндсэн флоатцын хатуу хаягдлыг пирит, ковеллит, халькозит, халькопирит болон куприт, тенорит зэрэг исэлдсэн зэсийн эрдсүүд байгааг харж болно. Мөн 44 мкм-ээс доош ширхэгтэй дээжид үнэт бүрдлүүд анхдагч сульфидийн эрдсийн хэлбэрээр илүү байгааг харуулж байна.

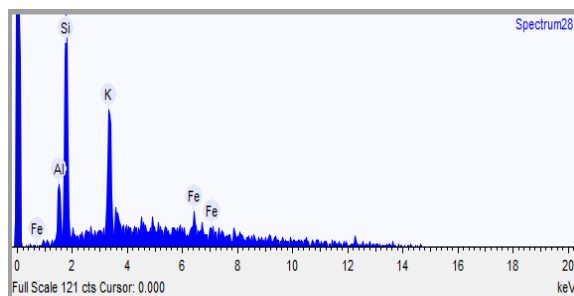
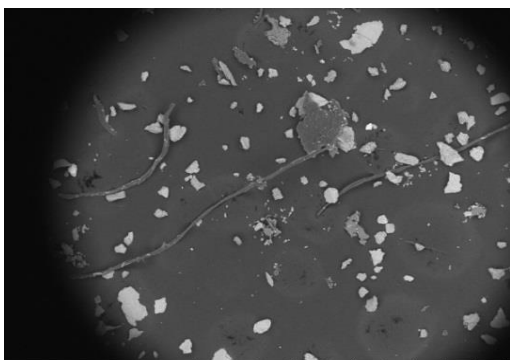
2.1.2.6. SEM-EDX-ийн үр дүн

Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн 15 мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй, 5 мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй болон 0.1 мкм-ээс дээш ширхэглэхтэй зутангийн хатуу үйлдвэрийн хаягдалд SEM-EDX-ийн анализ хийхэд дараах үр дүнг гарган авлаа.



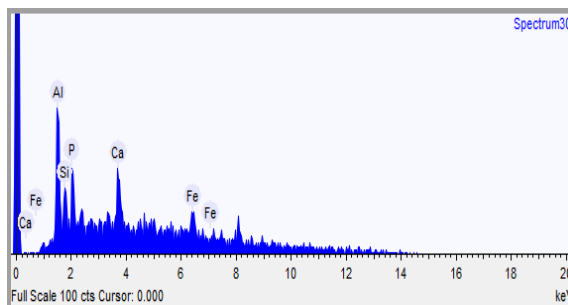
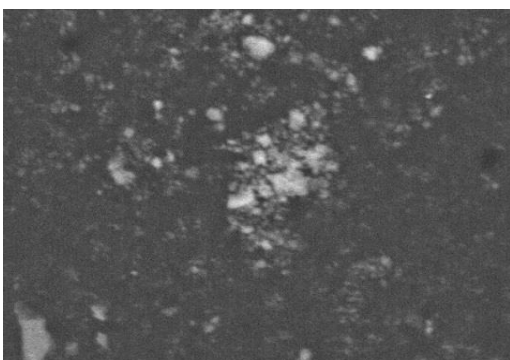
2017/05/18 L D4.5 x120 500 um

Зураг 2.1.8. Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн >15 мкм-ширхэгтэй эрдэсийн SEM-EDX-ийн үр дүн



2017/05/18 L D4.5 x100 1 mm

Зураг 2.1.9. Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн >5 мкм-ширхэгтэй эрдэсийн SEM-EDX-ийн үр дүн



2017/05/18 L D4.5 x3.0k 30 um

Зураг 2.1.10. Үйлдвэрийн хаягдал зутангийн >0.1 мкм-ширхэгтэй эрдэсийн SEM-EDX-ийн үр дүн

Энэхүү үр дүнгээс харахад хатуу үйлдвэрийн хаягдалд тухайн цэгт Al, Mg, K, Fe, Si зэрэг элемент голчлон агуулагдаж байгаа нь энэхүү үр дүн нь рентгендифрактометрийн шинжилгээгээр кварц (SiO_2), альбит, ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), мусковит ($\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) эрдсүүд илэрсэн болон химийн шинжилгээний үр дүнгүүдийг бататгаж байна.

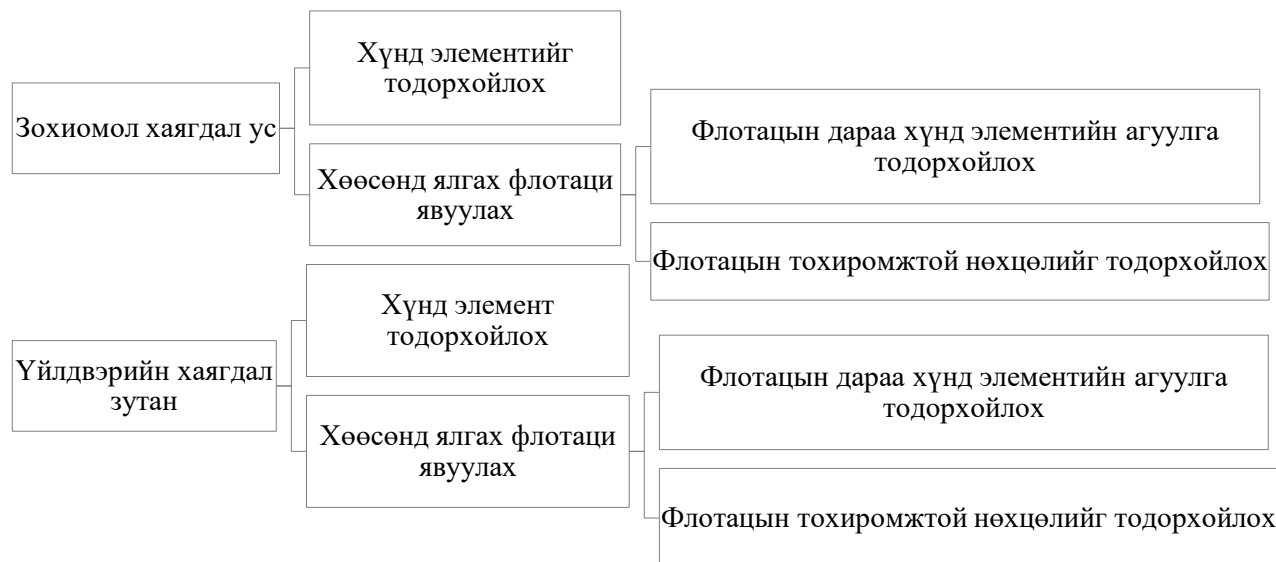
Дүгнэлт

- ✓ *Эрдэнэт үйлдвэрийн бүх сульфидийн хүдрүүд баяжигддаг хам-флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь зэс, молибден, төмрийн агуулгыг тодорхойлоход микро-дисперс системд хамгийн их буюу зэс 21490 мг/кг, молибден 59281мг/кг, төмөр 10.42% агуулгатай байна.*
- ✓ *Эрдэнэт үйлдвэрийн хам-флоатцын хаягдлын 44мкм –ээс дээш ширхэглэхтэй нийт зэсийн эрдсийн 70%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, харин 44-15мкм хоорондох ширхэглэхтэй фракц-д нийт зэсийн эрдсийн 37%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, 60%-ийг хоёрдогч сульфидийн эрдэс буюу халькозин, ковеллин зэрэг эрдсүүд эзэлж байна*
- ✓ *Ширхэглэгээр нь ангилсан хоёр төрлийн дээжид (-0.044мкм болон +0.044мкм) хийсэн рентген дифрактометрийн шинжилгээнээс үзэхэд үнсэн болон хам-флоатцын үйлдвэрийн хаягдалд 0,044мкм-ээс доош ширхэглэгтэй фракцийн хэсэгт үнэт бүрдлүүд анхдагч сульфидийн хэлбэрээр түлхүү байгаа нь харагдсан.*
- ✓ *Үйлдвэрийн хаягдалд зэс микро-дисперсэд жижиг ширхэгтэй фракц-д анхдагч сульфидийн хэлбэрээр түлхүү байгаа нь тогтоогдсон ба энгийн хөөсөн флоатцын дараагаар зориулалтын нэмэлт урвалж бүхий нарийн ширхэгтэй хүдрийг флоатцлах чадвартай орчин үеийн шинэ технологи ашиглан микро-дисперс ширхэгтэй зэсийг баяжуулан авах судалгааны ажил шаардлагатай байгаа нь харагдлаа.*

2.2 Үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал усан дахь хүнд металлыг хөөсөн ялгаралтын аргаар хөвүүлэн баяжуулан ялгах судлагаа

2.2.1. Судалгааны материал, арга зүй

2.2.1.1. Судалгааны ерөнхий загварчлал



2.2.1.2. Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл

Үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан хүнд металлаар бохирдсон ус

Cr, Cu, Cd, Pb, Mo зэрэг нь хүнд металлаар бохирдуулсан үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан усыг бий болгосон. Ингэхдээ молибден (V) хлорид, зэс (II) хлорид, кадми (II) хлорид, хар тугалга (II) хлорид, хром (III) хлорид гексагидрат тус бүрээс 10 г/л концентрацтай байхаар хүнд металлын хиймэл уусмал бэлдсэн.

