

Гамма спектрометрийн аргаар байгалийн дээжид ^{238}U тодорхойлох

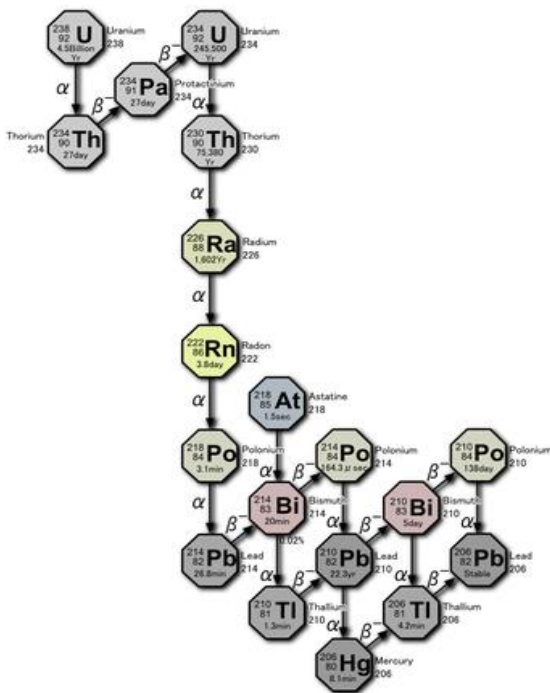
П.Зузаан*, Б.Отгоолой, Р.Маахүү

Монгол Улс, Улаанбаатар-210646, Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Судалгааны Төв
*Э- шуудан: pzizaan@yahoo.com

Уран-радийн тэнцвэрээс үл хамааран аливаа дээж дэх уран-238-ын агуулгыг ^{238}U -ын шууд бүтээгдэхүүн болох ^{234}Th изотопоос үүсэх 92,4+92,8 кэВ шугамуудын нийлбэр импульсийн тоогоор тодорхойлох аргын давуу талыг харуулав. Гамма спектрометрийн аргын мэдрэх чадвар 1г/т.

І.ОРШИЛ

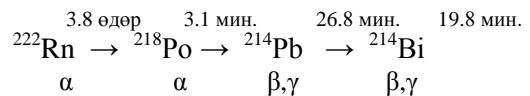
МУИС-ийн ЦСТ-д судалж байгаа дээжинд уран-радийн тэнцвэр хадгалагдаж байгаа тохиолдолд ураны хэмжээг түүний задралын (Зураг.1.) бүтээгдэхүүнүүд болох ^{214}Pb , ^{214}Bi –ээс гарах 351, 609 кэВ энергитэй квантуудыг бүртгэх замаар гамма спектрометрийн аргаар (ГСА) тодорхойлдог [1,2].



Зураг1. Уран-238 бүлийн задралын схем

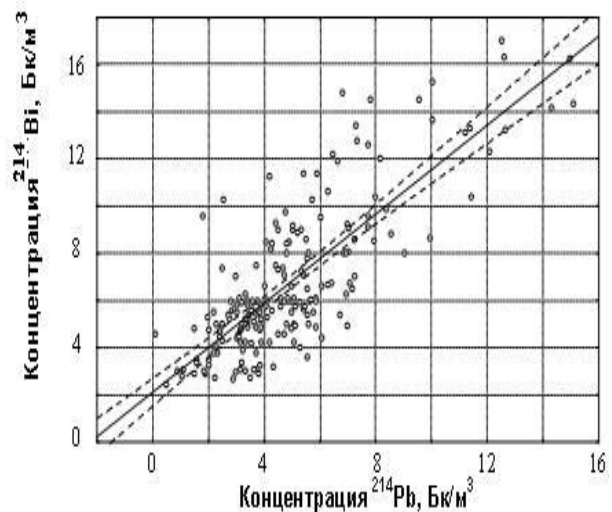
Дээрхи задралын хэлхээн дотроос радийн задралын бүтээгдэхүүн болох ^{222}Rn изотоп хийн төлөвт оршдог бөгөөд газрын хөрсөнд усаар дамжин нүүдэллэх, агаарт ихээхэн хуримтлагдах магадлал ихтэй.

