

ЗЭСИЙН БАЯЖМАЛ ДАХЬ МЕТАЛЛ АВАЛТЫГ ОНОВЧЛОХ АРГА, АЛГОРИТМ, ПРОГРАМ ХАНГАМЖ

Р.Энхбат*, Ж.Энхбаяр**, Н.Тунгалаг**, Л.Энхтүвшин***, О.Баттогтох***

Хураангуй: Монгол улсын нийгэм, эдийн засгийн байдлын 2019 оны урьдчилсан гүйцэтгэлээс үзэхэд уул уурхайн салбар ДНБ-ний 24 хувь, аж үйлдвэрийн нийт бүтээгдэхүүний 72 хувь, экспортын 90 хувийг бүрдүүлж буй эдийн засгийн томоохон салбарын нэг болж байна. Зэсийн баяжмалын экс- порт нь манай улсын экспортын гол нэрийн бүтээгдэхүүний нэг бөгөөд зэсийн хүдрийн баяжуулах үйлдвэрлэлийн үр ашгийг дээшлүүлэх асуудал чухлаар тавигдаж ирсэн.

Зэсийн хүдэр баяжуулах процессын үр ашиг нь нэн түрүүнд боловсруулалтын эцсийн бүтээгдэхүүн баяжмал дахь ашигт бүрдлийн агууламж, зэс авалтын хэмжээгээр тодорхойлогддог. Зэс молибдений хүдрийг боловсруулан зэсийн баяжмал үйлдвэрлэлийн эдийн засгийн үр ашгийг нэмэгдүүлэх үндсэн нөхцөл нь үнэт нэгдлүүдийн металл авалтууд харгалзан хамгийн их байх тохиолдолд зэс болон молибдений баяжмалын чанарыг байж болох өндөр түвшинд байлгах явдал юм. Ашигт малтмалын нөөц хязгаартай, хэрэглээ байнга өсөж байгаа өнөө үед байгалийн баялгийг ариг гамтай, иж бүрэн ашиглах асуудалд шинжлэх ухааны үндэслэлтэй хандах шаардлага улам бүр чухал болж байна.

Энэхүү ажилд хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад нөлөөлөх хүчин зүйлсийн судалгааг хийж, түүний математик загварыг байгуулан туршилтаг төлөвлөх онолоор металл авалтыг хамгийн их байлгах шинэлэг аргыг дэвшүүлсэн болно. Тэрчлэн “Эрдэнэт үйлдвэр»ТӨҮГ-ын 2019 оны хөвүүлэн баяжуулах процессын өгөгдлүүдэд боловсруулалт хийж, хам баяжмал дахь зэсийн ме- талл авалтыг максимумчлах бодлогын математик загварыг боловсруулан оновчтой шийдийг олох арга, алгоритм, програм хангамжийг зохион үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн болно.

Түлхүүр үгс: Зэсийн баяжмал, металл авалт, оновчлол, загварчлал, урвалжийн оновчтой хэмжээ, үр ашиг.

Abstracts According to the preliminary socio-economic performance of Mongolia in 2019, the mining sector is one of the largest sectors of the economy, accounting for 24 percent of GDP, 72 percent of total industrial output and 90 percent of exports. Export of copper concentrate is one of the main export products of our country and it has been important to increase the efficiency of copper ore processing.

The efficiency of the copper flotation process is primarily determined by the content of nutrients in the final product concentrate and the amount of copper recovered. The main condition for increasing the economic efficiency of copper concentrate production by processing copper and molybdenum ore is to keep the quality of copper and molybdenum concentrates at the highest possible level, taking into account the maximum recovery of precious metals. In today's world of limited mineral resources and ever-increasing consumption, there is a growing need for a scientific approach to the economical and comprehensive use of natural resources.

In this work, based on of the main factors influencing the recovery of copper in the concentrate using a methodology of design experiment, we have have proposed a new approach for maximizing the recovery of metal. In addition, Erdenet Mining Corporation's 2019 copper flotation data was processed, the method, algorithms and software of the proposed approach were developed and implemented into production.

Keywords: Copper concentrates, recovery of precious metals, optimization, modeling, optimal value concentrates, efficiency.

* ШУА-ын Математик, Тоон Технологийн хүрээлэн, (E-mail): renkhat46@yahoo.com

** Монгол Улсын Их Сургууль, (E-mail): enkhbayar.j@seas.num.edu.mn

*** Эрдэнэт үйлдвэр Төрийн өмчит үйлдвэрийн Газар

1. Оршил

Орчин үеийн үйлдвэрлэлийн технологийн процессыг загварчилахад өргөн хэрэглэддэг арга нь туршилтыг төлөвлөх онолоор өгөгддөг. Энэхүү онолыг анх Америкийн статистикч Фишер 1960-аад оны үед үндэслэсэн бөгөөд түүн дээр тулгуурласан шугаман загварууд түгээмэл ашиглагдаж ирсэн түүхтэй. Туршилтыг төлөвлөх онол үндсэн 2 шаттайгаар хэрэгжинэ. 1-р шатанд туршилтыг төлөвлөх онолын тусламжтайгаар судалж буй процессын загвар буюу 2-р эрэмбийн загварыг байгуулдаг. 2-р шатанд оновчлол хийгдэнэ. Энэ нь квадрат функцээр илэрхийлэгдэх хоёрдугаар эрэмбийн загварыг оновчлолын онол, алгоритмын үүднээс судална гэсэн үг. Оновчлолын үндсэн бодлого нь гүдгэр биш квадрат функцийг тэгш өнцөгт зааглалтын муж дээрх глобаль шийдийг олох бодлого болон томъёологддог. Туршилтыг төлөвлөх 2-р эрэмбийн загварын онол, алгоритмын асуудлыг анх удаа глобаль оптимизацийн үүднээс [1] ажилд авч үзсэн байдаг. 2-р эрэмбийн загвараар тавигдсан квадратлаг функцийг өгөгдсөн олонлог дээрх хамгийн их утгыг олох бодлого нь олон экстремальт глобаль оптимизацийн бодлого байдаг. Энэ бодлогын хувьд Лагранжийн аргыг хэрэглэвэл экстремум байх сэжигтэй цэг, орчны локаль цэгүүдийг олдог боловч тэр нь глобаль шийдийг олох арга, баталгаа өгдөггүй. Туршилтыг төлөвлөх аргыг оптимизацийн онол, алгоритмтай хослуулсан техник эдийн засгийн онол тооны бодлого [3],[7]-[11],[14] ажлуудад тусгагдан шийдэгдсэн байдаг. Тухайлбал, чацарганы тосноос каратеноид ялгах бодлого, ямааны ноолуураас хялгас ялгах технологийн оптимизацийн бодлого, эфирийн тосны үйлдвэрийн технологийн оновчлол [10], ундаа болон бусад үйлдвэрлэлийн технологийн зориулалтаар ашиглах усыг төмөргүйжүүлэх процессын оновчлол [4] зэрэг бодлогууд нь монголын үйлдвэрүүдэд тавигдаж амжилттай шийдэгдсэн билээ. 2016 оноос эхлэн бид туршилтыг төлөвлөх онолыг уул уурхайн баяжуулах процесст хэрэглэж, зэсийн металл авалтын функцийг 7 хүчин зүйлээс хамааруулан оновчилж баяжмал дахь зэсийн металл авалтыг их байлгах бодлогыг квадрат функцийг зааглалттай оновчлолын бодлого болгон томъёолж [9] ажилд шийдсэн. Зэсийн металл авалт ба баяжмал дахь зэсийн агуулгын хувийг их байлгах бодлогыг олон зорилгод оновчлолын бодлого хэлбэрээр томъёолж [15] ажилд шийдсэн. Энэхүү ажилд зэсийн металл авалтыг их байлгах бодлогыг хамгийн их нөлөө бүхий 10 хүчин зүйлээс хамааруулан судалж, оновчтой бодлого болгон томъёолж глобаль оновчлолын аргаар шийдэж "Эрдэнэт үйлдвэр"ТӨҮГ-г нэвтрүүлсэн үр дүнг тольлуулж байгаа юм.