Үйлдвэрийн флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдал зутангийн дээж авалт

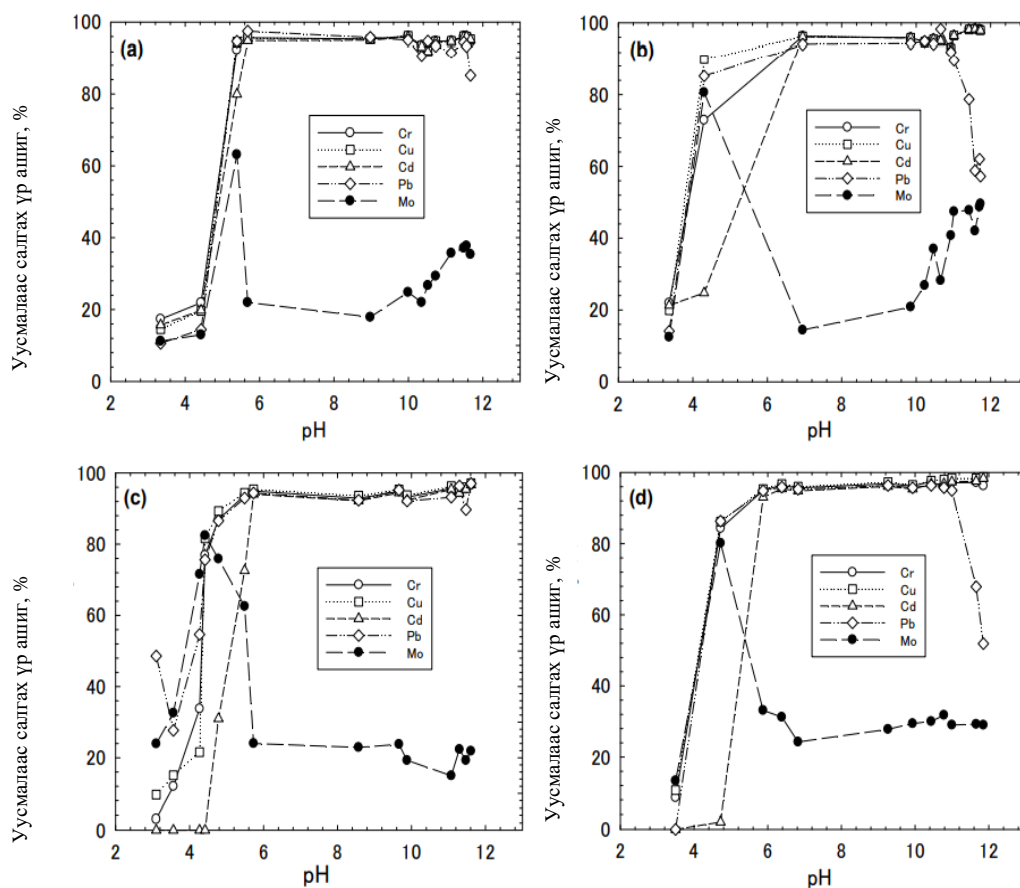
Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэр нь олон үе шаттай флоатацуудыг явуулдаг бөгөөд үйлдвэрийн хаягдлын өтгөрүүлэгч танкаас гарах үйлдвэрийн хаягдал зутанг дээж болгон авсан. Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэр нь хүдэр бутлах, нунтаглах, хөвүүлэн баяжуулах, шүүж хатаах зэрэг технологийн олон шат

дамжлагуудтай байдаг бөгөөд баяжуулах процессын үндсэн болон хам-флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдал зутанг энэхүү судалгаанд ашиглав.

2.2.2. Судалгааны үр дүн

2.2.2.1. Тунадасжуулах оновчтой рН ба коагулянтын нөлөөг тооцоолох

Уусмал дахь орчин буюу рН нь хүнд металлын ионуудын тогтвортой байдал, тунадас үүсгэх үйл ажиллагаанд нөлөөлдөг, флоатцын процесс дахь гадаргуугийн идэвхтэй бодис ба металлын ионуудын харилцан үйлчлэлийн чухал хүчин зүйлүүдийн нэг юм.



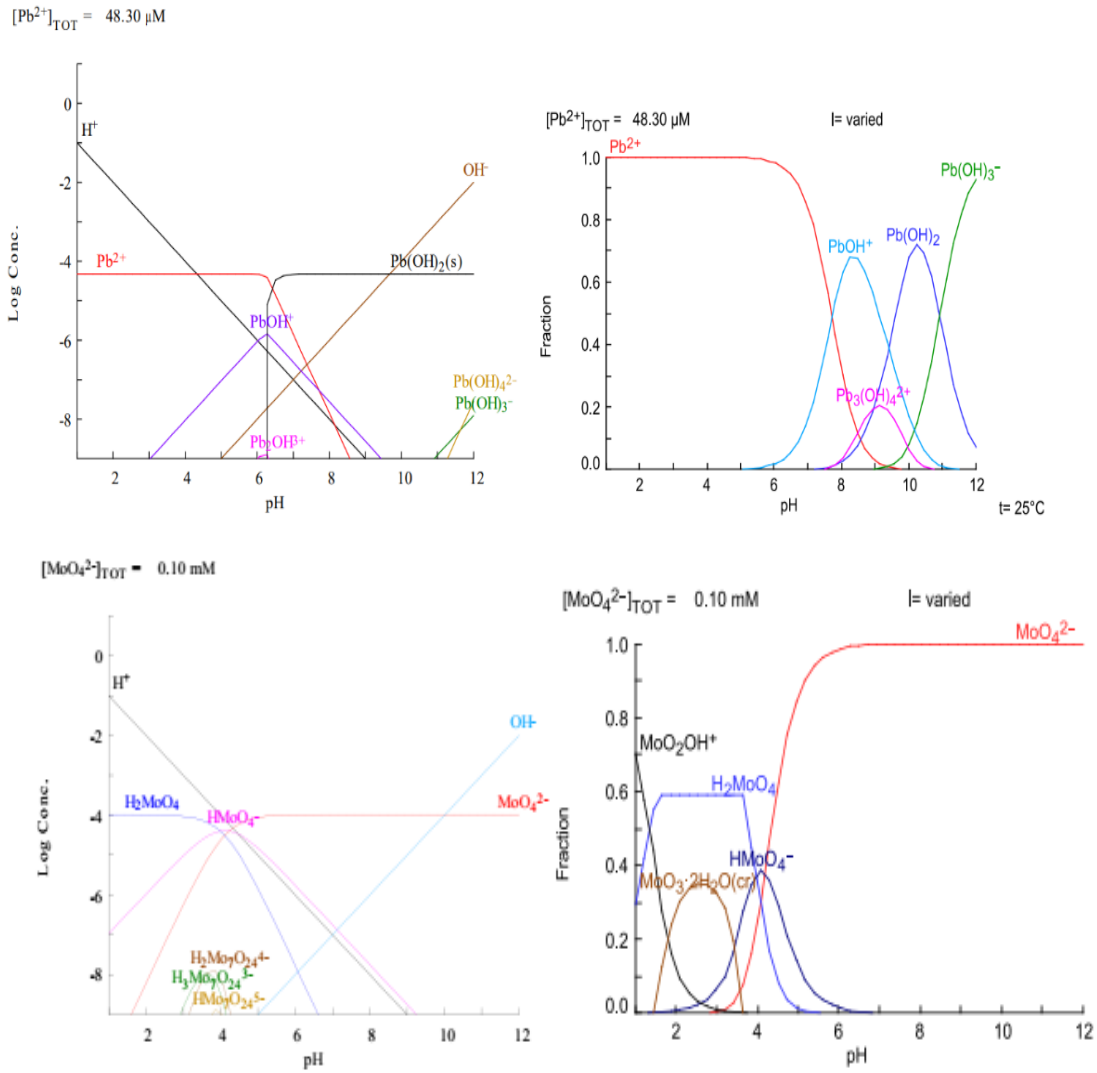
Зураг 2.2.1(a-d). Үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан уусмалаас коагулянттай болон коагулянтгүйгээр хүнд металлыг тунадасжуулж зайлуулахад рН-ийн (NaOH ба Ca(OH)₂) үзүүлэх нөлөө. Хүнд металл бүрийн анхны концентрац, 10 мг/л; холих хурд, 150 эрг/мин; холих хугацаа, 5 минут; тунгаах хугацаа 15 мин; (a) коагулянтгүй NaOH, (b) коагулянтгүй Ca(OH)₂ (c) коагулянттай NaOH, (d) коагулянттай Ca(OH)₂.

Хүнд металлын ионууд нь рН-ээс хамаарч шүлтлэг орчинд гидроксидын нэгдэл үүсгэн тунадасждаг. Уусмалын рН-ийн хяналтын процесст түгээмэл хэрэглэгддэг NaOH (эсвэл Ca(OH)₂)-ын уусмалыг коагулянттай болон когулянтгүйгээр тунадасжуулах замаар хүнд металлыг зайлуулах үр ашгийг Зураг 4.1(a-d)-т үзүүлэв. Үр дүнгээс харахад хөөсөнд ялгах флоатацаар үнэт бүрдлийг баяжуулахад коагулянтын шаардлага байхгүй болох нь харагдлаа.

