

**Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэрийн технологийн
процессыг хянадаг рентген спектр анализын аргыг
боловсронгуй болгох асуудалд**

П.Зузаан, Н.Гансүх, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн¹,
Б.Батжаргал², Л.Дэлгэрбат², Т.Ринчинжүгдэр²

Түлхүүр үг: РФА, СРМ-25, АР-31

Товч утга: Уулын баяжуулах Эрдэнэт үйлдвэрийн технологийн
процессыг хянадаг РСА-ын аргыг шинэчлэн сайжруулсан.

Оршил

Металлургийн үйлдвэрлэлийн процессыг шуурхай, найдвартай хянаж, бүтээгдэхүүнийг боловсруулах технологийн горимыг чанд сахиснаар үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний чанарыг дээшлүүлэх, өөрийн өртгийг бууруулах боломжтой. Иймд янз бүрийн найрлагатай, олон төрлийн бүтээгдэхүүнд аналитик хяналт хийх, технологийн процессыг удирдах автомат системийг бий болгох шаардлага аяндаа гардаг.

Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэрийн үйлдвэрлэлийн процессыг хянахад ТВСО-төрлийн тооцоолон бодох машинтай холбосон СРМ-18, СРМ-25 маркийн рентгенфлуоресценцийн спектрометрийг 1980-аад оноос хойш хэрэглэж ирсэн байна.

1998 оноос СРМ-25 спектрометрийг удирдахад персонал компьютер хэрэглэх болсноор урьд хэрэглэгдэж байсан программ хангамж, аргачлалыг өөрчлөх, шинэчлэн сайжруулах боломж нээгдсэн. Энэ ажилд персонал компьютерийн удирдлагатай СРМ-25 рентген спектрометрээр "Эрдэнэт" үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний дээжинд шинжилгээ хийх арга зүйн зарим асуудлыг авч үзсэн болно.

Элемент хоорондын харилцан нөлөө

Элемент хоорондын харилцан нөлөөг үнэлэх ба шинжилгээний аргыг сонгон авах явдал нь рентген спектрийн шинжилгээний арга боловсруулах үндсэн үе шатын нэг юм. "Эрдэнэт" үйлдвэрийн баяжуулах процессыг хянахад зэс, молибден, төмрийг тодорхойлох шаардлагатай байдаг. Эдгээр

¹ Физик технологийн хүрээлэн

² Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэр

элементийн үйлдвэрийн бүтээгдэхүүн дэх өөрчлөлтийн хэмжээг хүснэгт 1-д үзүүлэв. Эндээс харахад бүтээгдэхүүн тус бүрийн хувьд дээрх элементийн агуулга өргөн мужид өөрчлөгдөж байна.

Хүснэгт 1.

Үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний дээжийн химийн найрлагын өөрчлөлт

Бүтээгдэхүүн	Агуулга (%-иар)			
	Cu	Mo	Fe	Нягт*
1. Хүдрийн өрмөнцөр	0.3-1.7	0.006-0.08	1-6	18-35
2. Овоолгын хаягдал	0.04-0.3	0.002-0.04	0.5-5	7-35
3. Зэсийн баяжмал	20-40	0.04-0.8	10-40	15-50
4. Молибдений баяжмал	0.4-3.0	40-55	0.5-5	-

* шингэн дэх хатуу хэсгийн эзлэх хувь

Бид хүдрийн өрмөнцөр, овоолгын хаягдал, зэсийн болон молибдены баяжмал зэрэг бүтээгдэхүүний дээжинд долгионы уртаар ялгах рентгенфлуоресценцийн аргаар шинжилгээ хийхэд Cu, Mo, Fe-ийн K α -шугамын эрчимд дээжийн химийн найрлагын үзүүлэх нөлөөг судлав.

Энэ нөлөөг үнэлэхдээ нэгэн төрөл бус анхдагч цацрагаар өдөөгдсөн флуоресценцийн цацрагийн эрчмийг боддог, өдөөх ба шингээх үзэгдлийг тооцдог илэрхийлэлийн тусламжтайгаар гүйцэтгэв.