2. Зэсийн металл авалтын олон хүчин зүйлийн хамаарлын судалгаа

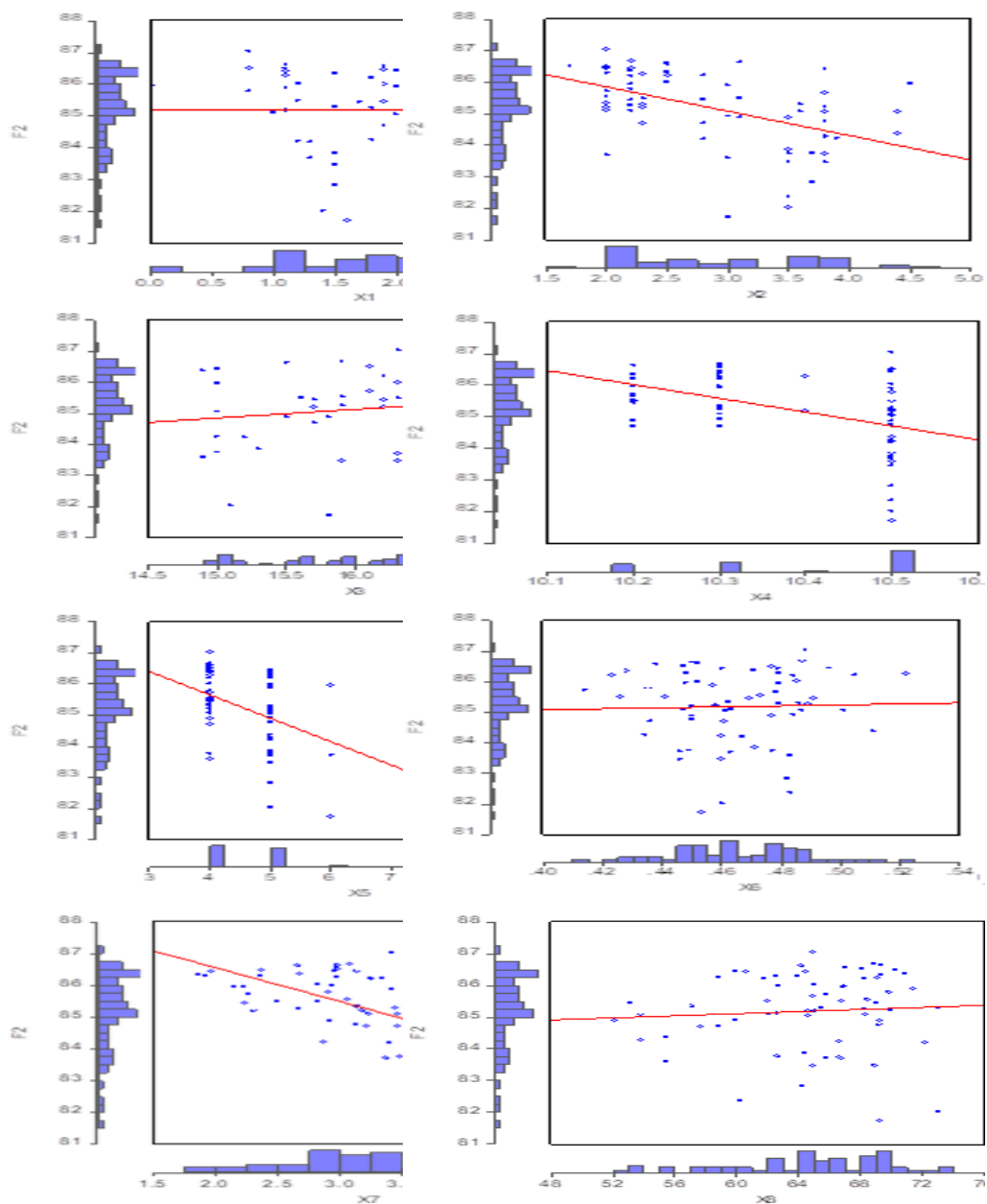
Баяжуулах процесс нь тасралтгүй явагддаг тул түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлсийн динамик шинжилгээг зайлшгүй харгалзан үзэх ёстой. Энэ зорилгоор бид цаг хугацааны хамаарлыг тооцсон эконометрикийн шинжилгээг Зэсийн баяжмалд нөлөөлөгч гол 10 хүчин зүйлүүдийн хувьд хийсэн. Үүнд:

Эдгээр хувьсагчдын хувьд хам баяжмалын металл авалтанд нөлөөлөх хамаарлыг статистик аргаар шинжилье. Үүний тулд "Эрдэнэт үйлдвэр"ТӨҮГ-ийн 2019 оны технологийн үзүүлэлтүүдийн мэдээллийн сангаас шүүн авсан статистик үзүүлэлтийг харуулбал:

Сонгогдсон хүчин зүйлсийн корреляци хамаарлыг Хүснэгт 3-д, регрессийн шинжилгээний үр дүнг Хүснэгт 4,5-д үзүүлэв.

Хүснэгт 3-аас харахад металл авалтад хамгийн их нөлөөлөх хүчин зүйл нь анхдагч сульфатын эрдэс (X_8) болон хам баяжмал дахь зэсийн агуулга (X_{10}) байна. Цаашид нөлөөлөгч хүчин зүйлүүдийн баяжмалын металл авалттай ямар хамааралтай байгааг скаттер хэлбэрийн графикаар харуулав.

Зураг 1-аас харахад исэлдсэн эрдэс (X_6) болон нунтаглалтын зэргээс (X_9) илүү хамаарч бусад үзүүлэлтүүдээс сул болон сулавтар хамаарал эерэг болон сөрөг байх нь харагдаж байна. Мөн хам баяжмалын зэсийн агуулгаас ч (X_{10}) илүү хүчтэй хамааралтай байх ёстой.



Зураг 1: Хам баяжмалын металл авалт F бусад хүчин зүйлээс хамаарсан байдал

Хүснэгт 1: Хувьсагчдын тэмдэглэгээ

Хувьсагчийн тэмдэглэгээ	Хувьсагчдын тайлбар	Хэмжих нэгж
X_1	аегомх	гр/тонн
X_2	bk-901	гр/тонн
X_3	хөөсрүүлэгч	гр/тонн
X_4	орчны pH	
X_5	монфлот-03	гр/тонн
X_6	хүдэр дэх нийт зэс	%
X_7	исэлдсэн эрдэс	%
X_8	анхдагч сульфидын эрдэс	%
X_9	$\pm 74\text{mkm}$	%
X_{10}	хам баяжмал дахь зэсийн агуулга	%
F	хам баяжмал металл авалт	%

Хүснэгт 2: Хувьсагчдын тодорхойлогч статистикууд

Статистик тоон үзүүлэлт	Хам баяжмал металл авалт	хам баяжмал дахь зэсийн агуулга	аегомх	bk-901	хөөсрүүлэгч	орчны pH	монфлот-03	хүдэр дэх нийт зэс	Исэлдсэн эрдэс	Анхдагч сульфидын эрдэс	$\mp 74\text{mkm}$
	F	X_{10}	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Дундаж	85.28	14.19	2.29	3.03	15.9	10.62	4.37	0.46	3.21	66.52	60.86
Меднан	85.32	14.21	2.39	2.5	15.920	10.5	4.37	0.461	3.118	67.34	60.7
ХИУ	88.12	15.1	3.25	6.0	18.72	46.93	8.69	0.535	5.331	80.726	64.29
ХБУ	81.27	13.16	0.77	1.67	11.81	9.88	3.39	0.381	1.769	42.625	58.03
Стан. Алдаа	1.27	0.38	0.429	1.01	1.00	2.72	0.66	0.03	0.72	6.61	0.98
Скевнесс	-0.46	-0.18	-0.34	1.45	-0.22	13.24	1.80	-0.09	0.51	-0.51	0.22
Коргазлан	3.45	2.97	3.13	4.35	4.55	177.0	11.67	3.32	2.84	3.48	3.88
Жарку-Бера	7.99	1.037	3.53	76.75	19.52	232.7	661.89	1.029	8.03	9.66	7.31
Магадлал	0.018	0.59	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59	0.017	0.01	0.03
Нийлбэр	15350	2555	413.1	546.5	2862.2	1912.3	788.0	82.91	577.9	11974.5	10955.3
Алдааны нийлбэр	289.1	25.5	32.9	181.2	179.7	1329.2	77.93	0.13	93.612	7816.816	170.7

Хүснэгт 3: Хувьсагчдын корреляцийн матриц

	F	X_{10}	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
F	1.000										
X_{10}	0.238	1.000									
X_1	-0.008	-0.155	1.000								
X_2	-0.482	-0.228	0.220	1.000							
X_3	0.148	-0.092	0.009	-0.164	1.000						
X_4	-0.449	-0.107	-0.212	0.331	0.064	1.000					
X_5	-0.504	-0.188	-0.337	0.327	0.115	0.283	1.000				
X_6	0.029	-0.076	0.200	0.038	0.189	0.175	0.172	1.000			
X_7	-0.644	-0.356	0.312	0.494	-0.068	0.445	0.342	0.245	1.000		
X_8	0.069	-0.148	-0.153	-0.078	0.108	0.144	-0.010	-0.092	-0.111	1.000	
X_9	0.604	0.297	0.037	-0.193	0.049	-0.408	-0.406	-0.184	-0.519	0.030	1.000

Үүнийг батлахын тулд олон хүчин зүйлийн регрессийн шинжилгээ хийх нь зүйтэй.