Харин дээр дурьдагдсан хартугалга болон висмутын изотопууд задралын схем ёсоор дараах хэлхээгээр үүснэ:



Хамгийн гол нь ^{214}Pb (RaB), ^{214}Bi (RaC) изотопууд нь атмосферийн гамма цацрагийн орны үндсэн үүсгүүрүүд болдог бөгөөд агаарын температур, даралт, урсгалаас маш их хамаарсан гамма цацрагийн тогтворгүй фоныг үүсгэдэг [3].

Түүнээс гадна эдгээр изотопын агаар дахь идэвхийн хоорондын корреляци төдийлөн сайн бус байдгийг 2-р зургаас харж болно [4].



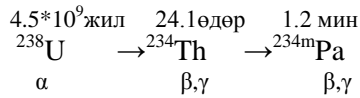
Зураг 2. ^{214}Bi ба ^{214}Pb -ийн идэвхийн харилцан хамаарал

Нөгөө талаас практик дээр уран-радийн абсолют тэнцвэр байдаггүй. Дээр тэмдэглэгдсэн бүх шалтгаанаас үүдэн ^{214}Pb , ^{214}Bi изотопуудын задралаас гарах 351, 609 кэВ энергитэй квантыг бүртгэх замаар ураны тоон хэмжээг тодорхойлох нь учир дутагдалтай.

Иймд дээр дурьдагдсан аргаас өөр найдвартай аргыг судалсан үр дүнг энэхүү ажлын хүрээнд авч үзэв.

II. ^{238}U -ЫГ ТОДОРХОЙЛОХ АРГА

Байгалийн ердийн орчинд байсан аливаа дээж дэх ^{238}U ба түүний задралын шууд бүтээгдэхүүн болох ^{234}Th изотопуудын хооронд үргэлж тэнцвэрийн нөхцөл оршиж байдгийг судлаачид аль дээр үед тогтоосон байдаг [5]. Ураны задралын эхний хоёр үеийг бичвэл:



Схемээс харахад ^{238}U ба $^{234\text{m}}\text{Pa}$ изотопуудын хооронд ч мөн тэнцвэр сайн тогтсон байдаг гэсэн үг юм. Өөрөөр хэлбэл энэ гурван изотопын хувьд идэвх нь тэнцүү байна:

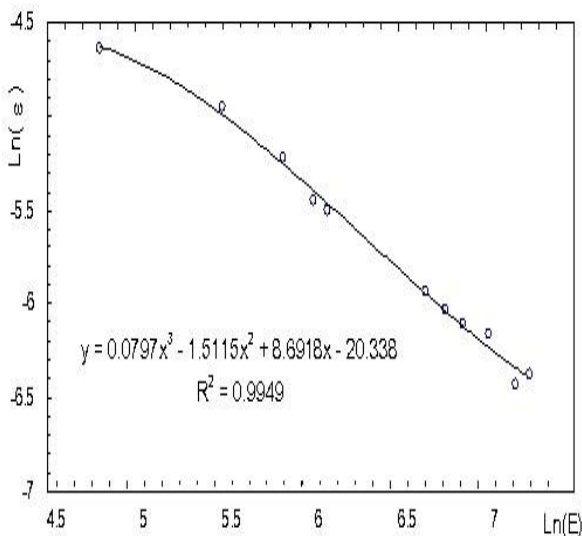
$$\lambda_U N_U = \lambda_{Th} N_{Th} = \lambda_{Pa} N_{Pa}$$

энд: λ , N – харгалзан тухайн изотопын хагас задралын тогтмол болон цөмийн тоо.

^{234}Th изотопоос үүсэх гамма цацрагаас $I(92.4)=0.0272$ харьцангуй гаралттай, 92.4 кэВ энергитэй, мөн $I(92.8)=0.0269$ харьцангуй гаралттай, 92.8 кэВ энергитэй гамма квантуудаас өөр бүртгэгдчихээр их энергитэй гамма цацраг байхгүй. Харин $^{234\text{m}}\text{Pa}$ изотопоос $I(1001)=0.0058$ харьцангуй гаралттай, 1001 кэВ энергитэй гамма квант үүсдэг.

