

Улаанбаатар хотын ундны усанд  
Rn-222-ыг тодорхойлсон тухай

Н.Норов, Н.Оюунтүлхүүр, Г.Хүүхэнхүү

Determination of  $^{222}\text{Rn}$  in Drinking  
Water of Ulaanbaatar City

**Abstract.** The specific radioactivity of  $^{222}\text{Rn}$  was measured in drinking water of Ulaanbaatar city, using liquid scintillator and  $\gamma$ -ray spectrometer with HpGe-detector.

1. Оршил

Манай улсын нийт ашиглаж болох усны нөөц 34.5 тэрбум м<sup>3</sup> бөгөөд **үүнээс %** нь гадаргын, 30% нь газрын доорх ус юм. Улсын нийт хүн амын **ундны усны** 30.8 хувийг цэвэр ус түгээгүүрийн төвлөрсөн системээр, 24.8 хувийг зөөврийн усаар, 35.7 хувийг ус түгээх цэг, худгаар, 9.1 хувийг булаг шанд, гол горхи, цас мөсний усаар тус тус хангаж байна [1]. Газрын доорх ус манай улсын бараг бүх нутагт ус хангамжийн 90 гаруй хувийг эзэлдэг зонхилох эх үүсвэр болж байгаа нь харагдаж байна.

Газрын доорх усанд радоньг судалснаар дараах боломжууд нээгдэнэ:

- Зарим рашааныг радонтой усан эмчилгээнд ашиглах ;
- Ундны усанд цацрагийн эрүүл ахуйн үүднээс радонь хэмжээг хянах;
- Гүний усан дахь радонь өөрчлөлтөөр газар хөдлөлтийг урьдчилан мэдэх;
- Гели, радонь харьцаагаар газрын доорх усны насыг тогтоох;
- Херсний ба газрын доорх усны хоорондох харилцан үйлчлэл, газрын доорх усны нөөцийг тогтоох гэх мэт.

Сүүлийн жилүүдэд газрын доорх усны судалгаанд урань байгалийн цацраг идэвхт задралын бүлд үүсэх Rn-222 изотопыг ашиглах талаар нилээд ажлууд хэвлэгдэв [2,3,4].

Бидний энэ ажилд усан дахь радонь идэвхийг гамма спектрметр, шингэн сцинтиллятороор тодорхойлох арга боловсруулж, Улаанбаатар хотын унд ахуйн хэрэглээний усанд радоньг судалсан тухай өгүүлнэ.

2. Усны дээж авах, хэмжих аргууд.

Радон нь инертийн хий учир усыг агаарт ил байлгах, халаах үед түүнээс амархан алдагдана. Иймд усны дээж авахдаа түүний алдагдлыг багасгах зорилготой дараах арга хэмжээг авах хэрэгтэй. Үүнд:

- Усны дээж авахын өмнө усаа тогтмол температуртай болтол чөлөөтэй гоожуулах;
- Дээж авах усаар саваа зайлж угаах;
- Усны крантаас дээж авахдаа усыг агаарт гаргалгүй шууд савлах;
- Rn-222 ба түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүний хооронд цацраг идэвхийн тэнцвэр тогтоох зорилгоор усны дээж авснаас хойш 4 цагийн дараа түүнийг хэмжих гэх мэт.

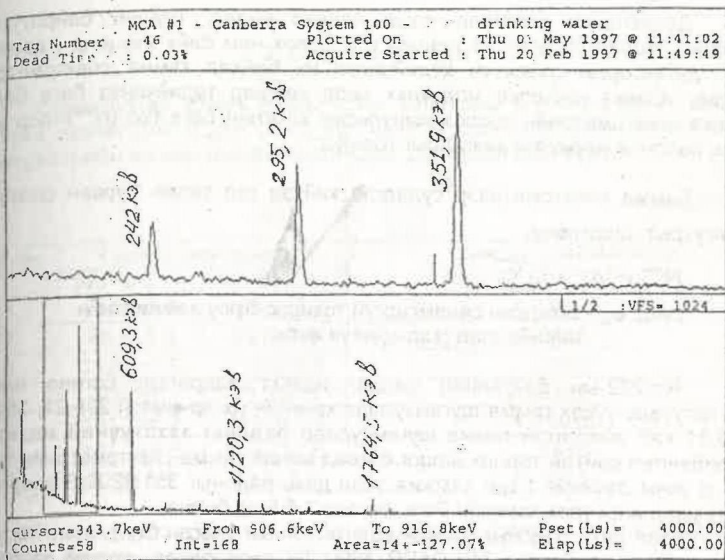
Гамма спектрометрээр усан дахь радоны эзэлхүүний идэвхийг тодорхойлоход түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүд ( $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ) – ээс гарах гамма цацрагийн спектрийг хэмжинэ. Харин шингэн сцинтиллятороор усан дахь радоны эзэлхүүний идэвхийг тодорхойлоход радоны өөрөөс нь болон түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүн ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ )-ээс гарах альфа бөөмсийг бүртгэнэ. 1-р хүснэгтэд ради-радоны задралд үүсэх цацраг идэвхт изотопуудын хагас задралын үе, альфа, бета бөөмсийн болон гамма квантын энерги ба эрчмийг үзүүлэв.