Энэхүү олон хүчин зүйлийн регрессийн загварыг 2019 оны өгөдлийн хувьд тооцоолбол дараах үнэлгээ гарч байна.

Хүснэгт 5-ээс харахад:

Хүснэгт 4: Регрессийн шинжилгээний үр дүн

Dependent Variable: F				
Method: Least Squares				
Sample: 1026 1090				
Included observations: 65				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X_{10}	-0.141130	0.333304	-0.423428	0.6737
X_1	-0.093446	0.171178	-0.545899	0.5874
X_2	-0.193291	0.169302	-1.141698	0.2586
X_3	0.155776	0.166840	0.933688	0.3546
X_4	-1.319793	1.060079	-1.244995	0.2185
X_5	-0.408837	0.168340	-2.428643	0.0185**
X_6	12.78646	4.833233	2.645529	0.0107**
X_7	-0.522099	0.209089	-2.497025	0.0156**
X_8	0.007070	0.020261	0.348930	0.7285
X_9	0.427960	0.146834	2.914579	0.0052***
C	70.53054	15.07128	4.679799	0.0000***
R-squared	0.655878	Mean dependent var		85.18754
Adjusted R-squared	0.592152	S.D. dependent var		1.200570
S.E. of regression	0.766720	Akaike info criterion		2.459667
Sum squared resid	31.74439	Schwarz criterion		2.827641
Log likelihood	-68.93919	Hannan-Quinn criter.		2.604856
F-statistic	10.29213	Durbin-Watson stat		1.900982
Prob(F-statistic)	0.000000			

*** At 0.01 significant level, null hypothesis rejected

** At 0.05 significant level, null hypothesis rejected

$$F = 7.98 \cdot X_1 - 0.12 \cdot X_2 + 0.089 \cdot X_3 - 2.63 \cdot X_4 + 0.0006 \cdot X_5 + -0.284 \cdot X_7 + 0.027 \cdot X_8 + 0.092 \cdot X_9 - 0.145 \cdot X_{10} + 103.756$$

болж байна. Энэ регрессийн тэгшитгэл ач холбогдол султай ($R^2 = 0.26$) юм.

Мөн дээрх хүчин зүйлүүдийн хувьд дараах томъёогоор мэдрэмжийг тооцоолж үзье.

$$\eta_{X_i} = \frac{\frac{\partial F}{\partial X_i} \bar{X}_i}{\bar{F}}$$

Энд \bar{X}_i -сонгосон хувьсагчийн дундаж, \bar{F} -функцийн утга юм.

Дээрх томъёоны дагуу мэдрэмжийн тооцооллыг сонгогдсон өгөгдлүүдийн дундаж утгын хувьд хийж Хүснэгт 6- д харууллаа.

Мэдрэмжийн тооцооллоос тухайн сонгосон үзүүлэлтийн нөлөөллийн талаар дүгнэлт хийж болдог. Жишээлбэл: орчны агаарыг 1 хувиар өөрчлөхөд баяжмалын металл авалт (F) 0.32 хувиар буурна (Хүснэгт 6-ийн 4-р мөрний эхний элемент) гэж гарч байна.

Энэхүү регрессийн үнэлгээний талаар дэлгэрэнгүй тайлбар хийхийн тулд Variance

Хүснэгт 5: Регрессийн шинжилгээний үр дүн

Dependent Variable: METALL_CU				
Method: Least Squares				
Sample: 1 224				
Included observations: 245				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
PH	-2.636518	0.519190	-5.078140	0.0000
BK901B	-0.124077	0.086164	-1.440007	0.1513
MONFLOT_03	0.0006	0.168598	0.003559	0.9972
EMULSI	0.089298	0.038609	2.312867	0.0217
CU_CHEMIC	7.989953	2.823726	2.829578	0.0051
OKIS	-0.284645	0.123916	-2.297078	0.0226
PERVICH	0.027401	0.012219	2.242511	0.0260
MSM_74	0.092598	0.075826	1.221193	0.2234
CU_KOLL	-0.145756	0.225315	-0.646896	0.5184
C	103.7553	8.587889	12.08158	0.0000***
R-squared	0.255137	Mean dependent var		85.52078
Adjusted R-squared	0.223811	S.D. dependent var		1.141395
S.E. of regression	1.005587	Akaike info criterion		2.892636
Sum squared resid	216.3980	Schwarz criterion		3.044942
Log likelihood	-313.9752	Hannan-Quinn criter.		2.954114
F-statistic	8.14457	Durbin-Watson stat		1.082447
Prob(F-statistic)	0.000000			

*** At 0.01 significant level, null hypothesis rejected

Хүснэгт 6: Мэдрэмжийн тооцоолол

	pH	BK901B	monfлот_03	emulsi	Cu_chemic	okis	pervich	msm_74	Cu_koll	metall_Cu
maximum	10.80	6.00	7.00	20.34	0.54	4.16	84.44	62.90	15.07	88.17
minimum	10.2	1.5	6	10.98	0.414	1.473	52.63	58.53	13.55	82.669
average	10.50	3.46	6.32	15.71	0.48	2.65	68.78	60.61	14.33	85.53
Elasticity	-0.32	0.00	0.00	0.02	0.04	-0.01	0.02	0.07	-0.02	-0.32
Coefficients	-2.64	-0.12	0.00	0.09	7.99	-0.28	0.03	0.09	-0.15	-2.64
F_average	85.95303									

Inflation Factors(VIF) үр дүнг дараах Хүснэгт 7-ээр үзүүлэв.

Бидний үнэлсэн регрессийн тэгшитгэлийн үр дүнгээс харахад,

- X_{10} (хам баяжмал дахь зэсийн агуулга %) нь хам баяжмал дахь F (зэсийн металл авалтад %) нөлөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Хам баяжмал дахь зэсийн агуулга хувьсагчийн VIF утга (1.29) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) хэдий ч, тус хувьсагчийн хэлбэлзэл ($SST_{X_{10}}=6.83$ бөгөөд $V = 2.3\%$) бага байгаагаас үүдэн коэффициентын стандарт алдаа өндөр, t-stat бага гарч коэффициент статистик ач холбогдолгүй гарчээ. Мөн скаттер графикаас харахад ч Хам баяжмал дахь зэсийн агуулга (%) ба хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) хооронд мэдэгдэхүйц хамаарал ажиглагдахгүй байна;
- (X_1) Аеромх (гр/тонн) хувьсагч хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) нө-

Хүснэгт 7: Variance Inflation Factors(VIF) үр дүнгийн хүснэгт

Variance Inflation Factors			
Sample: 1026 1090			
Included observations: 65			
Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
X_{10}	0.111092	2526.892	1.291269
X_1	0.029302	13.38936	2.161968
X_2	0.028663	27.76009	1.752796
X_3	0.027835	806.6391	1.203434
X_4	1.123768	13421.52	1.885159
X_5	0.028338	68.74167	1.994984
X_6	23.36014	559.7733	1.238662
X_7	0.043718	54.76733	2.515305
X_8	0.000411	191.2037	1.144096
X_9	0.021560	8668.664	1.681631
C	227.1434	25115.41	NA

лөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Аегомх хувьсагчийн VIF утга (2.16) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) хэдий ч, скаттер графикаас харахад Аегомх ба зэсийн металл авалтад (%) хооронд мэдэгдэхүйц хамаарал ажиглагдахгүй байна. X_2 (bk-901 гр/тонн) нь хам баяж дахь зэсийн металл авалтад (%) нөлөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Гэвч хам баяжмал дахь зэсийн агуулга хувьсагчийн VIF утга (1.75) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) бөгөөд тус хувьсагчийн хэлбэлзэл ($SST_{X_1} = 35.95$ бөгөөд $V=26.2\%$) өндөр байна. Мөн скаттер графикаас харахад ч X_2 (bk-901) (гр/тонн) ба хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) хооронд сул хамааралтай харагдаж байна;

- Хөөсрүүлэгч (гр/тонн) нь хам баяж дахь зэсийн металл авалтад (%) нөлөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Хөөсрүүлэгч хувьсагчийн VIF утга (1.20) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) хэдий ч, тус хувьсагчийн хэлбэлзэл ($SST_{X_2} = 25.42$ бөгөөд $V=3.9\%$) бага байгаагаас үүдэн коэффициентын стандарт алдаа өндөр, t-stat бага гарч коэффициент статистик ач холбогдолгүй гарчээ. Мөн скаттер графикаас харахад ч хөөсрүүлэгч (X_3)(гр/тонн) ба хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) хооронд мэдэгдэхүйц хамаарал ажиглагдахгүй байна;
- Орчны агаар нь хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) нөлөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Орчны агаарыг хувьсагчийн VIF утга (1.88) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) хэдий ч, тус хувьсагчийн хэлбэлзэл ($SST_{X_4} = 0.99$ бөгөөд $V=1.2\%$) бага байгаагаас үүдэн коэффициентын стандарт алдаа өндөр, t-stat бага гарч коэффициент статистик ач холбогдолгүй гарчээ;
- Анхдагч сульфидын эрдэс (%) нь хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтад (%) нөлөөгүй гэсэн тэг таамаглал батлагдсан байна. Анхдагч сульфидын эрдэс (%) хувьсагчийн VIF утга (1.14) бага (бусад тайлбарлагч хувьсагч нь тус хувьсагчид шугаман нөлөө багатай) хэдий ч, тус хувьсагчийн хэлбэлзэл ($SST_{X_8} = 1638.39$ бөгөөд $CV=7.8\%$) бага байгаагаас үүдэн коэффициентын стандарт алдаа өндөр, t-stat бага гарч коэффициент статистик ач холбогдолгүй гарчээ. Мөн скаттер графикаас харахад ч анхдагч сульфидын эрдэс (%) ба хам баяж дахь зэсийн металл авалтын (%) хооронд мэдэгдэхүйц хамаарал ажиглагдахгүй байна;

- Харин бусад хувьсагчдын хувьд, хэлбэлзэл харьцангуй өндөр бөгөөд скаттер графикаас харахад мэдэгдэхүйц хамаарал ажиглагдаж байгаа учраас коэффициентууд статистик ач холбогдолтой (тухайн хувьсагч зэсийн металл авалтад нөлөөтэй) болох нь нотлогджээ.

Эдгээр дүгнэлтүүдээс регрессийн тэгшитгэлд үнэлэгдэж байгаа хувьсагчдыг статистикийн хувьд ач холбогдолгүйг нь загвараас зайлуулж дахин үнэлснээр дараах регрессийн загварын үнэлгээ гарч байна. (Хүснэгт 8)

Хүснэгт 8: Variance Inflation Factors үр дүнгийн хүснэгт

Dependent Variable: F2				
Method: Least Squares				
Sample: 1026 1090				
Included observations: 65				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X2	-0.275003	0.149582	-1.838480	0.0710*
X5	-0.340226	0.133900	-2.540896	0.0137**
X6	12.25897	4.443916	2.758596	0.0077***
X7	-0.603779	0.174792	-3.454267	0.0010***
X9	0.467793	0.136986	3.414900	0.0012***
C	55.62414	8.925786	6.2318487	0.0000***
R-squared	0.638982	Mean dependent var		85.18754
Adjusted R-squared	0.608388	S.D. dependent var		1.200570
S.E. of regression	0.751304	Akaike info criterion		2.353753
Sum squared resid	33.30301	Schwarz criterion		2.554466
Log likelihood	-70.49698	Hannan-Quinn criter.		2.432947
F-statistic	20.88538	Durbin-Watson stat		1.869265
Prob(F-statistic)	0.000000			

*** At 0.01 significant level, null hypothesis rejected

** At 0.05 significant level, null hypothesis rejected

* At 0.1 significant level, null hypothesis rejected

Хүснэгт 8-д үнэлсэн тэгшитгэлийн үр дүнгээс харахад, X_2 -(bk-901 гр/тонн), X_5 -(монфлот-03 гр/тонн), X_6 -(хүдэр дэх нийт зэс %), X_7 -(Исэлдсэн эрдэс %), X_9 -(74mkm %) хувьсагчдын өмнөх коэффициентууд (10%, 5%, 1% -ийн ач холбогдлын түвшинд) статистик ач холбогдолтой байна.

F-statistic = 20.88 (Prob = 0.00 < 0.01) учир регрессийн шугаман тэгшитгэлийн коэффициентууд тэгтэй тэнцүү буюу эдгээр тайлбарлагч хувьсагчид нь регрессийн загварт огт хэрэгцээгүй гэсэн агуулга бүхий тэг таамаглал статистикийн хувьд няцаагдсан байна.

Чөлөөний зэргийг засварласан ($R^2 = 0.608$) байгаа нь загварт оруулсан тайлбарлагч хувьсагчид нь Хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт (%) -ын хэлбэлзлийн 60.8 хувийг тайлбарлахаар байгааг илэрхийлнэ.

Тэгшитгэлийн коэффициентуудын тоон утгуудын тайлбар:

- X_2 -(bk-901) нэг граммаар нэмэгдэхэд, хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт дунджаар 0.27 [90% CI (-0.525; -0.025)] нэгжээр буурах;

- X_5 - монфлот-03 нэг граммаар нэмэгдэхэд, хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт дунджаар 0.34 [95% CI (-0.608; -0.072)] нэгжээр буурах;
- X_6 -хүдэр дэх нийт зэс нэг нэгжээр нэмэгдэхэд, хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт дунджаар 12.25 [99% CI (0.43; 24.088)] нэгжээр нэмэгдэх;
- X_7 -Исэлдсэн эрдэс нэг нэгжээр нэмэгдэхэд, хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт дунджаар 0.604 [99% CI (-1.069; -0.139)] нэгжээр буурах;
- X_9 -74mkm нэг нэгжээр нэмэгдэхэд, хам баяжмал дахь зэсийн металл авалт дунджаар 0.468 [99% CI (0.103; 0.832)] нэгжээр нэмэгдэх нөлөөллийг тус тус үзүүлж байна.

Иймд шугаман регрессийн суурь нөхцөл биелж, үнэлэгдсэн коэффициентуудын тархалт нормаль гэж үзэж болохоор байна. Энэ нь коэффициентуудын статистик ач холбогдлыг "t" тархалт ашиглан шалгаж болохыг илэрхийлнэ.

3. Туршилтыг төлөвлөх онолыг баяжуулах процесст хэрэглэх нь

Өмнөх бүлэгт гүйцэтгэсэн дүн шинжилгээгээр хүчин зүйлүүдийн утгын хэлбэлзэл далайц өндөр, үл хамаарах хүчин зүйлүүд нь хамааран хувьсах хүчин зүйлүүдтэйгээ шугаман бус хамааралтай байсан тул баяжмал дахь зэсийн агуулга, зэс авалтыг хамгийн дээд хэмжээнд хүргэх бодлогын загварыг математик програмчлалын хэлбэрээр томъёолж, оновчлох зорилго тавив. "Эрдэнэт Үйлдвэр"ТӨҮГ-ын 2019 оны зэсийн анхдагч болон хоёрдогч сульфидын эрдсүүдийн янз бүрийн харьцаатай олборлосон хүдрийг боловсруулсан технологийн горимд гаргаж авсан зэсийн баяжмал, хүдрийн чанар, урвалж, хүдэр нунтаглалтын өгөгдлийг ашиглан хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтыг хамгийн их байх оновчлолын бодлого зохиоё.