Иймд ^{234}Th изотопын ≈ 0.05 нийлбэр гаралттай ойролцоогоор $(92.4+92.8)/2 \approx 92.6$ кэВ дундаж энергитэй шугамаар эсвэл $^{234\text{m}}\text{Pa}$ изотопын 1001 кэВ энергитэй гамма шугамаар ^{238}U -ыг тодорхойлж болно.

МУИС-ийн ЦСТ-ийн 52 см^3 ажлын багтаамжтай (HrGe) хагас дамжуулагч германи детекторын бүртгэх чадварыг 3-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 3. HRGe) детекторын бүртгэх чадварын муруй.

Зурагт тэмдэглэгдсэнээр детекторын бүртгэх чадвар цэгэн үүсгүүрийн хувьд дараах томъёогоор тодорхойлно:

$$\text{Ln}(\varepsilon) = 0,08 \cdot [\text{Ln}(E)]^3 - 1,51 \cdot [\text{Ln}(E)]^2 + 8,69 \cdot \text{Ln}(E) - 20,34$$

Хэрэв детекторын бүртгэх чадварын муруйн хэлбэр үүсгүүрийн овроос бараг хамаардаггүйг тооцвол, авч үзэж буй энергиүдэд харгалзах бүртгэх чадвар, гаралтуудын үржвэрийн харьцангуй утгыг дээжний дурын геометрт дараах байдлаар үнэлж болно:

$$\frac{\varepsilon_{92.6 \text{ кэВ}} I(92.6)}{\varepsilon_{1001 \text{ кэВ}} I(1001)} = \frac{0.01085 \cdot 0.05}{0.00245 \cdot 0.006} = 38$$

Өөрөөр хэлбэл ^{234}Th ба $^{234\text{m}}\text{Pa}$ изотопуудаас үүсэх аналитик гамма шугамуудын үзүүлэлтүүдийн жишгээс үзэхэд байгалийн нөхцөлд байсан аливаа дээж дэх ^{238}U -г ^{234}Th – оос үүсэх 92.4+92.8 кэВ шугамуудын нийлбэрээр тодорхойлох нь статистикийн хувьд илүү тохиромжтой гэсэн дүгнэлт аяндаа гарч байна.

Харин $^{234\text{m}}\text{Pa}$ изотопын хувьд дор хаяж 2-4 цагийн хэмжилтийн дүнд 1001кэВ энергитэй гамма квантаас тоологдох эффект хүрэлцэхүйц хэмжээнд фоноос (ядаж гурав дахин) ялгаран гарна. Иймд энэхүү шугамаар дээжүүд дэх тэнцвэрийн нөхцлийг шалгах боломжтой.

III. ҮР ДҮН

A. Уран-радийн тэнцвэр

Онгилог нуурын фосфоритын ордын ОФ2 дугаартай дээжийн байгалийн гамма спектрийг 4-р зурагт үзүүлэв. Энэ спектр нь фонын спектр хасагдсан, тухайн дээжийн цэвэр спектр.

Энэхүү ажилд тухайн өдрийн фонын спектр хасагдсан цэвэр спектрүүдэд хийгдсэн боловсруулалтын үр дүнгүүдээр бүх тооцоо хийгдсэнийг онцлон тэмдэглэж байна.