Зураг 4a, 4b-д үзүүлснээр Cr, Cu, Cd, Pb-ийг зайлуулах үр ашиг нь коагулянттай болон коагулянтгүйгээр NaOH ба Ca(OH)₂-ыг аль алиныг нь хэрэглэсэн ч рН-ийн өргөн хязгаарт (рН6-11) 99% орчим байв. Харин уусмалын рН 11-ээс дээш байх үед Pb нь тогтворгүй болж, хасах цэнэгтэй нэгдлүүд болох [Pb(OH)₃]⁻ эсвэл [Pb(OH)₄]⁻² -ийг үүсгэж байна. Иймд Pb-ийг зайлуулах үр ашиг өндөр шүлтлэг орчинд тохиромжгүй байна. HYDRA болон MEDUSA (software) программ ашиглан Pb ионы хэлбэрийг тооцоолоход дээрх дурьдсан анионы хэлбэрээр хар тугалга нь рН 11-ээс дээш шүлтлэг нөхцөлд тогтвортой байна (Зураг 2.2.2)

Нөгөөтэйгүүр, Eh-pH диаграммууд (мөн Pourbaix диаграм гэж нэрлэдэг) нь усан уусмал дахь зонхилох болон тогтвортой хатуу фазуудыг тодруулахад тусалдаг бөгөөд энэхүү Pb-OH системийн Eh-pH диаграмм дагуу 11-ээс дээш рН-ийн орчинд [HPbO₂]⁻ ба [Pb(OH)₃]⁻ гэх мэт хасах цэнэгтэй хар тугалганы ионы хэлбэрээр байх нь тодорхой харагдсан. Иймээс рН тохируулагчаар ашигласан NaOH болон Ca(OH)₂ нь рН 11-ээс дээш орчинд Pb-ийг болон молибденыг уусмалаас салган ялгах боломжгүй нь харагдаж байна.

Коагулянттай болон коагулянтгүйгээр хүнд металлыг уусмалаас салгах үр ашгийг харьцуулахад коагулянтыг нэмснээр Cr, Cu, Cd, Pb-ийн ялгаралтын үр ашиг өөрчлөлт багатай байгаа нь харагдаж байна (Зураг 4c, 4d). Эерэг цэнэглэгдсэн коагулянт нь эерэг цэнэгтэй хүнд металлын төрлүүдтэй холбогдож чадахгүй бөгөөд бие биенээ түлхэж байна гэж үзлээ. Коагулянттай болон коагулянтгүйгээр Mo-ийг ялгах судалгаанд аль ч тохиолдолд металл авалт 80% байв. Дээрх судалгааны үр дүнгээс харахад Mo-оос бусад хүнд металлын хувьд тунадасжуулалтын орчны оновчтой нөхцөл нь рН 6-10, Mo-ийг авахад коагулянтгүйгээр Ca(OH)₂-ыг ашигласан тохиолдолд рН 4-5 буюу сул хүчиллэг орчинд тохиромжтой байна.

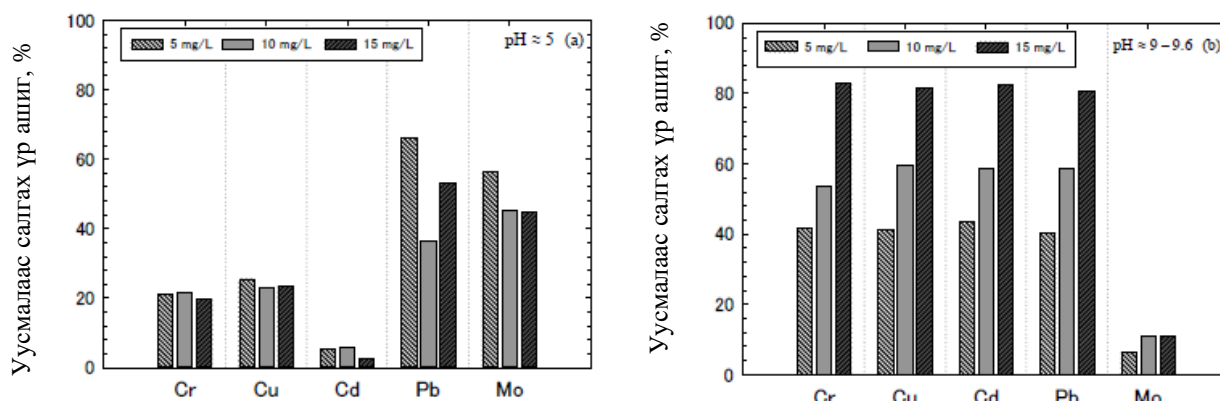


Зураг 2.2.2. рН-ын орчинд хар тугалга болон молибдений нэгдүүдлийн тархалтын диаграмм

2.2.2.2. Хүнд металлыг тунадасжуулан, хөөсөнд ялгах флоатацахад хэрэглэх казейны тохиромжтой агууламж

Гадаргуугийн идэвхтэй бодис болох цуглуулагч болон хөөсрүүлэгч үйлчилгээтэй урвалж ашиглах нь хөөсөнд үнэт бүрдлийг ялган флоатацах процессод хамгийн чухал хүчин зүйл юм. Тэдгээрийн дотроос казейн нь цуглуулагч болон хөөсрүүлэгчийн үүрэг давхар гүйцэтгэдэг. Казейн нь төмрийн гидроксид, хөнгөн цагааны гидроксидын флокулянтад амархан наалддаг бөгөөд тэдгээр гадаргууг гидрофоб буюу усанд нордоггүй болгож өөрчилдөг ба казейн нь амархан хөөсөрдөг үйлчилгээтэй. Гэхдээ казейн нь pH = 4.6-аас 4.9-ийн хооронд изо-цахилгаан цэгийн ойролцоо үүргээ гүйцэтгэж чаддаггүй[11]. Үүнээс үүдэн казейн нь pH 5-аас дээш нөхцөлд хүнд металлын гидроксидын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийг зайлуулах цуглуулагч, хөөсрүүлэгчийн үүрэг гүйцэтгэдэг нь харагдаж байна

Хөөс ялгах замаар үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан уусмалаас хүнд металлыг зайлуулахад казейны концентрацын нөлөөг 2.2.3-р зурагт үзүүлэв.



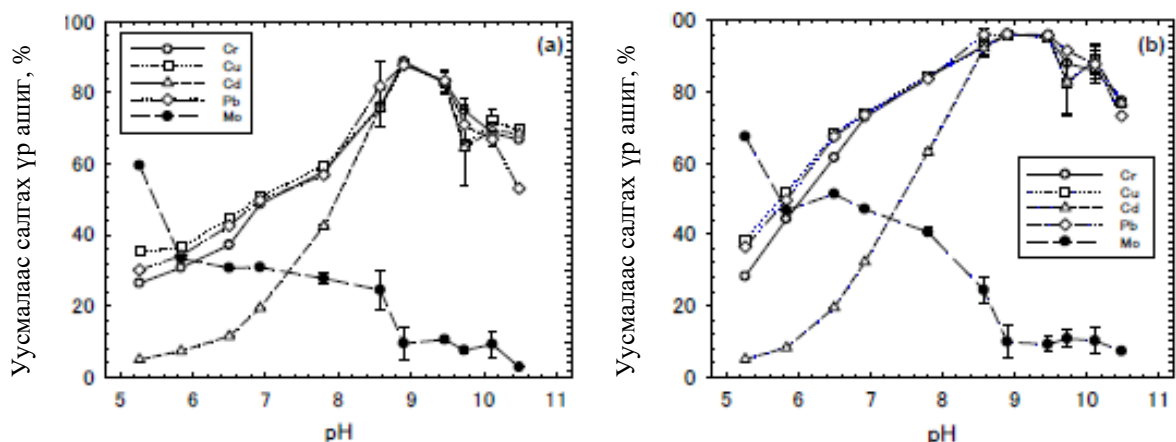
Зураг 2.2.3. Үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан уусмалаас хүнд металлыг коагулянтгүйгээр хөөсөөр ялгахад гадаргуугийн идэвхтэй бодисын (казейн) концентрацын нөлөө. (a) pH 5 орчим (б) pH 9 – 9.6.

Мо болон бусад металлын тунадасжилтын оновчтой орчинг тогтоохын тулд pH 5.0 ба 9.5 орчинг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -оор тохируулж, казейны концентрацыг 5, 10, 15 мг/л, хөөс ялгах хугацааг тус тус 2 минутаар туршилт явуулсан. Үүний дүнд Pb болон Mo-ийг зайлуулах үр ашиг нь ойролцоогоор (pH 5.0-д 50-60%) байсан. Үүний эсрэгээр Cr, Cu, Cd зэрэг бусад металлууд

сул хүчиллэг буюу рН-ийн 5-д 30% -иас бага байв. Шүлтлэг нөхцөлийг рН 9.5-д тохируулах үед Cr, Cu, Cd, Pb-ийг зайлуулах үр ашиг мэдэгдэхүйц нэмэгдсэн бөгөөд казейны бага концентрацтай (5 мг / л) үед хүнд металлыг зайлуулах үр ашиг 50% -иас бага байв. Бага хэмжээний казейн нь хүнд металлын гидроксидын коллоидыг өөрчлөх, хөөс үүсгэхэд дутагдалтай байсан. Казейны концентрац 15 мг/л хүртэл нэмэгдэхэд Cr, Cu, Cd, Pb-ийг зайлуулах үр ашиг 80% -иас дээш байв. Гэсэн хэдий ч ижил туршилтыг рН-ийн 9 орчимд Мо-г зайлуулах үр ашиг нь 20% -иас бага байв. Тунадасжуулах, гадаргуугийн идэвхт урвалжаар үйлчлээд хөөсөнд флоатцлан ялгахад тохиромжтой рН нөхцөл нь Мо болон бусад хүнд металлын хувьд ижил байх боломжгүй бөгөөд уусмалын рН-ийг өөрчлөх замаар тэдгээрийг дараалан ялгах боломжтой болох нь харагдлаа. Цуглуулагч, хөөсрүүлэгч урвалж казейний хувьд рН-ийн 10 аас дээш үед сөргөөр цэнэглэгдэх үед металлын гидроксидтой холбогдож чадахгүй. Иймд хүнд металлыг рН-ийн 9-9,6 үед тунадасжуулан флоатцлах нь тохиромжтой. Молибдений металл авалт шүлтлэг орчинд бага байгаа нь Мо нь шүлтлэг орчинд сөрөг цэнэгтэй MoO_4^{2-} ионы хэлбэрээр байдагтай холбоотой гэж үзлээ. Шүлтлэг орчинд дээрх сөрөг цэнэгтэй молибдений ион нь сөрөг цэнэгтэй функционал бүлэг ихтэй казейнтэй холбогдох чадвар нь муу байх нь тодорхой байна.