Хүснэгт 2

Аналитик шугамын эрчимд зарим үндсэн элементийн нөлөөлөх коэффициент (Rh-анод, 40 кВ, 50 мА)

Нөлөөлөх Компонент	Зэсийн баяжмал			Хүдэр		
	Fe	Cu	Mo	Fe	Cu	Mo
Al ₂ O ₃	0.07	0.04	0.01	0.11	0.09	0.09
S	-0.90	-0.44	-0.22	-1.29	-1.78	-1.05
CaO	-1.34	-0.7	-0.38	-1.97	-1.78	-1.76
TiO ₂	-1.31	-0.7	-0.4	-2.01	-1.86	-1.96
Fe ₂ O ₃	-	-1.4	-0.8	-	-3.49	-3.86
Cu	0.00	-	-1.68	0.56	-	-7.45
Mo	-1.58	-0.59	-	-1.86	-1.13	-

Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэрийн бүтээгдэхүүнд байж болох үндсэн элементүүд аналитик шугамуудын эрчимд хэрхэн харилцан нөлөөлөхийг онолоор тооцож хүснэгт 2-д харуулав. Энэ хүснэгтэд нөлөөлөгч элементийн агуулга 1%-оор ихсэхэд тухайн аналитик шугамын эрчим нь хэдэн хувиар

rs,

өөрчлөгдөхийг үзүүлсэн бөгөөд нөлөөлөгч элементийн агуулгыг өөрчлөхдөө дээж дэх SiO_2 -ын агуулгыг өөрчлөх замаар тооцоот зэсийн баяжмал, зэс-молибдений хүдрийн стандарт дээжинд хийв. Тэхдээ 200 мкм берилли цонхтой, Rh анод бүхий рентген хоолойн хүчдэл 40 кВ, гүйдэл 50 мА, туссан өнцөг дээжийн гадаргууд 90° , ойлтын өнцөг нь 45° байх нөхцлөөр хийсэн.

2-р хүснэгтээс харахад зэсийн баяжмал дахь Fe-ийн Ka-шугамын эрчимд CaO , TiO_2 ба Mo-ны нөлөө их байна. Тухайлбал дээжинд байгаа CaO -ийн агуулга 1%-оор нэмэгдэхэд төмрийн эрчим 1.34%-аар багасаж байна. Cu Ka-шугамын хувьд дээрхтэй төстэй бөгөөд, Mo Ka-шугамын эрчимд зэс, төмрийн нөлөө их байна. Хүдрийн дээжийн хувьд бидний тодорхойлох гэж буй элементүүдийн аналитик шугамын эрчимд S, CaO , TiO_2 -ын нөлөө их байгаагаас гадна Cu, Mo-ийн Ka-шугамд Fe_2O_3 -ийн, Mo-ийн Ka шугамд Cu-ийн нөлөө их байна.

Долгионы уртаар ялгах рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний үр дүнд дээжийн химийн найрлагын нөлөөг тооцсон засвар оруулахын тулд тооцоолон олсон эрчмийн дээж дэх элементийн агуулгаас хамаарах хамаарлын муруйг байгуулав. Үүний тулд бүтээгдэхүүн тус бүрийн хувьд 15-20 хуурай дээжинд элементийн шугамын эрчмийг тооцоолсон.

Тухайн дээж дэх Cu, Mo ба Fe-ийн агуулгыг хүснэгт 1-д заасан мужид байхаар химийн аргаар олсон дүнгээр авав. Харин хүүхэр болон бусад байж болох гол элементийг хүдэр, баяжмал, хаягдлын стандарт дээжинд тодорхойлогдсон дүнгээр авч, гол төлөв цахиурыг нь дүүргэгч болгон авсан. Өөрөөр хэлбэл, сонирхсон элементийг нэмэгдүүлсэн буюу хорогдуулсан хэмжээгээр цахиурын ислийн хэмжээг өөрчилж бусад элементийн агуулгыг хэвээр байлгасан юм. Зэс, молибдены баяжмал, хүдрийн дээжинд хийсэн тооцооны дүнгээр байгуулсан аналитик шугамын эрчмийн агуулгаас хамаарах хамаарлын муруйг жишээ болгон зураг 1-д үзүүлэв. Энэ хамаарал молибдены баяжмал дахь Mo-оос бусад элементийн хувьд шугаман байна. Шулуунаас хазайсан цэгийн хазайлт нь тухайн элементийн флуоресценцийн цацрагийн эрчимд дээжийн химийн найрлагын үзүүлэх нөлөөг тодорхойлно.