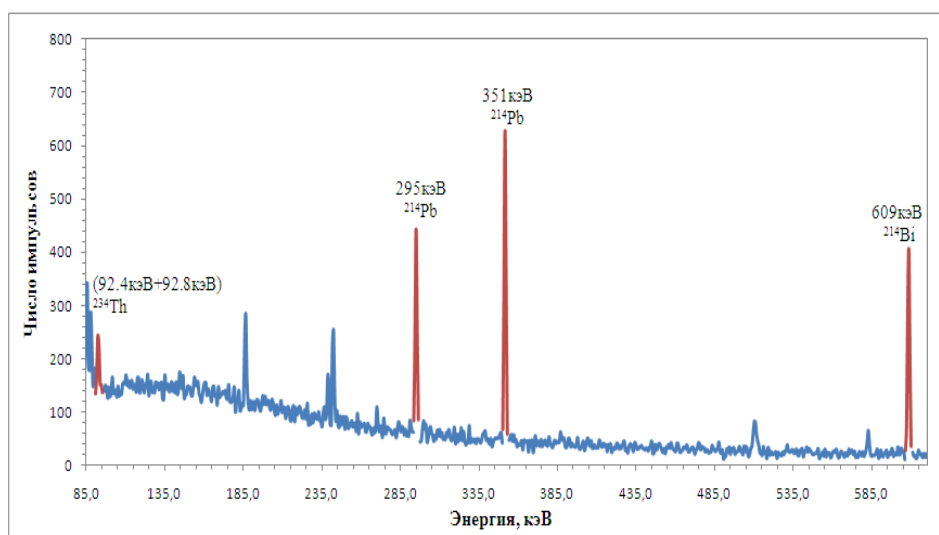
Энэхүү гамма спекрт заагдсан (92.4+92.8 кэВ), 351 кэВ болон 609 кэВ энергийн шугамуудаар харгалзан ^{238}U , ^{214}Pb ба ^{214}Bi изотопуудын хувийн идэвх (Бк/кг)- ийг Хөвсгөл аймгийн фосфоритын зарим орд газрын дээжинд тодорхойлсныг 1-р хүснэгтэнд нэгтгэн харуулав.

Хүснэгтээс харахад ^{214}Pb ба ^{214}Bi изотопуудын хувийн идэвх ^{238}U -ынхаас зөрж гарсан байна. Хэрэв тэнцвэрийн нөхцөл хадгалагдаж байсан бол эдгээр элементийн хувийн идэвх тэнцүү байх ёстой бөгөөд ураны агуулгыг шууд статистик сайтай (Зураг 4.-ийг

хар) 351 кэВ болон 609 кэВ энергийн шугамуудаар тодорхойлж болох байсан. Гэвч эдгээр шугамыг ашиглаж болох эсэхийг дараах шалгуураар тогтоож болно.

Уламжлал ёсоор хэрэв эдгээр элементийн хувийн идэвх зөвшөөрөгдсөн дундаж квадрат алдааны мужид багтаж байвал тухайн дээжүүдэд уран-радигийн тэнцвэр ойролцоогоор хадгалагдаж байна гэж үзэж

болно. Энэхүү зөвшөөрөгдсөн алдааг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв. Уран-238-ын хувийн идэвхтэй харьцангуйгаар ^{214}Pb ба ^{214}Bi изотопуудын хувийн идэвх (Бк/кг)- ийн гарсан зөрүүнүүдийг хувиар илэрхийлж зөвшөөрөгдсөн алдаатай харьцуулсан дүнг 3-р хүснэгтэд нэгтгэн үзүүлэв.



Зураг 4. Онгилог нуурын фосфоритын ОФ2 дээжний гамма спектр

Хүснэгт 1. Фосфоритын орд газруудын дээж дэх үндсэн цацраг идэвхт элементүүдийн хувийн идэвх

Дээж №	Орд	^{214}Pb , Бк/кг (351 кэВ)	^{214}Bi , Бк/кг (609 кэВ)	^{238}U , Бк/кг (92,4+92,8 кэВ)
Оф1	Онгилог	155	192	124
Оф2	Онгилог	262	328	215
Оф3	Онгилог	99	126	81,5
Оф4	Жанхай	77	105	68
Оф5	Жанхай	4,7	21	12,4
Оф6	Хэсэн	15	29	19,8
Оф7	Хэсэн	22	29	35,8

Хүснэгт 2. Янз бүрийн мужид зөвшөөрөгдсөн дундаж квадрат алдаа, (%)