2.2.2.3. Металлын тунадасжуулалт болон хөөсөнд ялган флоатцлах хамгийн оновчтой рН болон хугацаа

Тунаасжуулалт, хөөсөнд ялгах хамгийн оновчтой рН болон хугацааг тооцоолохын тулд $\text{Ca}(\text{OH})_2$ уусмал нэмж рН-ийг 5.2-10.5 хооронд, туршилтын хугацааг 2 ба 4 минут болгож казейны тунг 15 мг/л байхаар тооцсон. Зураг 2.2.4а-д үзүүлснээр Cr, Cu, Cd, Pb-ийг 2 минутын турш зайлуулах үр ашиг рН 6-аас рН 9 хүртэл аажмаар өсөж рН 9-ийн ойролцоо хамгийн өндөр ялгарлыг үзүүлж байна.



Зураг 2.2.4. Үйлдвэрийн хаягдал усыг загварчилсан бохир уснаас хүнд металлыг коагулянтгүйгээр зайлуулахад хөөс ялгах оновчтой рН ба хугацааны нөлөө. (а) 2 минут, (б) 4 минут.

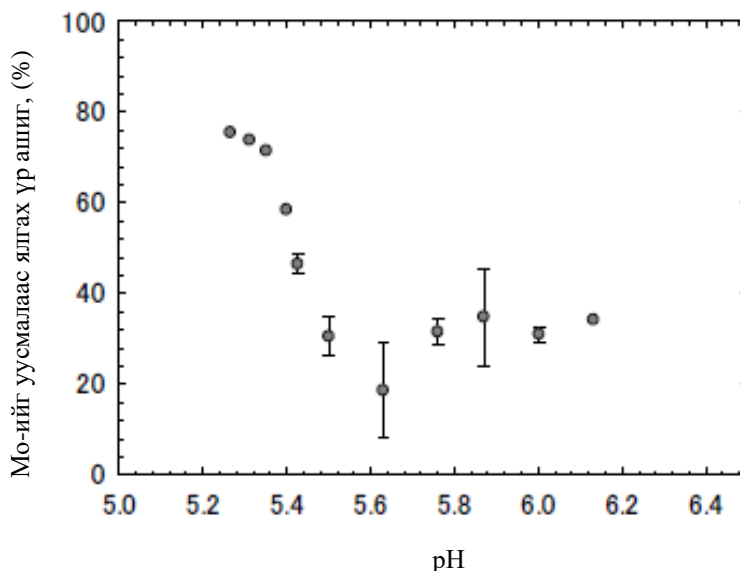
Мо-ийн хувьд рН 5.2 үед зайлуулах үр ашиг 60% орчим байсан ч рН нэмэгдэх тусам Мо-ийн ялгаралт буурч байна. Харин хөөсөнд ялгах хугацааг 4 минут болгон нэмэгдүүлэхэд (Зураг 2.2.4б) бүх хүнд металлыг зайлуулах үр ашиг нь 2 минутад явуулсан туршилтаас нэмэгдсэн байна.

Cr, Cu, Cd ба Pb-ийг зайлуулах үр ашиг нь рН 9-д 96% -иас дээш байсан. Мөн Мо-г зайлуулах үр ашиг рН=5.2-д 67% хүртэл нэмэгдсэн. Хүнд металлын уусах чадварын диаграммаас харахад сул шүлтлэг нөхцөлд эерэг цэнэгтэй гидроксид, хүчтэй шүлтлэг орчин сөрөг цэнэгтэй гидроксид давамгайлдаг. рН 10-аас дээш нөхцөлд сөрөг цэнэгтэй казеин эдгээр бүрэлдэхүүн хэсгүүдэд ажиллахад хүндрэлтэй байдаг. Хэдийгээр хүнд металлыг рН 9 орчим байхад хангалттай зайлуулсан ч цэвэршүүлсэн усанд Мо (MoO_4^-) үлджээ. Энэ нь молибдений сөрөг бүрэлдэхүүн хэсгүүд нь шүлтлэг нөхцөлд хасах цэнэгтэй казеинтай харилцан үйлчлэх чадваргүйг илтгэж байна.

2.2.2.4. Хүчиллэгжүүлсний дараа хөөсөнд ялгах флоатацаар Мо-г зайлуулах

Уусмалын рН-ийн хамгийн оновчтой нөхцөл нь Мо-ийн хувьд металлуудаас эрс ялгаатай байв. Иймээс рН 9 шүлтийн нөхцөлд хүнд металлыг зайлуулсны дараах цэвэршүүлсэн усыг

1 М НСI нэмэн хүчиллэгжүүлж (рН 5-6-ийн хооронд), хөөсөнд ялгах флоатцыг явуулж Мо-г үргэлжлүүлэн сонгон ялгасан (Зураг 2.2.5).



Зураг 2.2.5. Үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсан хүнд металлын агуулга бүхий уусмалыг хүчиллэгжүүлсний дараа хөөсөнд ялган флоатцлах замаар молибденийг сонгон ялгах судалгааны үр дүн. Гадаргуугийн идэвхтэй бодисын концентрац, 15 мг/л

Мо-г зайлуулах үр ашиг нь рН буурах тусам нэмэгдэж, рН 5.2 - 5.3-д 76% -иас дээш байгаа нь харагдаж байна.

2.2.2.5. Уурхайн үйлдвэрийн хаягдал усыг тунадасжуулан улмаар хөөсөнд хүнд металлыг ялгах флоатц

Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн флокулянтаар тунгалагшуулан хаягдлыг цөөрөмрүү явуулдаг үйлдвэрийн хаягдал усны анхны агуулгыг ICP-ээр хэмжсэн бөгөөд Хүснэгт 2.2.1-д харуулав.

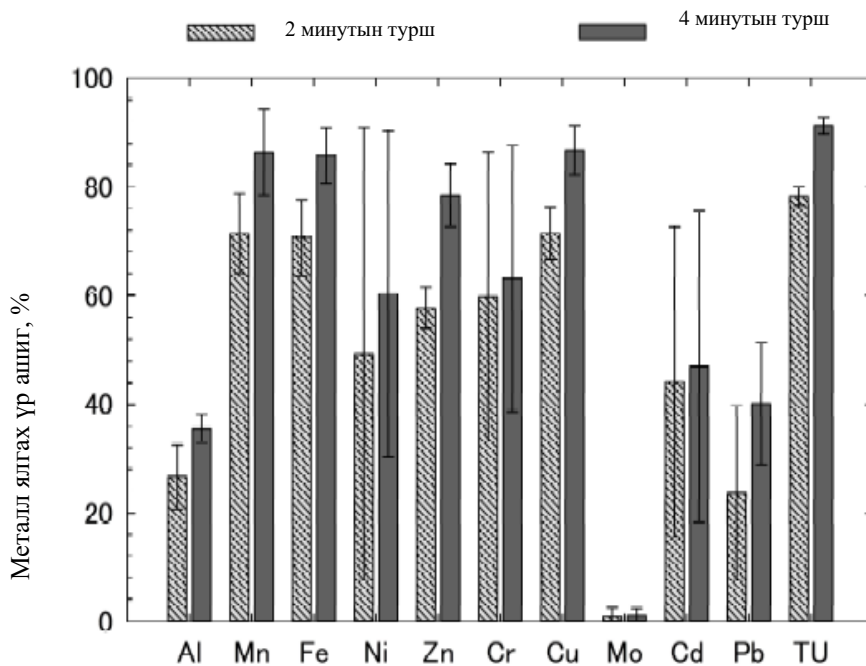
Хүснэгт 2.2.1. Үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал усан дахь металлуудын агуулга

Элемент	Al	Mn	Fe	Ni	Zn	Cr	Mo	Cd	Pb
Агуулга, мг/л	1.14	0.07	5.55	0.19	0.15	0.05	1.18	0.02	0.35

Хаягдлын уснаас хөөсөнд ялгах замаар хүнд металлыг (Al, Mn, Fe, Ni, Zn, Cr, Cu, Mo, Cd, Pb) ялгах үр ашгийг Зураг 2.2.6-д үзүүлэв. Хөөсөнд ялгах хугацааг 2 ба 4 минут; рН 9;

тунадасжуулж холих хугацаа 5 минут; хутгах хурд, 150 эрг / мин; рН өөрчлөгч, Ca(OH)₂; казеин, 20 мг/л

байхаар туршилтыг явуулав.