Хүснэгт.1. Ради-радоны задралд үүсэх цацраг идэвхт изотопууд

Цацраг Идэвхт Изотоп	Хагас задралын үе [ 5]	$\alpha$ -бөөм		$\beta$ -бөөм		$\gamma$ -квант	
		Энерги (МэВ)	Гаралт (%) [ 8]	Энерги (МэВ)	Гаралт (%) [ 8]	Энерги (кэВ)	Гаралт (%) [6.7]
$^{226}\text{Ra}$	1600(7)* жил	4,784 4,601	94,5 5,6	-	-	186,21	3,51
$^{222}\text{Rn}$	3,8235(3) өдөр	5,490	100	-	-	-	-
$^{218}\text{Po}(\text{RaA})$	3,10(1) минут	6,003	99,98	-	-	-	-
$^{214}\text{Pb}(\text{RaB})$	26,8(9) минут	-	-	0,69	46	241,98 295,21 351,92	7,12 18,2 35,1
$^{214}\text{Bi}(\text{RaC})$	19,9(4) минут	-	-	1,51 1,55 3,28	18 17 19	609,31 768,36 1120,29 1238,11 1764,51 2204,22	44,6 4,76 14,7 5,78 15,1 4,98
$^{214}\text{Po}(\text{RaC}')$	$1,643 \cdot 10^{-4}$ секунд	7,687	100	-	-	-	-

\*Хаалтанд алдааг бичив.

Усан дахь радоныг тодорхойлох хэмжилтийг МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн 2 кэВ (1332,5 кэВ,  $^{60}\text{Co}$ ) энергийн ялгах чадвартай цэвэр германи детектор бүхий гамма спектрометрээр хийв. Улаанбаатар хотын гүний худгийн усны дээжийг хагас дамжуулагч цэвэр германи детектороор 1 цаг хэмжсэн спектрийг 1-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.1.

Гамма спектрометрийн бүртгэх чадварыг урьдчилан тодорхойлсноор, усны дээж авснаас, түүнийг хэмжих хүртлэх хугацаанд радоны задралыг тооцон, түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүний гамма спектр дэх бүрэн шингээлтийн шугамын талбайг хэмжин, усан дахь радоны эзэлхүүний идэвх ( $A_0$ )-ийг дараах илэрхийллээр тооцно.

$$A_0 = \frac{S - S_{\Phi}}{\eta_1 \cdot V \cdot t_{\text{дз}} \cdot \epsilon_0(E_{\gamma}) \cdot \exp(-\lambda t_{\text{дз}})} \quad (1)$$

Үүнд:  $A_0$  – Rn-222 изотопын усан дахь эзэлхүүний идэвх (Бк/л);

$S$  –  $E$  энергитэй  $\gamma$ -квантын бүрэн шингээлтийн пикийн талбай (имп);

$S_{\Phi}$  – багажны фон;

$\eta_1$  –  $E_1$  -энергитэй  $\gamma$ -квантын гаралт ( $\gamma$ -кв/задрал);

$V$  – дээжийн эзэлхүүн (л);

$t_{\text{дз}}$  – хэмжих хугацаа (секунд)

$\epsilon_0(E_{\gamma})$  – ус ( $\rho=1 \text{ г/см}^3$ )-ны хувьд тодорхойлсон детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадвар;

$\exp(-\lambda t)$  – усны дээж авснаас, түүнийг хэмжих хүртлэх хугацаанд

Rn-222-ын задралыг тооцсон үржигдэхүүн;

$\lambda$  – Rn-222 –ын задралын тогтмол.