Зураг 1-ийн г-д харуулсан хамаарлаас молибдений эрчимд дээжийн химийн найрлага ихээхэн нөлөөлж байгаа нь харагдаж байна. Аналитик шугамын эрчимд дээжийн химийн найрлагын үзүүлж байгаа энэ нөлөөг тооцсон нэгэн хувилбарыг зураг 2-т үзүүлэв. Энд химийн найрлагын өөрчлөлтийн нөлөөг сарнисан цацрагийн эрчмээр (тухайлбал когерент сарнилын) засвар хийх замаар сайн тооцож болох нь харагдаж байна. Зураг 3-т СРМ-25 спектрометрээр хэмжсэн зэсийн эрчим, дээж дэх түнний агуулгаас

хэрхэн хамаарахыг үзүүлэв. Энд мөн сарнисан цацрагийн эрчмийг ашигласан.

Дээжийн нунтаглалт

Тохируулгын муруй байгуулах, арга зүйг сонгож авахад аналитик шугамын эрчимд дээжийн нунтаглалт хэрхэн нөлөөлж байгааг мэдэх нь чухал ач холбогдолтой. "Эрдэнэт" үйлдвэрийн рентген спектрометрийн шуурхай лаборатори технологийн явцын нунтаглалттай дээжинд хэмжилт хийдэг бөгөөд хэмжсэн дээжээ хяналтын лабораториудад явуулахдаа дахин нунтагладаг. Дахин нунтагласны дараа тэдгээр дээжээ хэмжиж үзэхэд Си-ийн $K\alpha$ шугамын эрчим 3-18 %, Fe-ийн $K\alpha$ -шугамын эрчим 8-10 %-иар ихсэж, Мо-ийн $K\alpha$ -шугамын эрчим 2-10%-иар багасаж байв. Энэ өөрчлөлт нь үйлдвэрлэлийн дамжлага бүрт өөр байлаа.

Арга зүй

"Эрдэнэт" үйлдвэрийн СРМ-25 спектрометр нь 25 элементийг нэгэн зэрэг тодорхойлох боломжтой боловч түүний зөвхөн 6 сувгийг ашиглан Fe, Cu, Mo болон сарнилын шугамын эрчмийг хэмжихээр тохируулагдсан байна. Иймээс элемент хоорондын нөлөөг бүрэн тооцох боломжгүй бөгөөд энэхүү 6 сувгийг ашиглан үйлдвэрлэлийн бүтээгдэхүүнд Fe, Mo, Cu-ийг тодорхойлох арга зүйн судалгаа хийв.

СРМ-25/ТВСО системийн аргачлал нь бүтээгдэхүүний төрлөөс хамаарахгүйгээр агуулгын өргөн мужид ганц тэгшитгэлээр боддог байсан [1]. Тэр нь тухайн үеийн тооцоолон бодох машины хүчин чадалд тохируулан хийгдсэн аргачлал бөгөөд энэ аргаар тэгшитгэлийн коэффициентүүдэд дахин тохиргоо хийх боломжгүй байсан юм. Харин энэ ажилд урьд нь сонгон хэрэглэж байсан хэмжилтийн геометр нөхцөл болон багажийн ажиллагааны горим, түүний тогтвортой байдлыг хянах реперийн арга зэргийг хэвээр нь авч ашиглав.

Дээжийн төрөл, агуулгын мужаас хамааруулан тохируулгын муруйг хэд хэдэн хэсэг болгож байгуулах замаар арга зүйг сонгон авах оролдлого хийсэн.