Агуулгын муж, Бк/кг	Агуулгын муж, г/т	Зөвшөөрөгдсөн дундаж квадрат алдаа, %
5-24	0,5-1,9	25
25-60	2,0-4,9	20
61-125	5,0-9,9	18
126-235	10,0-19,0	6

Хүснэгт 3. ^{238}U –тай харьцангуй ^{214}Pb ба ^{214}Bi изотопуудын хувийн идэвхийн зөрүү, (%)

Дээж №	Орд	Хувийн идэвхийн зөрүү, %		Зөвшөөрөгдсөндундаж квадрат алдаа, %
		^{214}Pb	^{214}Bi	
Оф1	Онгилог	25	55	6
Оф2	Онгилог	22	53	6
Оф3	Онгилог	21	55	18
Оф4	Жанхай	13	54	18
Оф5	Жанхай	-62	69	25
Оф6	Хэсэн	-24	46	25
Оф7	Хэсэн	-38	-19	20

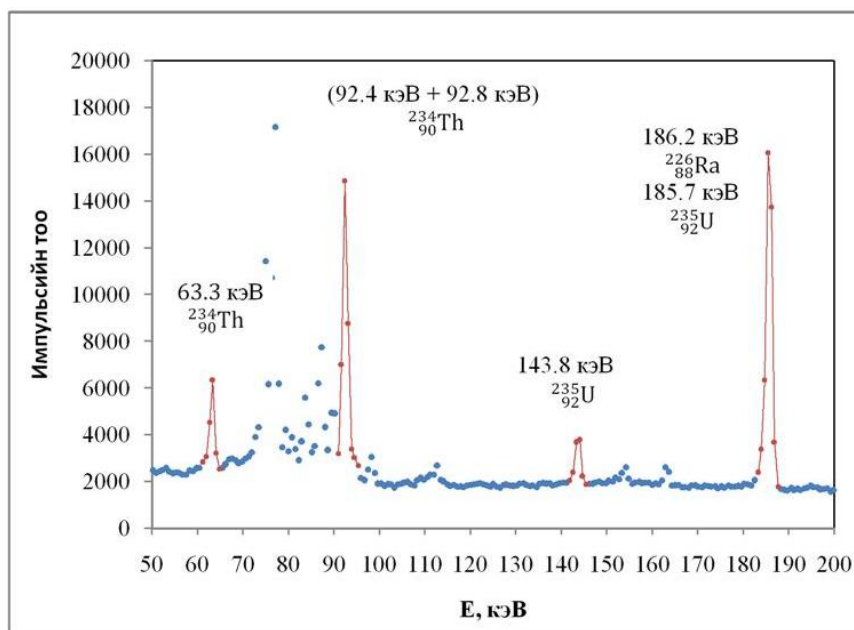
Хүснэгтээс харахад ОФ4, ОФ6 дээжүүдэд ^{214}Pb , харин ОФ7 дээжинд ^{214}Bi зөвшөөрөгдсөн алдааны мужид ^{238}U –тай тэнцвэрийн байдалд байна гэж үзэж болохоор байна.

Хэмжилтийн дүнгээс үзэхэд Онгилог нуурын орд газрын дээжнүүдэд ^{214}Pb , ^{214}Bi элементүүдийн хуримтлал явагдсан нь харагдаж байгаа бөгөөд ялангуяа энэхүү хуримтлал ^{214}Bi –ийн хувьд илүү явагдаж байна гэж үзэж болно. Энэ нь ^{214}Pb , ^{214}Bi элементүүдийн аналитик шугамуудаар ^{238}U -ыг тодорхойлох боломжгүйг харуулж байна.

Б. 92,4+92,8 кэВ нийлбэр шугамаар ^{238}U -ыг тодорхойлсон дүн

Судалж буй аргын хувилбарыг ГСА-ын харьцангуй болон үнэмлэхүй хэмжилтийн аргууд дээр туршиж, тэдгээрийн үр дүнг нейтрон идэвхжилийн аргын (НИА) дүнтэй жишээнийг энэ хэсэгт авч үзэв.