Эхлээд статистик өгөгдөл дээр тулгуурлаж 2-р эрэмбийн загварын регрессийн функцийг байгуулах шаардлагатай.

Энэ функцийн ерөнхий хэлбэр нь

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} X_i X_j + \sum_{j=1}^n b_j X_j + c. \quad (1)$$

Үүнд a_{ij} , b_j , c нь загварын параметрууд юм.

$$A_{m,n} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{pmatrix}, \quad b = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}, \quad X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

гэсэн матрицуудын тусламжтайгаар (1) функцийг дараах матрицан хэлбэрт бичиж болно.

$$F = \langle AX, X \rangle + \langle b, X \rangle + c.$$

Үүнд \langle, \rangle нь хоёр векторын скаляр үржвэрийг тэмдэглэнэ.

Ерөнхий тохиолдолд дараах байдлаар илэрхийлсэн гээ.

Энд: m, n - статистик өгөгдлийн тоо.

Эдгээр өгөгдлүүдийг ашиглан Хамгийн Бага Квадратын Арга (ХБКА)-аар $A = \{a_{ij}\}$, b_j

Хүснэгт 9: Статистик өгөгдлийн матриц

x^1	x^2	\dots	x^n	F
x_{11}	x_{12}	\dots	x_{1n}	F_1
x_{21}	x_{22}	\dots	x_{2n}	F_2
\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\dots
x_{m1}	x_{m2}	\dots	x_{mn}	F_m

($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$), ба c коэффициентүүдийг олохын тулд дараах зааглалтгүй оптимизацийн бодлогыг бодно.

$$F(A, b, c) = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ti} x_{tj} + \sum_{j=1}^n b_j x_{tj} + c - F \right)^2 \downarrow \min_{A, b, c} \quad (2)$$

Энэхүү бодлогын шийдтэй байх нөхцлийг дараах Леммаар харуулна.

Лемма 3.1. [3]

$F(A, b, c)$ функц $a_{ij}, b_i, (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ ба c хувьсагчдаараа гүдгэр байна.

Лемма 3.2. (2) бодлого цорын ганц шийдтэй байна.

4. Зэсийн металл авалтын оновчлол

"Эрдэнэт Үйлдвэр"ТӨҮГ-ын Баяжуулах цехэд хүдрийн чанарын өөрчлөлттэй уялдан үйлдвэрлэх баяжмалын чанар, зэс авалтыг шуурхай удирдах боломж хязгаарлагдмал байдаг. Хам баяжмал дахь зэс авалтыг сайжруулахад урвалжийн тунг тохируулах нь чухал ач холбогдолтой. Өнөөгийн байдлаар Баяжуулах цехийн хам флотацийн хөвүүлэн баяжуулах процессийн урвалжийн тунг баяжуулах үйлдвэрийн баяжуулагч нар тооцоолж гаргадаг. Тэгвэл дээрх тооцооллыг хүдрийн шинж чанараас хамаарсан хугацааны тодорхой давтамж (цаг)-аар тусгай оновчлох арга, алгоритм ашиглан автоматаар тооцоолох нь давуу талтай.

Хам баяжмал дахь зэсийн металл авалтын функц

$$F = \langle AX, X \rangle + \langle b, X \rangle + c \quad (3)$$

хэлбэртэй. Үйлдвэрийн технологийн процессын хувьд хувьсагчид нь тодорхой зааглалтуудыг хангаж байх ёстой. Үүнийг бичвэл:

$$X_j^{min} \leq X_j \leq X_j^{max}, \quad j = 1, \dots, 10. \quad (4)$$

3 функцийг 4 гэсэн зааглалт дээр максимумчлахын тулд бид хувьсагчдыг $[-1, 1]$ завсарт кодлож авсан. Энэ хувиргалтыг дараах байдлаар хийнэ.

$$\tilde{X}_j = \frac{2X_j - X_j^{max} - X_j^{min}}{X_j^{max} - X_j^{min}}, \quad (j = 1, \dots, 10)$$

гэвэл 2-р эрэмбийн загвар нь

$$F = \langle \tilde{A}\tilde{X}, \tilde{X} \rangle + \langle \tilde{b}, \tilde{X} \rangle + \tilde{c}$$

хэлбэртэй болно.

Кодлогдсон өгөгдлүүдийн хувьд $\tilde{A}, \tilde{b}, \tilde{c}$ нь дараах хэлбэртэй болсон.

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 0.7001 & 0.8599 & 0.3148 & 0.5330 & 0.6781 & 0.2479 & 0.2737 & 0.8704 & 0.4649 & 0.4991 \\ 0.6086 & 0.3320 & 0.1119 & 0.7675 & 0.0917 & 0.6756 & 0.4230 & 0.7510 & 0.6487 & 0.5564 \\ 0.5561 & 0.4462 & 0.7698 & 0.7085 & 0.0694 & -0.003 & 0.5571 & 0.3511 & 0.629 & -0.007 \\ 0.6057 & 0.7309 & 0.1604 & 0.4977 & 0.2993 & 0.0163 & 0.5377 & 0.1855 & 0.154 & 0.5611 \\ 0.0245 & 0.1966 & 0.0951 & 0.5721 & 0.2667 & 0.3733 & 0.5244 & 0.3982 & 0.2985 & 0.6698 \\ 0.1440 & 0.54 & 0.7281 & 0.8407 & 0.1055 & 0.1697 & 0.4537 & 0.5391 & 0.3983 & 0.0363 \\ 0.7236 & -0.155 & -0.199 & 0.1902 & -0.004 & 0.5097 & 0.631 & -0.235 & 0.6702 & 0.6818 \\ 0.7074 & 0.0846 & 0.7273 & 0.9274 & 0.884 & 0.7578 & 0.4975 & 0.391 & 0.0367 & 0.2733 \\ 0.0242 & -0.211 & 0.7232 & 0.3322 & 0.0582 & 0.3142 & 0.2061 & 0.5073 & -0.0311 & 0.7906 \\ 0.2129 & 0.4282 & 0.1311 & 0.8016 & 0.2789 & 0.0075 & 0.6160 & 0.2055 & 0.8469 & 0.2179 \end{pmatrix},$$

$$\tilde{b}^T = (0.0400.7441.0880.8370.4970.3680.7520.8930.8850.818), \quad \tilde{c} = (0.009).$$

Тэгвэл зэсийн металл авалтыг хамгийн их байлгах бодлого нь дараах квадрат функцийг хамгийн их утгыг тэгш өнцөгт муж дээр олох бодлого болж томъёологдоно.

$$F = \langle \tilde{A}\tilde{X}, \tilde{X} \rangle + \langle \tilde{b}, \tilde{X} \rangle + \tilde{c} \longrightarrow \max, \quad (5)$$

$$-1 \leq \tilde{X}_j \leq 1, \quad j = 1, \dots, 10.$$

\tilde{A} матриц нь тэмдэг тодорхойлогдоогүй тул (5) бодлого нь олон экстремальт глобаль оптимизацийн бодлого болон хувирч байна. Иймд (5) бодлогыг глобаль оптимизацийн тусгай арга болох "тороор хучих"[5] аргыг хэрэглэж бодсон. Энэ аргын алгоритмыг хувьсагчийн тоо 2 тохиолдолд бичвэл:

Эхлээд энэ аргыг $n = 2$ үед авч үзье.

\mathbb{R}^2 хавтгайн хувьд

$$U = \{X = (X_1, X_2) \mid a_1 \leq X_1 \leq b_1, \quad a_2 \leq X_2 \leq b_2\}$$

тэгш өнцөгт муж.

$$F_i = \min\{F_0, J(X^1), \dots, J(X^i)\},$$

$$R = \frac{\epsilon}{\mathbf{L}}, \quad h = \frac{R}{\sqrt{2}} = \frac{\epsilon}{\mathbf{L}\sqrt{2}},$$

$$R_i = R + (J(X^i) - F_i)/\mathbf{L}, \quad h_i = \frac{R_i}{\sqrt{2}}, \quad i = 1, 2, \dots \quad (6)$$

\mathbf{L} – Липшицын тогтмол, ϵ – өгөгдсөн нарийвчлал.