Аналитик шугамын эрчимд дээжийн химийн найрлагын үзүүлэх нөлөөг тооцохын тулд регрессийн тэгшитгэлийн аргыг хэрэглэв [2].

$$C_i = a_0 + \sum a_j I_j + I_1 \sum b_l I_l + I_2 \sum d_p I_p \quad (1)$$

энд: C_i - тодорхойлох элементийн агуулга

I_j, I_l - нь тодорхойлох ба нөлөөлөх элементийн эрчим

I_2 - нь сарнисан цацрагийн эрчим

гс,

a, b, d - нь агуулга нь мэдэгдэж байгаа дээжийн тусламжтайгаар олох тогтмолууд

Тухайн бүтээгдэхүүн дэх элементийн агуулгыг тодорхойлох дээрх тэгшитгэлийн зохимжтой хэлбэрийг сонгохдоо "Fumuli" программыг ашиглан гүйцэтгэв.

Тухайлбал: хүдэр, хаягдлын дээжинд зарим элементийг тодорхойлоход

$$C_i = a_0 + a_i I_i + I_i \sum_{j=1, j \neq i}^3 b_j I_j \quad (2)$$

илэрхийлэл сайн тохирч байхад, бүх төрлийн бүтээгдэхүүнд (3), харин баяжмалын дээжинд байгаа их агуулгатай элементийг тодорхойлоход (4) илэрхийлэл зарим тохиолдолд илүү нарийвчлалтай үр дүн өгч байлаа.

$$C_i = a_0 + \sum a_j I_j \quad (3)$$

$$C_i = a_0 + a_i I_i^{\text{отн}} \quad (4)$$

$$\text{Энд } I_i^{\text{отн}} = \frac{I_i}{I_p}$$

Боловсруулсан аргаар хийсэн шинжилгээний урьдчилсан дүнг хуучин арга болон химийн аргатай харьцуулан хүснэгт 3-т үзүүлээ.

Хүснэгт 3

Шинжилгээний харьцуулсан дүн

Дээж	Химийн анализ			Хуучин арга			Шинэ арга		
№	Cu	Mo	Fe	Cu	Mo	Fe	Cu	Mo	Fe
61 баяж.	25.2	0.08	26.5	23.9	0.09	24.6	24.2	0.08	24.9
62 баяж.	28.3	0.04	23.7	28.2	0.06	21.1	28.7	0.04	22.9
64 баяж.	31.2	0.03	22.7	30.7	0.05	20.3	31.3	0.03	21.6
Си баяж (эталон)	32.0	0.14	19.8	30.0	0.13	18.3	31.9	0.12	19.5
Секц 2	0.8	0.01	-	0.8	0.02	2.4	0.8	0.01	2.4
Секц 3	0.7	0.01	-	0.7	0.01	1.9	0.7	0.01	1.9
Секц 4	0.7	0.02	-	0.6	0.02	1.9	0.7	0.01	1.8
Секц 5	0.8	0.02	-	0.8	0.01	1.9	0.8	0.01	1.9
Секц 6	0.7	0.02	-	0.8	0.01	2.2	0.7	0.01	2.2
Хүдэр (эталон)	0.8	0.02	2.8	0.9	0.02	2.8	0.8	0.02	2.8
Хаягдал	0.1	0.01	-	0.1	0.01	2.2	0.1	0.01	1.9
З ээлж	0.1	0.01	-	0.1	0.01	1.9	0.1	0.01	1.8
Хаягдал (эталон)	0.1	0.01	2.8	0.1	0.01	2.8	0.1	0.01	2.7

Дүгнэлт

Уулын баяжуулах Эрдэнэт үйлдвэрийн бүтээгдэхүүнд зэс, молибден, төмөр тодорхойлох долгионы уртаар ялгах рентгенфлуоресценцийн шинжилгээний арга сонгон авах, шинжилгээний нарийвчлалыг сайжруулах зорилгоор элемент хоорондын нөлөөг онолоор тооцоолов.

Боловсруулсан аргаар хийсэн шинжилгээний дүн, бусад шинжилгээний дүнтэй дүйж байв.

Бүтээгдэхүүн бүрт тохирсон регрессийн тэгшитгэлийг сонгох замаар шинжилгээний аргын нарийвчлалыг сайжруулж болохыг үзүүлэв.