Зураг 2.2.6. Уурхайн үйлдвэрийн хаягдал уснаас илэрсэн металл (Al, Mn, Fe, Ni, Zn, Cr, Cu, Mo, Cd, Pb) болон булингарыг (TU) хөөсөнд ялган флоатцан авах судалгааны үр дүн

Mn, Fe, Cu-г зайлуулах үр ашиг 85% -иас дээш; Al, Ni, Zn, Cr, Cd, Pb-ийг зайлуулах үр ашиг 50-80% байв. Үүний эсрэгээр, Mo зайлуулах үр ашиг маш бага байсан. Үүнээс үүдэн цэвэршүүлсэн үйлдвэрийн хаягдал уснаас Mo-г хүчиллэгжүүлсний дараа хөөсөөр ялгах замаар зайлуулахыг оролдсон. Туршилтын үр дүнд хүчиллэгжүүлэхээс өмнө Mo-ын металл авалт 10 %-д хүрэхгүй байснаа хүчиллэгжүүлсний дараа 40-өөс дээш хувьтай болж сайжирсан үр дүн гарсан.

Дүгнэлт

Хөөсөн ялгаралт явуулах зохистой орчин рН-9 (шохой), казейныг 15 мг/л концентрацаар нэмсэн үед үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсануснаас Cr, Cu, Cd, Pb-ийн 96%-ийг зайлуулж авсан боловч Mo нь бусад хүнд металлуудаас ялгаатай байв. Цэвэршүүлсэн усны рН-ийг 5.3 болгож сул хүчиллэгжүүлж, хөөс ялгах аргаар дахин боловсруулахад цэвэршүүлсэн уснаас Mo-ийг 76% хөөсөнд ялган авсан.

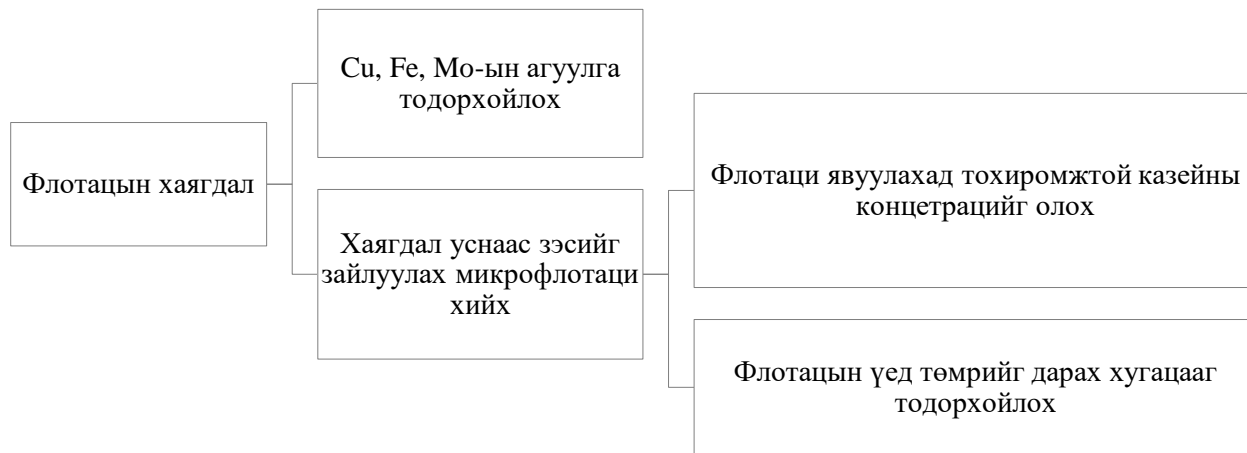
Бодит нөхцөлд тунаасжуулалт, хөөс ялгах аргыг үр дүнтэй болохыг нотлохын тулд үйлдвэрээс дээж болгон авсан үйлдвэрийн хаягдал усанд туршилтыг хийсэн. Үүний дүнд Mn, Fe, Cu-г зайлуулах үр ашиг 85% -иас дээш байв. Үүнээс гадна хүнд металлыг хөөсөөр ялгах үед үйлдвэрийн хаягдал усанд агуулагдах ууссан бодис хүнд металлын хамт зайлуулагдсан байсан. Үүнийг булингарын хэмжилтээр тодорхойлж байгаа бөгөөд ууссан бодисыг зайлуулах үр ашиг 90% -иас дээш байв.

Хүнд металлыг үйлдвэрийн хаягдал уусмалаас шохойгоор шүлтжүүлэх замаар тунадасжуулсны дараа казейнаар цуглуулан, улмаар хөөсөн хэсэгт ялгах флоатцын туршилтыг явуулахад 10 минутын дотор хүнд металл болон үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал усыг цэвэрлэж байна.

2.3 Үйлдвэрийн үндсэн болон хамтын флоатцын хаягдлаас хөөсөн ялгаралтын аргаар казейны оролцоотойгоор зэс ялган авах судалгаа

2.3.1 Судалгааны материал, арга зүй

2.3.1.1 Судалгааны ерөнхий загварчлал



2.3.1.2 Судалгаанд ашиглагдсан дээж болон дээжийн бэлтгэл

Эрдэнэт уулын баяжуулах үйлдвэрийн үйлдвэрийн хаягдал зутангаас ялган авсан 0.044 мм-ээс их болон бага ширхэглэхтэй ангилан ялгасан хатуу хэсгээс тодорхой хэмжээгээр таслан авч усанд хутган үйлдвэрийн хаягдал зутангийн дээжийг бэлтгэн авч туршилт судалгаандаа ашигласан.

2.3.1.3 Дээжүүдэд хийгдсэн шинжилгээ

Үндсэн компонентыг тодорхойлох

Зэсийн сульфидийн хүдрийн флоатцын үйлдвэрийн хаягдалд агуулагдах зэс, төмөр, молибдены агуулгыг атом шингээлтийн спектрометрийн аргаар тодорхойлсон. Ингэхдээ 0.25г дээжийг 40мл – ийн хуруу шилэнд хийж дээрээс нь 2мл HNO_3 диспенсер ашиглан хийгээд зөөлөн сэгсэрч урвал явж дуустал байлгана. Үүний дараа 0.5 мл HBr нэмээд хамгийн багадаа 30 минут тавьсны дараа 4 мл HCl мөн 1.5 мл HClO_4 хийж 220°C -д 15 минут үргэлжлүүлэн задална. Үүний дараа 10 мл шингэрүүлсэн 50% HCl хуруу шил бүрт

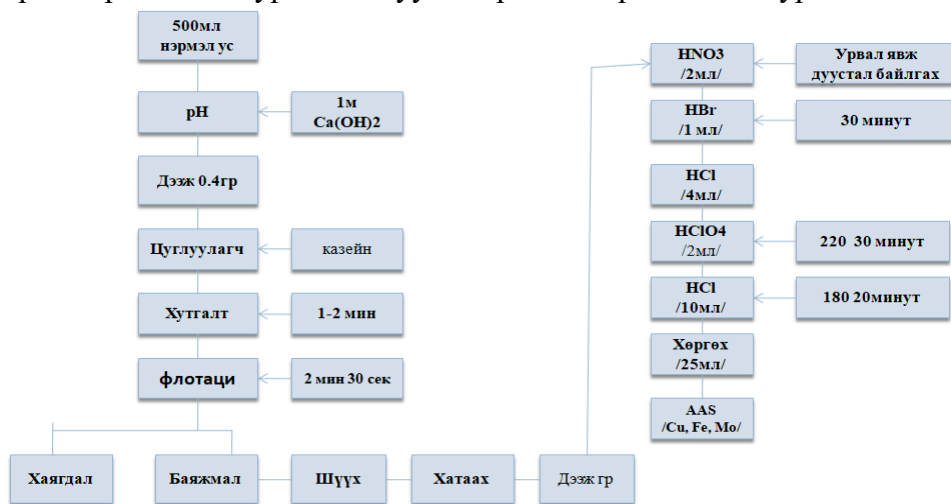
хийж сэгсэрч холино. Бүрэн уусгалт явагдсан дээжийг AAS – ээр элементүүдийг тодорхойлно.

Мөн цуглуулагч, дарагч болон хөөсрүүлэгч урвалжийн концентрац уусмалын рН, хугацаа зэрэг хүчин зүйлээс хамаарсан тойм туршилт явуулж, туршилтын үр дүнг регрессийн тэгшитгэлээр гарган, туршилтын зохистой нөхцөлийг оновчлох ажлуудыг хийсэн.

Хаягдлаас зэсийг хөөсөнд ялгах флоатц явуулах

Хөөсөнд зэсийг ялгах флоатцыг 62 см өндөртэй, 4 см – ийн диаметртэй цилиндр багананд уусмалын рН – ийг 9,6 байхаар 1М Са(ОН)₂ – ийн уусмалаас дусал дуслаар нэмж орчинг тохируулна. Зэс-профирийн хүдрийн флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдал хүдрийн ± 0.044 мм – ийн ширхэглэгтэй хүдрийн дээжээс 0.4 гр – ийг жинлэн авч рН – ийг нь тохируулан сайтар хутгана. Дараа нь 1000 мг/л - ийн концентрацтай 100 мл казейны уусмалаас хийж 1 – 2

минут сайтар хутгана. Зутангийн тунгалагших хугацаанд (ойролцоогоор 4 минут) флоатцыг явуулж баяжмалаа шууд хөөсөнд ялгаж авна. Ялган авсан баяжмалаа шүүж термостатын 100 °С - д 1-1,5 цаг хатаан массыг нь хэмжин авна. Баяжмалд агуулагдах зэс төмөр, молибденыг тодорхойлохдоо сульфидийн хүдэрт үндсэн металлуудыг тодорхойлох аргачлалаар тодорхойлно. Туршилт явуулах ерөнхий аргачлалыг зураг 2.3.1 – т үзүүлээ.