дүрмээр X^1, X^2, \dots цэгүүдийг дараалан сонгон авах ба F_0 -ийг одоохондоо $F_0 = J(X^1)$ -ээр авч, арай тохиромжтой сонголтуудыг дараа нь авч үзэх болно.

Цэгүүдийг дараах байдлаар дараалан сонгоно.

$$X^1, \dots, X^{m_1}, \quad i = 1, \dots, m_1$$

$$\begin{aligned} X_1^1 &= a_1 + h, X_1^{i+1} = X_1^i + h + h_i, \quad i = 1, \dots, m_1 - 2; \\ X_1^{m_1} &= \min\{b_1; X_1^{m_1-1} + h + h_{m_1-1}\}, \quad X_2^1 = a_2 + h, \end{aligned} \quad (7)$$

ба m_1 дугаар ($X_1^{m_1-1} < b_1 - h < X_1^{m_1-1} + h + h_{m_1-1}$) нөхцлийг хангаж байна. Тэгвэл d_{m_1} хэмжигдэхүүнийг $d_{m_1} = \min\{h_1, \dots, h_{m_1}\}$ гэж авбал

$$\Pi_{m_1} = \{X = (X_1, X_2) | a_1 \leq X_1 \leq b_1, \quad a_2 \leq X_2 \leq X_2^1 + d_{m_1}\}$$

тэгш өнцөгт мужтай болно.

Иймд Pi_{m_1} тэгш өнцөгтийн $[X_1^i - h, X_1^i + h_i]$, $[i = 1, \dots, m_1]$ хэрчмүүдийн систем $[a_1, b_1]$ хэрчмийг хучих ба

$$\Pi_{m_1, i} = \{X = (X_1, X_2) | X_1^i - h \leq X_1 \leq X_1^i + h_i, X_2^i - h = a_2 \leq X_2 \leq X_2^1 + d_{m_1}\}, i = 1, \dots, m_1.$$

тэгш өнцөгтүүдийн нэгдэлд орших болно.

Учир нь $h \leq d_{m_1} \leq h_i$ ($i = 1, \dots, m_1$) ба дурын $X = (X_1, X_2) \in \Pi_{m_1, i}$ цэгийн хувьд $|X_1 - X_1^i| \leq h_i = \frac{R_i}{\sqrt{2}}$, $|X_2 - X_2^i| \leq \frac{R_i}{\sqrt{2}}$ нөхцлийг хангана. Яагаад гэвэл $|X - X^i| = (|X_1 - X_1^i|^2 + |X_2 - X_2^i|^2)^{1/2} \leq R_i$ юм. Энэ нь $Pi_{m_1, i}$ тэгш өнцөгт $S(X^i, R_i)$ дугуйд багтана гэсэн үг юм. Эндээс Π_{m_1} тэгш өнцөгт $S(X^i, R_i)$ дугуйнуудын системийг хучина гэж гарч байна. Дурын $X \in \Pi_{m_1, i} \cap \mathbf{U}$ цэг авья. Тэгвэл $|X - X^i| \leq R_i$ нөхцлийг хангах цэгийг агуулсан $S(X^i, R_i)$ дугуй олно. Эндээс дараах тэнцэтгэл бишийг бичиж чадна.

$$J(X) \geq J(X^i) - \mathbf{L}|X - X^i| \geq J(X^i) - \mathbf{L}R_i = F_i - \epsilon \geq F_{m_1} - \epsilon$$

эсвэл

$$J(X) \geq F_{m_1} - \epsilon, \quad X \in X \in \Pi_{m_1, i} \cap \mathbf{U}. \quad (8)$$

Хэрэв $\mathbf{U} \subset \Pi_{m_1}$ бол $0 \leq F_m - J^* \leq \epsilon$ болж бодлого бодогдоно.

Тэгвэл $\mathbf{U} \not\subset \Pi_{m_1}$ гэж үзье. Хэрчмийн цэгүүдээ дараах байдлаар дараалан сонгоно.

$$X^{m_1+1}, \dots, X^{m_2}, \quad X^{m_1+i} = (X_1^{m_1+i}, X_2^2), \quad i = 1, \dots, m_2 - m_1,$$

$$\begin{aligned} X_1^{m_1+i} &= a_1 + h, \quad X_1^{m_1+i+1} = X_1^{m_1+i} + h + h_{m_1+i}, \quad i = 1, \dots, m_2 - m_1, \\ X_1^{m_2} &= \min\{b_1; X_1^{m_2-1} + h + h_{m_2-1}\}, \\ X_2^2 &= X_2^1 + h + d_{m_1}, \end{aligned} \quad (9)$$

энд m_2 дугаар $X_1^{m_2-1} < b - h \leq X_1^{m_2-1} + h + h_{m_2-1}$ гэж сонгогдоно.

$d_{m_2} = \min\{h_{m_1+1}, \dots, h_{m_2}\}$ гэж үзвэл

$$\Pi_{m_2} = \{X = (X_1, X_2) | a_1 \leq X_1 \leq b_1, \quad X_2^2 - h \leq X_2 \leq X_2^2 + d_{m_2}\}$$

тэгш өнцөгт муж

$$\begin{aligned} \Pi_{m_2,i} = \{X = (X_1, X_2) | X_1^{m_1+i} - h \leq X_1 \leq X_1^{m_1+i} + h_{m_1+i}, \\ X_2^2 - h \leq X_2 \leq X_2^2 + d_{m_2}\}, i = 1, \dots, m_2 - m_1. \end{aligned}$$

тэгш өнцөгтүүдийн нэгдэлд орших болно.

Одоо $\Pi_{m_2} \subset S(X^{m_1+i}, R_{m_1+i})$, ($i = 1, \dots, m_2 - m_1$) гэж батлахаас гадна бүх $X \in \Pi_{m_2} \cap \mathbf{U}$ -ийн хувьд $J(X) \geq F_{m_2} - \epsilon$ гэдгийг харуулья.

Харин $J(X)$ -ийн (8) үнэлгээг $F_{m_1} \geq F_{m_2}$ тэнцэтгэл биштэй хамт тооцвол

$$J(X) \geq F_{m_2} - \epsilon, \quad X \in Q_{m_2} \cap \mathbf{U}, \quad (10)$$

энд $Q_{m_2} = Q_{m_1} \cup \Pi_{m_2}$, $Q_{m_1} = \Pi_{m_1}$ болно.

Хэрэв $\mathbf{U} \subset Q_{m_2}$ бол (10) тэнцэтгэлбишээс $0 \leq F_{m_2} - J^* \leq \epsilon$ болж бодлого бодогдоно. Хэрэв $\mathbf{U} \not\subset Q_{m_2}$ бол бодолт үргэлжлэнэ.

X^1, \dots, X^{m_s} цэгүүд ба $F_1, \dots, F_{m_s}, d_{m_1}, \dots, d_{m_s}$ хэмжигдэхүүнүүд олдсон гэж үзье. $Q_{m_s} = Q_{m_{s-1}} \cup \Pi_{m_s}$ тэгш өнцөгтийн хувьд

$$J(X) \geq F_{m_s} - \epsilon, \quad X \in Q_{m_s} \cap \mathbf{U}. \quad (11)$$

гэдгийг үзүүлсэн.

Хэрэв $\mathbf{U} \not\subset Q_{m_s}$ бол

$$X_1^{m_s+1}, \dots, X_1^{m_s+i} \quad \text{энд} \quad X_1^{m_s+i} = (X_1^{m_s+i}, X_2^{m_s+i}), \quad i = 1, \dots, m_{s+1} - m_s$$

цэгүүдийг (7), (9), $X_2^{s+1} = X_2^s + h + d_{m_s}$ томъёонуудаар тооцоно. нэгжээр $d_{m_s+1} = \{h_{m_s+1}, \dots, h_{m_s+1}\}$ гэж авбал $\Pi_{m_{s+1}} = \{X = (X_1, X_2) | a_1 \leq X_1 \leq b_1, X_2^{s+1} \leq X_2 \leq X_2^{s+1} + d_{m_{s+1}}\}$ тэгш өнцөгттэй болно. Иймд дээрх алхамуудтай адилаар энэ тэгш өнцөгт $S(X^{m_s+i}, R_{m_s+i})$ дугуйнуудаар хучигдах ба $J(X) \geq F_{m_{s+1}} - \epsilon$, энд $X \in Q_{m_{s+1}} \cap \mathbf{U}$ ба $Q_{m_{s+1}} = Q_{m_s} \cup \Pi_{m_{s+1}}$ байна. Цаашид төгсгөлөг s алхамын дараа (11) тэнцэтгэлбиш батлагдаж бодлого бүрэн шийдэгдэнэ. Өөрөөр хэлбэл бид $n = 2$ үед $0 \leq F_m - J^* \leq \epsilon$ тэнцэтгэлбиш дурын $J(X) \in Q(\mathbf{L})$ функцүүдийн хувьд биелдэг болохыг харууллаа.