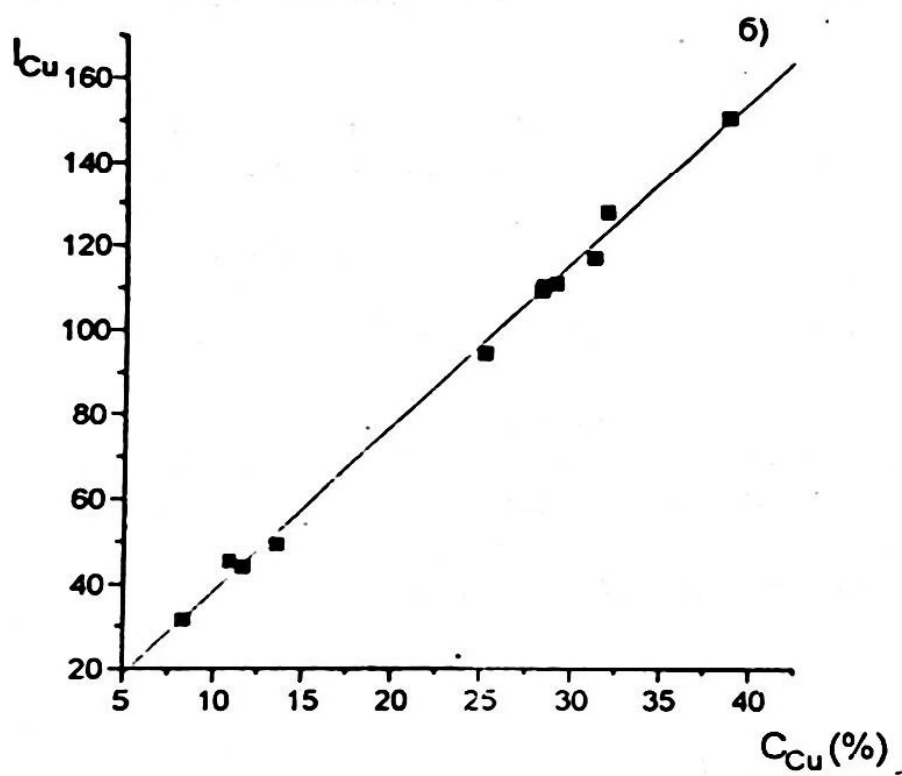
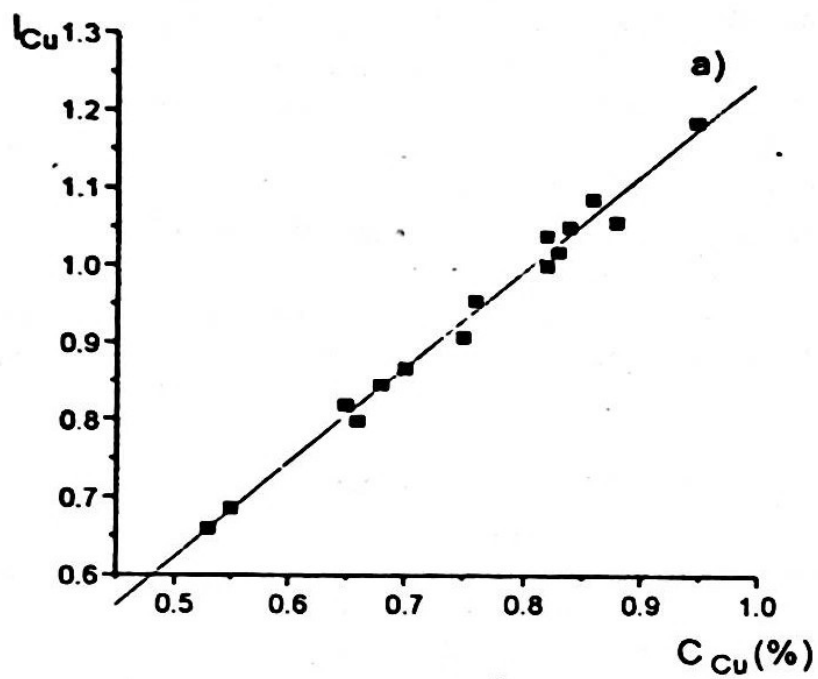
Ашигласан ном, зохиол