Ураныг тодорхойлоход бидний сонгосон арга нь ^{238}U –ын задралын шууд бүтээгдэхүүн болох ^{234}Th изотопоос үүсэх 92.4+92.8 кэВ шугамуудын нийлбэр импульсийн тоогоор тодорхойлоход үндэслэгдсэн [6]. Энэ шугамууд нь хагас дамжуулагч детекторт давхцаж бүртгэгднэ. Бидний туршилтад хэрэглэгдэж байгаа гамма-спектрометрийн өрөөний фоныг хассан, ураны хүдрийн ердийн байгалийн гамма цацрагийн 50-200 кэВ энергийн мужид харгалзах цэвэр спектрийг 5-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.5. Ураны хүдрийн гамма цацрагийн 50-200 кэВ энергийн мужид харгалзах спектр.

Зураг 5. нь HPGe хагас дамжуулагч детектор бүхий спектрометр дээр хэмжигдэн гардаг байгалийн гамма цацрагийн ердийн спектрийг харуулж байгаа билээ.

Дээр тэмдэглэснээр 92.4+92.8 кэВ нийлбэр шугамын импульсийн тоогоор ^{238}U -ыг тодорхойлох нь хамгийн тохиромжтой болохыг зургаас шууд харж болно.

Нөгөө талаас $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ харьцаа, ^{226}Ra болон ^{235}U изотопуудаас үүсэх 186.2 + 185.7 кэВ шугамуудын нийлбэр импульсийн тоог ашиглан ^{226}Ra -г өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох бүрэн боломжтой.

Хэмжилтэд хэрэглэгдсэн харьцангуй болон үнэмлэхүй аргуудын ялгааг тус бүрд нь тодруулж товчлон томъёолбол:

Харьцангуй арга [1]

Адилхан нөхцөлд хэмжсэн дээжийн болон стандартын идэвхжилийг харьцуулах замаар агууламжийг тодорхойлоход үндэслэнэ:

$$C_{\text{дээж}} = C_{\text{стандарт}} \frac{S_{\text{дээж}} M_{\text{стандарт}}}{S_{\text{стандарт}} M_{\text{дээж}}}$$

$C_{\text{стандарт}}$ – стандартдээж дэх агууламж; $S_{\text{дээж}}$, $S_{\text{стандарт}}$ – стандарт болон дээжийн гамма шугамын эрчим; $M_{\text{стандарт}}$, $M_{\text{дээж}}$ – стандарт болон дээжийн масс.

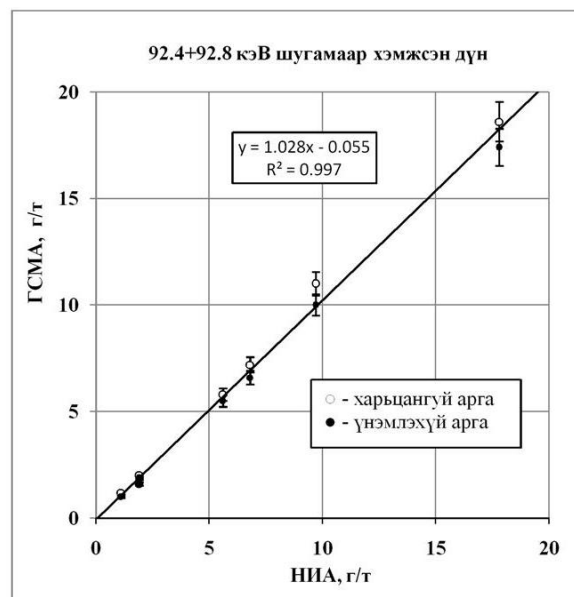
Үнэмлэхүй арга [2]

Энэхүү аргаар тухайн изотопын хувийн идэвхийг дараах томъёогоор тодорхойлно:

$$A = \frac{S E_i - S_{\text{фон}}(E_i)}{K_i * \varepsilon E_i * \omega E_i * t * m}$$

A-изотопын хувийн идэвх (Бк/кг); $S E_i$ – бүрэн шингээлтийн шугамын талбай; $S_{\text{фон}}(E_i)$ -тухайн нөхцөл дэхь гамма спектрометрийн фон; K_i -цацраг идэвхт изотопын тухайн гамма квантын гаралт; εE_i - детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадвар; ωE_i -дээжинд гамма квантын сулралыг тооцсон коэффициент; t-хэмжих хугацаа (сек); m-дээжний жин.