Зураг 2.3.1. Туршилт явуулах ерөнхий аргачлал

Хөөсөн ялгаралтын аргаар төмөр дарагдах хугацааг тодорхойлох аргачлал

Шүтлэг уусмалыг агаараар үлээлгэхэд хүхэрлэг төмөр исэлдэж төмөр (III) – ын гидроксид үүснэ. Баяжмалд агуулагдах төмрийн агууламж өндөр байгаа учраас төмрийн агууламжийг бууруулах зорилгоор рН болон O_2 үлээлгэх хугацаа гэсэн хоёр хүчин зүйлээс хамааруулан туршилт явуулж математик төлөвлөлтийн регрессийн аргаар хөөсөн ялгаралтын флотацын зохистой нөхцөлийг тогтоосон. Ингэхдээ 1М кальцийн гидроксид $Ca(OH)_2$ - ийн уусмал, 1М натрийн гидроксид – NaOH, 0.044мм-ээс дээш ширхэглэгтэй хүдрийн дээж, казейны концентрацыг 17 мг/л байхаар тохируулан 2 минут 30 секунд флотацыг явуулж ялган авсан баяжмалаа шүүж хатаагаад агуулагдах зэс, төмөр, молибденыг тодорхойлно. Хөөсөн ялгаралтын флотацын дараах баяжмалын гарц болон металл авалтыг тооцоолохдоо дараах томъёогоор тооцоолно.

$$\gamma_{Cu} = \frac{G}{Q} \cdot 100 \% \quad (1)$$

γ_{Cu} - зэсийн баяжмалын гарц, G – баяжмалын жин /г/, Q – Анхны хүдрийн жин /г/

$$\varepsilon_{Cu} = \frac{\gamma_{Cu} \cdot \beta}{\alpha} \quad (2)$$

ε_{Cu} - баяжмал дахь металл авалт, β - баяжмал дахь металлын агуулга /г/, α - анхны хүдэр дэх металлын агуулга /г/

2.3.2 Судалгааны үр дүн

2.3.2.1 Флотацын дараах хатуу хаягдлын химийн шинжилгээний үр дүн

Зэсийн сульфидийн хүдрийн баяжуулалтын дараах зутангаас хатуу хэсгийг салган хатаасны дараа ± 0.044 мм ширхэглэгтэй үйлдвэрийн хаягдал тус бүрээс 1:20 харьцаагаар зутан болгож бэлтгээд зутангийн хатуу хэсэгт зэс, төмөр, молибдены агуулгыг тодорхойлсон үр дүнг Хүснэгт 2.3.1 – д үзүүлээ.

Хүснэгт 2.3.1. Сульфидийн хүдрийг флоатцын аргаар баяжуулах үйлдвэрийн үндсэн флоатцын баяжуулалтын дараах үйлдвэрийн хаягдал зутангийн хатуу хэсэгт хийсэн шинжилгээний үр дүн

Дээж	Хүдрийн ширхэглэг /мм/	Химийн агуулга		
		Cu _%	Mo _{мг/кг}	Fe _%
Зэсийн сульфидийн хүдэр	+ 0.044	1.827	0.34	18.49
	- 0.044	1.365	0.32	18.60

Дээрх үр дүнгээс харахад зэсийн сульфидийн хүдрийн флоатцын баяжуулалтын дараах үйлдвэрийн хаягдалд агуулагдах төмрийн агуулга маш их байна. Энэ нь зэс-профирийн анхдагч хүдрийн бүсээс олборлосон хүдрийн ширхэглэг нарийсан жижгэрсэн учраас хангалттай баяжуулж чадахгүй хаягдаж байгаатай холбоотой.

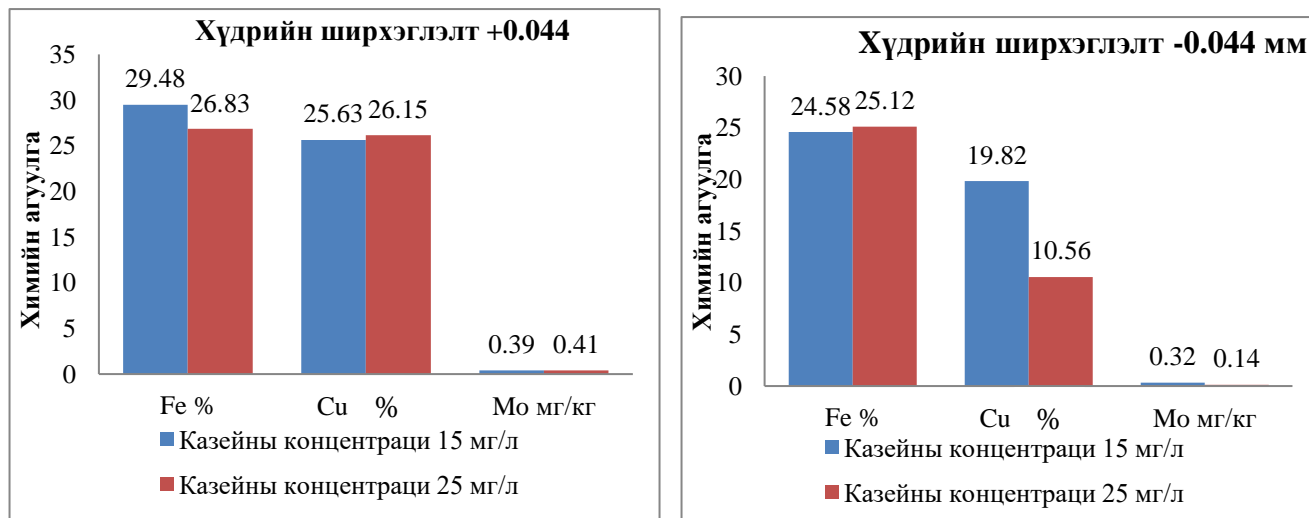
2.3.2.2 Хөөсөнд ялгах флоатцын аргаар баяжуулахад казейны концентрацыг тодорхойлсон үр дүн

Зэс-профирийн флоатцын дараах үйлдвэрийн хаягдалд хүдрийн ширхэглэг X_1 болон казейны концентрац X_2 гэсэн хоёр хүчин зүйлээс хамааруулан судалсан хөөсөн ялгаралтын флоатцын дараах туршилтын үр дүнг Хүснэгт 2.3.2 – д үзүүлээ.

Хүснэгт 2.3.2. Хаягдлаас хөөсөнд ялгах флоатцын аргаар хүдрийн ширхэглэг, казейны концентрацаас хамааруулан баяжуулсан туршилтын үр дүн

№	Хүдрийн ширхэглэг /мм/	Казейны концентрац /мг/л/	Cu _%	Mo _{мг/кг}	Fe _%
1	+0.044	15	25.63	0.39	29.48
2	+0.044	25	26.15	0.41	26.83
3	-0.044	15	19.82	0.32	24.58
4	-0.044	25	10.56	0.14	25.12

Хүснэгт 2.3.2 – ээс харахад 0.044 мм-ээс дээш ширхэглэхтэй хүдрийн хувьд казейны



Зураг 2.3.2 Үйлдвэрийн хаягдал хүдрийн ± 0.044 мм ширхэглэхтэй дээжэнд хөөсөнд ялгах флотацын аргаар Fe, Cu, Mo – ийг казейны концентрацаас хамааруулан тодорхойлсон үр дүнгийн харьцуулалт

концентрац 15мг/л болон 25 мг/л байх үед баяжмалд дахь зэсийн агуулга 25.63-26.15 % төмрийн агуулга 26.83-29.48%, молибдений агуулга 0.39-0.41 мг/кг байгаа нь харагдаж байна.

Дээрх үр дүнг харахад 0.044 мм-ээс дээш ширхэгтэй дээжид казейны концентрацын өөр утгад үр дүнгийн өөрчлөлт бага байхад 0.044 мм-ээс бага дээжид казейны концентрац 15 мг/л үед гарц өндөр байгаа нь харагдаж байна.

Хөөсөнд ялгах флотацын дараах үр дүнд үндэслэн математик төлөвлөлтийн Регрессийн тэгшитгэлийг гаргахдаа туршилтын нөхцөл болон зохистой нөхцөлийн параметрийн утгад үндэслэн гаргана. Туршилтын нөхцөл ба зохистой нөхцөлийн параметрийн утгыг хүснэгт 2.3.3 –д үзүүлээ.