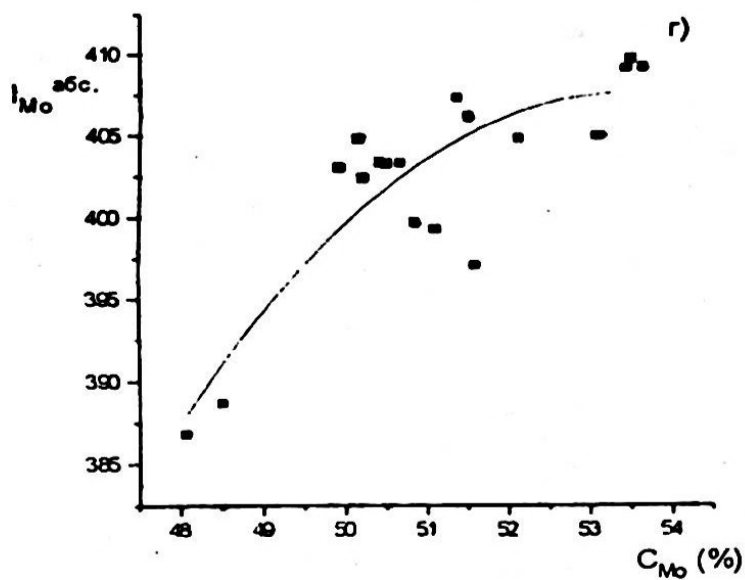
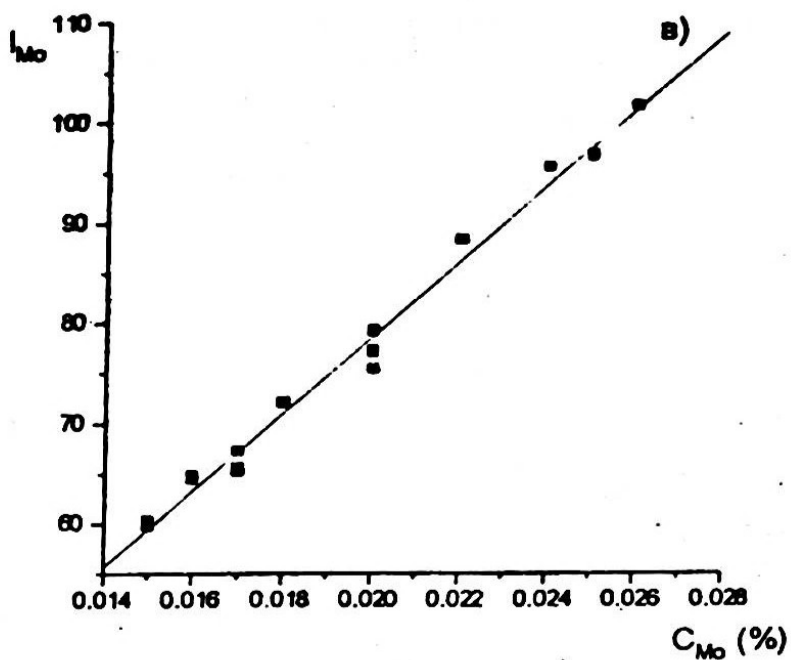
1. А.В.Бондаренко, В.С.Дудник, Ж.Лхагва
Построение и использование единого уравнения связи при рентгеноспектральном анализе на аналитическом комплексе СРМ-18-ЭВМ М-600, УДК 546.42-52, В кн. Из опыта предприятия, с.38-42
2. А.Г.Ревенко
Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов, "Наука" 1994, 262с.
3. А.Н.Смагунова, В.А.Козлов
Примеры применения математической теории эксперимента в рентгенофлуоресцентном анализе, Москва, изд. "Химия", 1990, 207с.
4. Инструкция по рентгеноспектральному методу определений меди, молибдена и железа в рудах и продуктах обогащения ОФ СП "Эрдэнэт" на спектрометре СРМ-25/УВК(TBCO)