Иймд ерөнхий тохиолдолд $n \geq 2$ үед ч дээрхтэй адилаар гүйцэтгэх болно.

Algorithm 1 Пиявскийн алгоритм

Алхам 1. X^1, X^2, \dots цэгүүдийг дараалан сонгоно;

Алхам 2. $F_{opt} \leftarrow +\infty$; $f_{opt} \leftarrow f(X^i)$; $X_{opt} \leftarrow X_0$; $k \leftarrow 1$

Алхам 3. $F_{opt} - f_{opt} > \epsilon$ хэрвээ биелж байвал

$$F^k(X) = \min_{j=1,2,\dots,k-1} \{f(x^j) + \mathbf{L}\|X - X^j\|\};$$

$$X^k \leftarrow \arg \max_X F^k(X);$$

$$F_{opt} \leftarrow F^k(X^k);$$

Хэрвээ $f(X^k) > f_{opt}$ байвал $f(X^k) \leftarrow f_{opt}$

эсвэл $X_{opt} \leftarrow X^k$

Алхам 4. $k \leftarrow k + 1$

5. Симуляц, програм хангамж

Оновчлолын бодлогыг ээлжийн өгөгдлүүд дээр цаг хугацаанаас хамаарч бодно. Үүний тулд урвалжийн зарцуулалтуудыг контроллёруудын өгөгдлөөс авч, шаардлагатай тооцооллуудыг гүйцэтгэх програм хангамж боловруулсан. Оновчлолын (5) бодлого нь 30 минутын давтамжтайгаар цаг хугацаанаас хамааран динамик хэлбэрээр бодогдож байсан. Програм хангамж динамик байдлаар боловруулагдсан.

Mining Analyzing System

Туслаж Хэрэглэгчийн цэс Администратор Нээлттэй цонхнууд хаах Гаргах

Хүдэр олборлолтын төлөвлөгөө хяналт гүйцэтгэл Тайлан Эрдсийн нэдзлэл СТ АТБ БУ Маркшейдерийн хэлтэс

Сарын төлөвлөгөө 7 хоногийн төлөвлөгөө 7 хоногийн төлөвлөгөө 2 ээлжээр Анализ Урвалжийн тун БУ Технологи Эрдсийн найрлага

Урвалжийн тун X

БУ-ИЙН ТЕХНОЛОГИЙН ГОРИМЫН УРВАЛЖИЙН ТУНГИЙН ОНОВЧЛОЛЫН БОДЛОГО

Технологийн үзүүлэлтүүдийн оновчлол (ээлжийн өгөгдөл дээр)

Огноо 3/18/2020 БУ ИФО КСИ Харуулах Бодолт MAX, MIN -ын засварласан утгаар тооцох

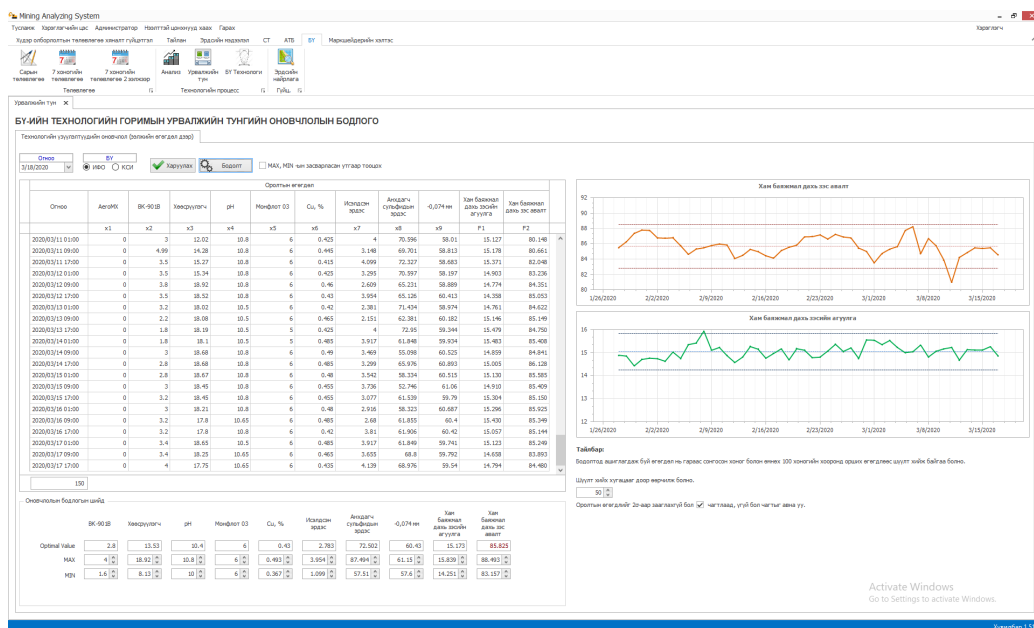
Огноо	АероМХ		ВК-901В		Хөөсрүүлэгч		рН	Монфлот 03		Cu, %	Исэлдсэн эрдэс	Анхдагч сульфидын эрдэс	-0,074 мм	Хам баяжнал дахь зэсийн агуулга	Хам баяжнал дахь зэс авалт
	x1	x2	x3	x4	x5	x6		x7	x8						
2020/01/30 09:00	6	3.6	16.67	10.5	0	0.47	1.277	80.851	58.33	14.468	88.257				
2020/01/30 17:00	6	2.8	16.4	10.5	0	0.45	1.556	80.028	60.119	14.391	87.048				
2020/01/31 01:00	6	2.8	16.4	10.5	0	0.42	1.668	73.851	59.549	15.365	86.981				
2020/01/31 09:00	6	3	17.94	10.5	0	0.434	1.384	78.404	59.215	14.927	87.302				
2020/02/01 01:00	6	2.6	17.94	10.5	0	0.43	1.629	86.081	57.644	14.274	87.202				
2020/02/01 09:00	6	2.6	16.49	10.5	0	0.475	1.264	84.284	58.226	14.606	87.676				
2020/02/04 17:00	6	2.6	18.01	10.5	0	0.439	1.821	86.482	59.479	14.538	87.023				
2020/02/22 09:00	6	2	9.66	10.5	0	0.395	1.519	78.501	60.828	14.724	87.274				
2020/02/23 09:00	6	2	11	10.5	0	0.4	1.25	80.011	59.404	14.653	87.111				
2020/02/23 17:00	6	1.8	10.6	10.5	0	0.42	1.428	76.139	60.434	15.117	88.000				
2020/02/24 01:00	6	1.8	10.65	10.5	0	0.43	1.395	79.07	59.888	14.826	87.554				
2020/03/05 17:00	5	1.5	10.15	10.7	0	0.487	1.439	65.762	59.854	14.773	87.450				
2020/03/06 01:00	5	1.5	10.95	10.65	0	0.455	1.319	68.147	58.784	15.369	87.597				
2020/03/06 09:00	5	1.65	9.55	10.5	0	0.46	1.087	65.216	59.429	15.312	87.733				
2020/03/14 17:00	6	2.8	14.3	10.8	0	0.46	3.478	69.565	60.116	15.214	87.137				

15

Оновчлолын бодлогын шийд

	АероМХ	ВК-901В	Хөөсрүүлэгч	рН	Cu, %	Исэлдсэн эрдэс	Анхдагч сульфидын эрдэс	-0,074 мм	Хам баяжнал дахь зэсийн агуулга	Хам баяжнал дахь зэс авалт
Optimal Value	5.5	2.75	14.05	10.51	0.437	2.589	74.507	59.5	15.017	87.545
MAX	6	4	18.75	10.8	0.487	4.091	86.482	61.35	15.985	88.257
MIN	5	1.5	8.75	10.2	0.38	1.087	58.072	57.64	14.049	86.833