Хүснэгт 2.3.3. Туршилтын нөхцөл ба зохистой нөхцөлийн параметрийн утга

Туршилт	x_0	x_1	x_2	$x_{1,2}$	Хүдрийн ширхэглэг	Казейны концентрац	$Cu_{\%}$	$Mo_{мг/кг}$	$Fe_{\%}$
1	+	+	-	-	+0.044	15	25.63	0.39	29.48
2	+	+	+	+	+0.044	25	26.15	0.41	26.83
3	+	-	-	+	-0.044	15	19.82	0.32	24.58
4	+	-	+	-	-0.044	25	10.56	0.14	25.12

x_1 – хүдрийн ширхэглэг

x_2 – казейны концентрац

Үүний дараа математик моделийн коэффициент (a) – ийг хөөсөн ялгаралтын дараах баяжмалд тооцоолоход.

$$a_0 = \frac{24.38+39.40+31.00+15.28}{4} = 27.5 \quad (2.3.1)$$

$$a_1 = \frac{24.38+39.40-31.00-15.28}{4} = 4.37 \quad (2.3.2)$$

$$a_2 = \frac{-24.38+39.40-31.00+15.28}{4} = -0.18 \quad (2.3.3)$$

$$a_3 = \frac{-24.38+39.40+31.00-15.28}{4} = 7.69 \quad (2.3.4)$$

Математик моделийн коэффициентүүдийг ашиглан ерөнхий Регрессийн тэгшитгэлийг бичвэл:

$$y = 27.5 + 4.37x_1 - 0.18x_2 + 7.69x_{1,2} \quad (2.3.5)$$

Ерөнхий Регрессийн тэгшитгэлээс харахад x_1 хүчин зүйл буюу хүдрийн ширхэглэг нэмэгдвэл баяжмалыг гарц сайжрах ба харин x_2 хүчин зүйл буюу казейны концентрацын гол түвшингээс бага зэрэг бууруулах хэрэгтэй харагдаж байна. Казейны концентрацыг 17мг/л болгох нь тохиромжтой байна.

2.3.2.3 Хөөсөн ялгаралтын флоатцын аргаар рН болон төмөр дарагдах хугацааг тодорхойлсон үр дүн

Зэс-профирийн флоатцын баяжуулалтын дараах $+0.044$ мм ширхэглэхтэй үйлдвэрийн хаягдал хүдэрт хөөсөн ялгаралтын флоатцын туршилтыг явуулахад баяжмалд агуулагдах төмрийн агууламж өндөр байсан учраас баяжмал дахь төмрийн агуулгыг бууруулахын тулд рН X_1 болон O_2 үлээлгэх хугацаа X_2 хүчин зүйлээс хамаарсан 4 туршилтыг туршсан ба түүнд үндэслэн зохистой нөхцөлийн параметрийн утгыг хүснэгт 3.4 – д үзүүлээ.

Хүснэгт 2.3.4. Баяжуулалтын дараах үйлдвэрийн хаягдал хүдэрт хөөсөн ялгаралтын флоатцыг рН, төмрийн дарагдах хугацаанаас хамааруулан хийсэн туршилтын үр дүн

№	x_0	x_1	x_2	$x_{1,2}$	рН	хугацаа	$Сu_{\%}$	$Мо_{мг/кг}$	$Fe_{\%}$
1	+	+	-	-	8.5	20	20.51	0.09	11.13
2	+	+	+	+	8.5	60	24.16	0.11	14.66
3	+	-	-	+	10.5	20	25.92	0.15	15.09
4	+	-	+	-	10.5	60	27.33	0.18	19.98

Хүснэгт 2.3.4 – аас харахад хөөсөн ялгаралтын флоатцын дараах баяжмалд агуулагдах төмрийн агуулга 40-50% -аар буурсан үзүүлэлттэй байна. Харин хөөсөнд ялгах флоатцын дараах баяжмалд агуулагдах зэсийн агуулга рН=8.5 байх үед зэс 20.51-24.16 % агуулгатай, рН-ыг 10.5 болгох үед зэсийн агуулга 25.92-27.33% болсон үзүүлэлттэй байна. Энэхүү үр дүнд үндэслэн математик төлөвлөлтийн регрессийн тэгшитгэлийг гаргасан.

x_1 – рН

x_2 – O_2 үлээлгэх хугацаа

$У_{баяж}$ – хөөсөн ялгаралтын флоатцын дараах баяжмалын гарц

Үүний дараа математик моделийн коэффициент (a) – ийг хөөсөн ялгаралтын дараах баяжмалд тооцоолоход.

$$a_0 = \frac{24.02+24.89+25.12+28.42}{4} = 25.61 \quad (2.3.6)$$

$$a_1 = \frac{24.02+24.89-25.12-28.42}{4} = - 1.15 \quad (2.3.7)$$

$$a_2 = \frac{-24.02+24.89-25.12+28.42}{4} = 1.04 \quad (2.3.8)$$

$$a_3 = \frac{-24.02+24.89+25.12-28.42}{4} = - 0.61 \quad (2.3.9)$$

Математик моделийн коэффициентүүдийг ашиглан ерөнхий регрессийн тэгшитгэлийг бичвэл.

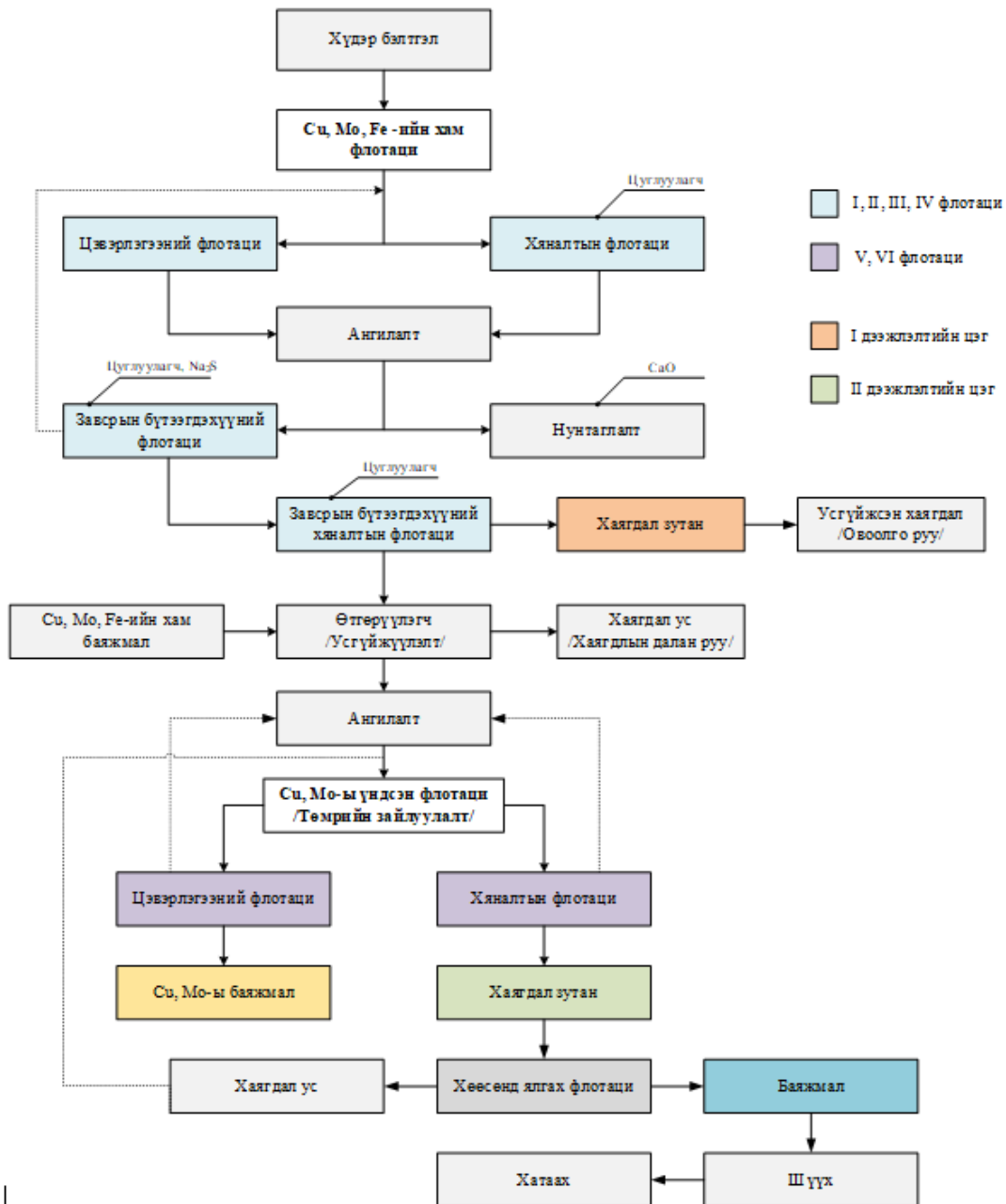
$$y=25.61-1.15x_1+1.04x_2 - 0.61 x_{1,2} \quad (2.3.10)$$

Моделиос харахад x_1 хүчин зүйл буюу рН – ийг гол түвшингээс бага зэрэг бууруулж рН-ыг 9,3 болгох, x_2 хүчин зүйл буюу агаар үлээлгэх хугацааг гол түвшингээс бага зэрэг нэмэгдүүлж 40 минут болгох нь тохиромжтой байна.

Дээрх тогтоосон зохистой нөхцөлүүдийг ашиглан зэс молибденыг үйлдвэрийн хаягдал зутангаас хөөсөнд ялгах флоатцын технологийн бүдүүвчийг боловсруулан Зураг 2.3.3-д үзүүлэв.