Аннотация

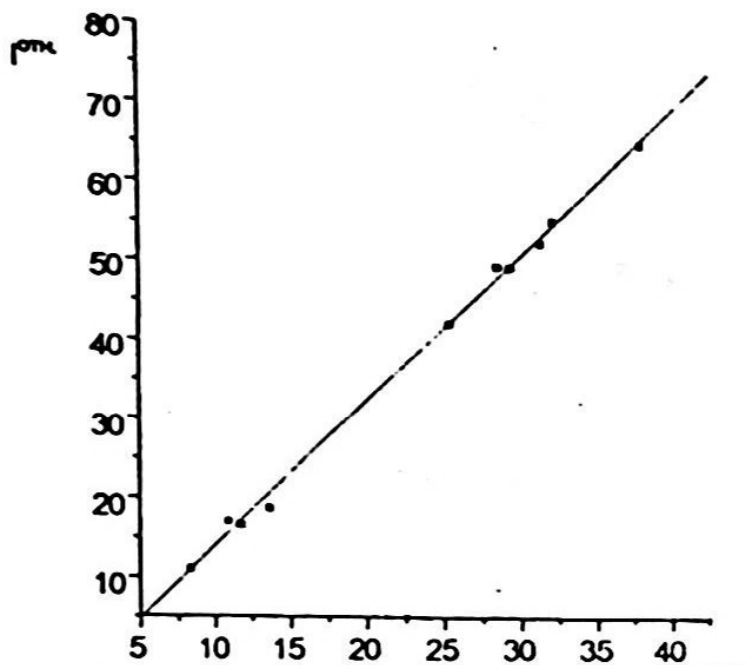
Обсуждены некоторые вопросы определения содержания Cu, Mo и Fe методом рентгеноспектрального анализа в рудах и продуктах ГОК "Эрдэнэт".

rs,

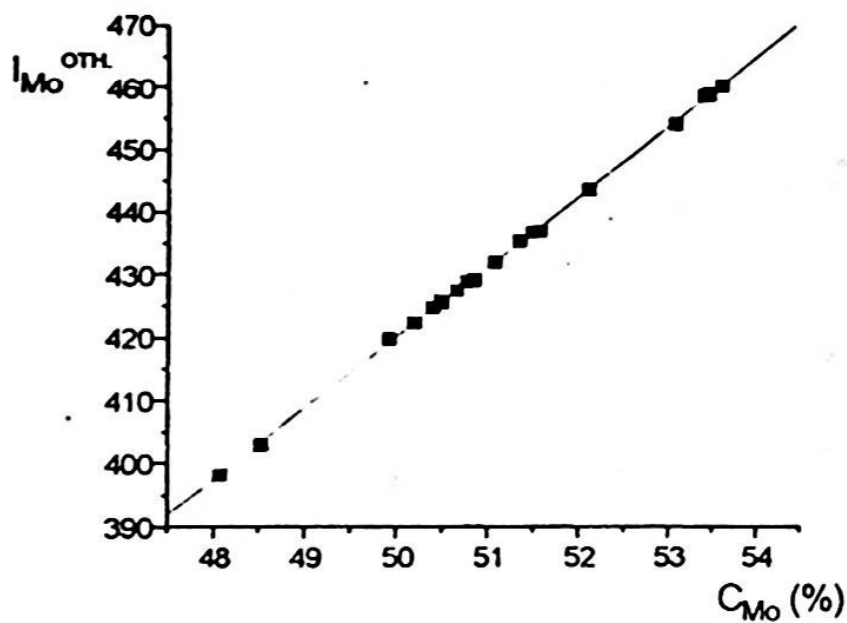




Зураг 1. Элементийн агуулга, аналитик шугамын эрчмийн хамаарал
 а) хүдэр дэх зэс, б) зэсийн баяжмал дахь зэс, в) хүдэр дэх молибден,
 г) молибдений баяжмал дахь молибден



Зураг. 2. Зэсийн харьцангуй эрчим, агуулгын хамаарал (7-40 %)



ураг. 3. Засвар хийсний дараах молибдений шугамын эрчим, агуулгын хамаарал