Зураг 2: Оновчлолын бодлого бодох програмын дэлгэц (КСИ)



Зураг 3: Оновчлолын бодлого бодох програмын дэлгэц (ОФ)

6. Дүгнэлт

Холбоо Мэдээлэл Автоматжуулалтын Цех (ХМАЦ)-ийн шуурхай мэдээллийн сангаас 2019 оны урвалжуудын хэрэглэсэн түвшингийн хэмжилтүүд, хөөсрүүлэгч, орчны агаар, хүдэр дэх нийт зэс, исэлдсэн эрдсийн хувь, хүдэр дэх анхдагч сульфидын эрдсийн хувь, нунтаглалтын зэрэг, хам баяжмал дахь зэсийн агуулга зэрэг мэдээллүүдийг авч металл авалтад нөлөөлөх гол хүчин зүйлсийн судалгаа хийж 10 хүчин зүйлийн нөлөөллийг тооцож дүгнэхэд “Эрдэнэт Үйлдвэр” ТӨҮГ-ын ХМАЦ-ийн боловсруулдаг хүчин зүйлсийн мэдээллийг нунтаглан баяжуулах хэсэг, өөрөө нунтаглах хэсэг гэж салгаж тооцох зайлшгүй шаардлагатай болох нь тогтоогдсон.

Урвалж автоматаар дозолдог төхөөрөмжийн техникийн лавлагааг гаргуулж тоолуураас нь хэмжилт авч болох эсэх талаар судалгаа явуулсан.

Тухайлбал, туршилтын хугацаанд хамаарах 2019 оны өгөгдлийн хувьд оновчтой утгууд $X_2^* = 6.18$, $X_3^* = 45.19$, $X_4^* = 10.5$, $X_5^* = 7.42$, $X_6^* = 0.48$, $X_7^* = 10.999$, $X_8^* = 68.537$, $X_9^* = 60.72$, $X_{10}^* = 15.929$ болж баяжмалаас авах металл авалтын хэмжээ $F^* = 86.421$ болсон байв.

Туршилтыг төлөвлөх онолын тусламжтайгаар баяжмалын металл авалтанд нөлөөлөгч гол хүчин зүйлс болох хүдэр дахь зэсийн агуулга, урвалжийн тугналт, агаарын хэмжээ, нунтаглалтын түвшин гэх мэт 10 голлох хүчин зүйлүүдийн хамаарлыг тооцох 2-р эрэмбийн загвар байгуулан оптимизацийн бодлого бодож үйлдвэрлэлийн шуурхай удирдлагад хэрэглэх програм хангамж боловсруулсан.

Хам баяжмал дахь зэс авалтын хэмжээг 88% болгож өөрчилж туршилт тавьж үзэхэд дээрх хүчин зүйлүүдийг илэрхийлэгч хувьсагчууд хамгийн оновчтой утгаа өгч, хам

баяжмал дахь зэсийн агуулга бодит байдлаас буурахгүй байгаа нь ажиглагдсан бөгөөд энэ нь тухайн програм хангамжийн өндөр ач холбогдлыг харуулж, цаашид үйлдвэрлэлийн процессийг удирдахад ашиглах бүрэн боломжтой гэж үзсэн.

Оновчлолын аргуудын алгоритм ашиглан MatLab 2017 дээр програм хангамж боловсруулсан ба тус кодуудыг ашиглан "Эрдэнэт үйлдвэр" ТӨҮГ-ын тоон мэдээлэл дээр туршилт хийн, ХМАЦ-ийн сервер болон хэрэглэгчийн компьютерт суурилуулсан.

Энэхүү програм хангамж нь Эрдэнэтийн овоо ордын бүслүүржилтийг тусгасан, эрдсийн хам үүслээс нь хамааруулсан судалгаанд урвалжийн тунг оновчлоход чухал ач холбогдолтой програм хангамж болсон. Мөн Баяжуулах үйлдвэрийн технологийн процесст өдөр тутмын хяналтыг энэхүү програм хангамжийг ашиглан явуулах боломжтой болсон. Энэ нь урвалжийн зарцуулалтыг хянах, хэмнэх, баяжмал дахь металл авалтыг нэмэгдүүлэх ихээхэн ач холбогдолтой юм.

Ашигласан материал

- [1] Enkhbat.R and Basarsad.Ya. *General quadratic programming and its applications, in Optimization and optimal control*; (eds. A. Chinchuluun, P.M. Pardalos, R. Enkhbat and I. Tseveendorj), Springer-Verlag New York, (2010), 121-139.
- [2] R. Enkhbat and T. Ibaraki, *Global optimization algorithms for general quadratic programming*, J. Mong. Math. Soc., 5 (2001), 22-56.
- [3] R. Enkhbat, T.V.Gruzdeva and M.V.Barkova *D.C Programming approach for the solving an applied ore-processing problem*; ЖМО: (http://idstu.irk.ru/files/barkova-jimo._2018.pdf), Volume 14, Number 2, (2018), 613-628.
- [4] Р.Энхбат, С.Чулуунхуяг, *Ундны болон үйлдвэрийн технологийн зориулалтаар ашиглах усыг төмөргүйжүүлэх процессын оновчлол*. Эрдэм шинжилгээний бичиг, тэргүүн дэвтэр, Усны бодлогын хүрээлэн, х.68-76, Улаанбаатар хот.
- [5] R. Horst, P. Pardalos and N. V. Thoai, *Introduction to Global Optimization*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht-Boston-London, 1995.
- [6] R. H. Myers, *Response Surface Methodology*, Allyn and Bacon, Boston, MA, 1971.
- [7] Б.Алтантуяа, *Нэг төрлийн бус нунтаг материалын агаарын урсгалаар ялгах ажилуурын шинэ хийцийн боловсруулалт*. Техникийн ухааны доктор (Ph.D) - ийн зэрэг горилсон бүтээл, х.130, Улаанбаатар хот, 1998.
- [8] Ч.Алтанцэцэг, *Монгол орны уур амьсгалын нөхцөлд тохирсон дулаан хувцасны давхаргын судалгаа, түүний оновчтой бүтцийн зохиомж*. Техникийн ухааны доктор (Ph.D) - ийн зэрэг горилсон бүтээл, х.120, Улаанбаатар хот, 1998.
- [9] О.Баттогтох, Ц.Туяа, Р.Энхбат, *Оновчлолын аргаар баяжмал дахь зэсийн агуулга ба металл авалтыг тооцох нь*. Бизнес ба Инноваци, 06(04), х.4-11, МУИС, 2016.
- [10] С.Бат, Р.Энхбат, Ц.Чимэддулам, Р.Найдандорж, *Эфирийн тосны үйлдвэрийн технологийн оновчлол*. Техникийн Их Сургууль, Эрдэм шинжилгээний бичиг, N1(22), х.111-118, Улаанбаатар хот, 1995.
- [11] Я.Базарсад, *Квадрат програмчлалын ерөнхий бодлогыг бодох төгсгөлөг арга ба түүнийг туршилт төлөвлөх онолд хэрэглэх нь*. Математикийн шинжлэх ухааны доктор (Ph.D) - ийн зэрэг горилсон бүтээл, 89х, Улаанбаатар хот, 1997.
- [12] Я. Базарсад, Р. Энхбат, Д. Энхтуяа. *Ямааны ноолуураас хялгас ялгах технологийн оптимизаци*, ТИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг. 1993.N 6/21. с.72-76.
- [13] Я. Базарсад, Р. Энхбат. *Шалхмал эрдэс тэжээл үйлдвэрлэх үндсэн хүчин зүйлийн зохимжтой хэмжээг тодорхойлох математик арга*, 1993.N 6/21. с.77-83.
- [14] Г.Чимид-очир, Р.Энхбат, *Чацарганы тосны үйлдвэрлэлийн технологийн процессын оновчлол*. Техникийн Их Сургууль, Эрдэм шинжилгээний бичиг, N1(23), х.68-76, Улаанбаатар хот, 1996.
- [15] Gruzdeva.V., Ushakov.A.,Enkhbat.R. *A Biobjective D.C.programing approach to optimization of rougher flotation process*, Computer and Chemical Engineering, 108(2018). p349-359.