Дүгнэлт

- *Үнэт бүрдлийг тунадасжуулан хөөсөнд ялгах флоатцын туршилтаас флоатцын цуглуулагч урвалж (казейн) – ын концентрацын зохистой хэмжээг 17мг/л гэж тогтоосон.*
- *Регрессийн тэгшитгэлээр гарган авсан үр дүнгээр микро-флоатц явуулах зохистой уусмалын орчин рН=9,3 гэж тодорхойллоо.*



Зураг 2.3.3 Зэсийн баяжмалын үндсэн флоатцын үйлдвэрийн хаягдал зутангаас хөөсөнд ялгах флоатцын технологийн бүдүүвч

Нэгдсэн дүгнэлт

- ✓ *Үйлдвэрийн хаягдал зутан дахь зэс, молибден, төмрийн агуулгыг тодорхойлоход микро-дисперс системд хамгийн их буюу зэс 850 мг/кг, молибден 3300 мг/кг, төмөр 1,4% тус тус агуулагдаж байна.*
- ✓ *Үйлдвэрийн хам-флоацын хаягдлын 44 мкм –ээс дээш ширхэглэхтэй нийт зэсийн эрдсийн 70%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, харин 44мкм-ээс 15 мкм хүртэлх ширхэглэхтэй нийт зэсийн эрдсийн 37%-ийг анхдагч сульфидийн зэсийн эрдэс буюу халькопирит, 60%-ийг хоёрдогч сульфидийн эрдэс буюу халькозин, ковеллин, борнит эрдэс эзэлж байна.*
- ✓ *Флоацын дараа үйлдвэрийн хаягдал усанд казейн (15 мг/л)-ы оролцоотойгоор хөөсөн флоац явуулахад үйлдвэрийн хаягдлыг загварчилсануусмалаас Cr, Cu, Cd, Pb, Mo-ийн 96%-ийг зайлуулж авсан боловч Mo нь бусад хүнд металлуудаас ялгаатай байв. Цэвэршүүлсэн усны рН-ийг 5.3 болгож сул хүчиллэгжүүлж, хөөс ялгах аргаар дахин боловсруулахад цэвэршүүлсэн уснаас Mo-ийг 76% зайлуулж авсан. Харин үйлдвэрийн хаягдал усанд хийсэн туршилтаар Mn, Fe, Cu, Zn-ийн 85-иас дээш, Ni, Cr -ийг 60 %-иас дээш зайлуулж чадсан. Үүнээс гадна хүнд металлыг хөөсөнд ялгах үед үйлдвэрийн хаягдал усанд агуулагдах ууссан бодис хүнд металлын хамт зайлуулагдсан байсан. Үүнийг булингарын хэмжилтээр тодорхойлж байгаа бөгөөд ууссан бодисыг зайлуулах үр ашиг 90% -иас дээш байв.*
- ✓ *Цуглуулах, хөөсрөх өндөр чадвартай, хүрээлэн буй орчинд ээлтэй, молекул бүтцэдээ олон төрлийн металлтай холбогдогч функционал бүлэг агуулдаг, өвөрмөц шинж чанартай гадаргуугийн идэвхт уургуудын нэг болох казейнийг ашиглах боломжийг судалж, үйлдвэрийн хаягдлаас зэсийг 90-96%-ийн металл авалттай ялгах боломжтой болохыг тогтоов.*
- ✓ *Зэс, молибдений хүдрийн маш нарийн дисперсэд, коллоид ширхэглэхтэй компонентүүдийг казейн сурфактантын тусламжтай хөөсөнд ялгах флоацын технологиор ялгах боломжийн судалгааг хийж, технологийн горимыг тогтоож технологийн бүдүүвчийг гаргав.*

Ашигласан материал

- [1] Д.Даваасамбуу, *Эрдэс-элементийн олборлолт, үйлдвэрлэл, хэрэглээ*. 2000.
- [2] Ж.Амаржаргал, “Эрдэнэт үйлдвэр’ ХХК-ний баяжуулах фабрикийн ‘Эрдэнэтийн Овоо’ ордын зэс-молибдены хүдэр баяжуулах ТЕХНОЛОГИЙН ЗААВАР,” Эрдэнэт, 2008.
- [3] Б.Бурмаа, “Эрдэнэтийн үйлдвэрийн хаягдалын ширхэглэгийн фракц дахь Cu, Mo, Fe -ийн агуулга, тэдгээрийн фазын судалгаа,” УБ, 2020.
- [4] Carolin, C.F., P.S. Kumar, A. Saravanan, G.J. Joshiba and M. Naushad, 2017. Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *J. Environ. Chem. Eng.*, 5: 2782-2799.
- [5] Ihsanullah, A. Abbas, A.M. Al-Amer, T. Laoui and M.J. Al-Marri et al., 2016. Heavy metal removal from aqueous solution by advanced carbon nanotubes: Critical review of adsorption applications. *Sep. Purif. Technol.*, 157: 141-161.
- [6] Ali, R.M., H.A. Hamad, M.M. Hussein and G.F. Malash, 2016. Potential of using green adsorbent of heavy metal removal from aqueous solutions: Adsorption kinetics, isotherm, thermodynamic, mechanism and economic analysis. *Ecol. Eng.*, 91: 317-332.
- [7] Feng, Y., L. Yang, J. Liu and B.E. Logan, Electrochemical technologies for wastewater treatment and resource reclamation. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2: 800-831. *J. Environ. Sci. Technol.*, 11 (1): 1-9, 2018
- [8] Yamada, M. and M. Tsuruzumi, 2016. Utilization of milk protein as an environmental material: Accumulation of metal ions using a protein-inorganic hybrid material. *Polym. J.*, 48: 295-300
- [9] Suzuki, Y. and T. Maruyama, 2002. Removal of suspended solids by coagulation and foam separation using surface-active protein. *Water Res.*, 36: 2195-2204.
- [10] Suzuki, Y., T. Maruyama, H. Tegane and T. Goto, 2002. Removal of suspended substances by coagulation and foam separation from municipal wastewater. *Water Sci. Technol.*, 46: 183-188.
- [11] Suzuki, Y. and T. Maruyama, 2005. Removal of emulsified oil from water by coagulation and foam separation. *Sep. Sci. Technol.*, 40: 3407-3418.
- [12] Lu, J., Y. Li, S. Zhang and Y. Sun, 2015. Removal of trace Cd²⁺ from aqueous solution by foam fractionation. *J. Hazard.Mater.*, 286: 466-473.

- [13] Shao, W., J. Zhang, A. Feng, X. Pan and Z. Xiao, 2016. Removal of Ni(II) in aqueous solutions by foam fractionation. *Desalin. Water Treat.*, 57: 18724-18729.
- [14] Yenial, U. and G. Bulut, 2017. Examination of flotation behavior of metal ions for process water remediation. *J. Mol. Liquids*, 241: 130-135.
- [15] Perry, R.H., D.W. Green and J.O. Maloney, 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7th Edn., McGraw-Hill, USA.
- [16] Tucker, N. and M. Johnson, 2004. *Low Environmental Impact Polymers*. iSmithers Rapra Publishing, Shropshire, UK., Pages: 360.
- [17] Bhat, M.Y., T.A. Dar and L.R. Singh, 2016. Casein Proteins: Structural and Functional Aspects. In: *Milk Proteins: From Structure to Biological Properties and Health Aspects*, Gigli, I. (Ed.). InTech Publisher, Rijeka, Croatia, ISBN: 978-953-51-2536-5, pp: 3-18.
- [18] Pomastowski, P., M. Sprynsky and B. Buszewski, 2014. The study of zinc ions binding to casein. *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, 120: 21-27.
- [19] С. Хандмаа, “Эрдэнэт үйлдвэрийн баяжуулалтын завсрын бүтээгдэхүүний флоатцын үйлдвэрийн хаягдалыг биогидрометаллургийн аргаар боловсруулах судалгаа. Ш. Отгонбилэгийн нэрэмжит технологийн сургууль, эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхэтгэл,” Эрдэнэт хот, 2007.
- [20] А.Доржпалам, *Химийн технологи*. МУИС Пресс Төв Хэвлэх Үйлдвэр 2013.
- [21] Д.Эрдэнэчимэг, *Өнгөт, үнэт металлын хими технологи*. Улаанбаатар, МУИС Пресс Төв Хэвлэх Үйлдвэр, 2018.
- [22] Ж. Жаргалмаа, “Сүүний ээдмэнцэр буюу казейнаас фосфопептид гарган авч шинж чанарыг судлах судалгаа.” УБ, 2011.
- [23] Н. Уранчимэг, “Казейн болон шар сүүний уургийг энзимийн үйлчлэлээр пептид болгон задлах судалгаа,” 2015.
- [24] D. E. Sh. K. S. Y. B. Maralmaa, “Removal and recovery of heavy metals from industrial wastewater by precipitation and foam separation using lime and casein,” 2018.
- [25] Farah Ibrahim Abed Al-Obaidi, “Removal of copper ion from waste water by flotation.”

- [26] Q. W. Fenglian Fu, “Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review” Journal of Environmental Management ,” 2011.
- [27] S. E. 1EL-M. S. M. R. A. H. GHAZY, “Ion Flotation of Copper(II) and Lead(II) from Environmental Water Samples,” 2008.
- [28] M. L. S. R. W. J. Rubio, “Overview of flotation as a wastewater treatment technique,” 2002.
- [29] P. di Felicia F.Peng, “Removal of Arsenic from Aqueous Solution by adsorbing colloid flotation,” 1994.