Хөвсгөлийн фосфоритын 1 ба 3-р хүснэгтүүдэд заагдсан дээжүүд дэх ^{238}U -ын орцыг ^{234}Th изотопоос үүсэх 92.4+92.8 кэВ нийлбэр шугамын импульсийн тоогоор тодорхойлсон дүнг НИА-ын дүнтэй харьцуулсныг 6-р зурагт үзүүлэв.



Зураг 6. ГСА-аар хэмжсэн дүнг НИА-тай харьцуулсан дүн.

Зургаас харахад бидний сонгосон хувилбараар үл хамаарах гурван өөр аргаар тодорхойлсон уран-238 –ын агуулгын үр дүнгүүд зөвшөөрөгдсөн алдааны мужид сайн тохирч байна.

Өөрөөр хэлбэл эдгээр хэмжилтийн үр дүнгүүд байгалийн дээжинд ^{234}Th изотопоос өгөгдөх 92.4+92.8 кэВ шугамуудын нийлбэр импульсийн тоогоор ^{238}U –ыг зөвшөөрөгдсөн алдааны мужид найдвартай тодорхойлж болохыг харуулж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

1. Уран-радийн тэнцвэрээс үл хамааран аливаа дээж дэх уран-238-ын агуулгыг ^{238}U –ын шууд бүтээгдэхүүн болох ^{234}Th изотопоос үүсэх 92.4+92.8 кэВ нийлбэр шугамын импульсийн тоогоор тодорхойлох нь өмнө ашиглагдаж ирсэн аргаас давуу талтайг туршлагын дүнгээр нотлон харуулав.
2. Дээрх аргыг ашиглан хэмжээ ихтэй (1кг) дээжинд үнэмлэхүй ГСА-аар уран-238-г тодохойлох нь илүү тохиромжтой. Аргын мэдрэх чадвар 1г/т.
3. Энэхүү аргыг улсын стандарт болгон батлуулж, байгалийн дээж дэх уран тодорхойлох аргачлал болгон нэвтрүүлэх нь зүйтэй.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

1. Б.Далхсүрэн, Ц.Намчинсүрэн, Р.Маахүү, Ц.Цэрэнгомбо. Радиоактивность почв Хубсугул и Баянхонгорского аймака. МУИС. ФЭС. ЭШБ. ФИЗИК №309(15) 2009. Хууд.69-71.
2. Ц.Эрхэмбаяр, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, М.Алтангэрэл. Монгол орны төвийн бүсийн аймгуудын хөрсний цацраг идэвх. МУИС. ФЭС. ЭШБ. ФИЗИК №309(15) 2009. Хууд.104-115.
3. Кухтевич В.И., Машкович В.П. Распространение ионизирующих излучений в воздухе. М. Атомиздат. 1979. 214 с.
4. Г.Ф. Батраков, Т.В. Чудиновских и другие. Свинец-214 и висмут-214 в приземной атмосфере Севастопольского региона. Морской гидрофизический институт. НАН. Украиныг. Севастополь, ул. Капитанская, 2
5. П.С.Микляев и другие. Определение коэффициентов эманирования грунтов. Проблемы прикладной спектрометрии и радиометрии. ППСР-2003. Тезисы докладов. УШМеждународное совещание. Менделеево, Россия.2003.
6. А.В.Пономаренко, В.Н.Даниленко, А.Е.Бахур. Инновационные гамма-спектрометрические методы определения содержания урана в рудах. Россия. 2011.