Детекторын энергиэр ялгах чадвар өндөр, түүнийг байрлуулсан байрны цацрагийн дэвсгэр түвшин аль болох нам байх нөхцөлд, дээжний сав, детекторын эзэлхүүн хэдийчинээ их байхад гамма спектрметрээр цацраг идэвхт изотопыг илрүүлэх доод хязгаар төдийчинээ бага байна. Гамма спектрметрийн тоолох импульсын хамгийн бага тоо ( $N^{min}$ )-гоор усан дахь радоныг илрүүлэх хязгаарыг тооцдог.

Гамма спектрметрээр судалгаа хийхэд гол төлөв "гурван сигм"-ийн шалгуурыг ашиглана.

$$N_i^{min} = 3\sigma_{\Phi} = 3\sqrt{N_{\Phi}}$$

Үүнд:  $\sigma_{\Phi}$  - өгөгдсөн санамсаргүй тохироо буюу хэмжилтийн нарийвчлал (харьцангуй нэгж)

Rn-222-ын байгалийн цацраг идэвхт задралын богино настай изотопуудаас үүсэх гамма шугамуудаас хамгийн их эрчимтэй 295,21; 351,92; 609,31 кэВ энергитэй гамма шугамуудаар **радоны эзэлхүүний идэвхийг** нарийвчлал сайтай тодорхойлдог бөгөөд манай гамма спектрметрийн хувьд 0,7 л усны дээжийг 1 цаг хэмжиж усан дахь радоныг 351,92 КэВ энергитэй шугамаар илрүүлэх хамгийн бага хязгаар 1,5 Бк/л болно.

Усан дахь радоныг шингэн сцинтилляцын үндсэн бүрдүүлэгч толуолд уусган авч анализатор TRI-CARB 1000 TR дээр радон, түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүний  $\alpha$ -спектрийг хэмжих аргыг бид боловсруулсан билээ [9]. Шилэн саванд 500 мл усны дээж авч дээр нь 40 мл толуол нэмээд шилэн саваа бөглөж радоныг толуолд шилжүүлэхийн тулд 3 минут сэгсэрч толуол ба усны фазын ялгаа гартал 3 цаг хүлээнэ. Дараа нь толуолын фазаас 20 мл авч дээж хэмжих саванд хийн 10 минут хэмжинэ.

Шингэн сцинтилляторын анализаторын бүртгэх чадвар( $\epsilon$ )-аар усан дахь радоны эзэлхүүний идэвх А (Бк/л)-г тодорхойлбол:

$$A = \frac{N - N_0}{R \cdot V \cdot \epsilon \cdot t_{\alpha} \cdot \exp(-\lambda t_{\alpha})}$$

болно. Үүнд:

N- сонгож авсан мужид  $\alpha$ -бөөмсийг тоолох импульсийн нийт тоо (имп)

$N_0$ -хэмжих савны фон (имп)

R-уусган авах харьцааг [9]-д тодорхой авч үзсэн.

$t_{\alpha}$ - дээж авснаас хэмжих хүртэлх хугацаа (цаг)

$t_{\alpha}$ -хэмжих хугацаа(с)

$\epsilon$  - бүртгэх чадвар ((имп/с)/Бк).

V- усны дээжийн эзэлхүүн (л)

### 3. Судалгааны дүн

Улаанбаатар хотын ундны усны 1998 оны 5-р сард авсан дээжид радоны эзэлхүүний идэвх (Бк/л)-ийг шингэн сцинтилляцийн болон гамма спектрометрийн аргаар тодорхойлсон дүнг 2-р хүснэгтэд үзүүлэв.

Хүснэгт 2.

Дугаар	Гамма спектрометр		Шингэн сцинтиллятор Rn-222, Po-218, Po-214
	Rn(Pb-214)	Rn(Bi-214)	
1	111.3±6.9	108.8±7.7	110±6
2	85.8±5.9	89.0±7.0	84±5
3	112.6±7.1	113.0±7.8	116±7
4	93.5±6	78.3±6.5	81±5
5	101.2±6.2	115.9±7.9	100±6
6	107.7±6.5	101.7±7.5	98±6
7	82.7±5.5	62.3±5.9	70±5

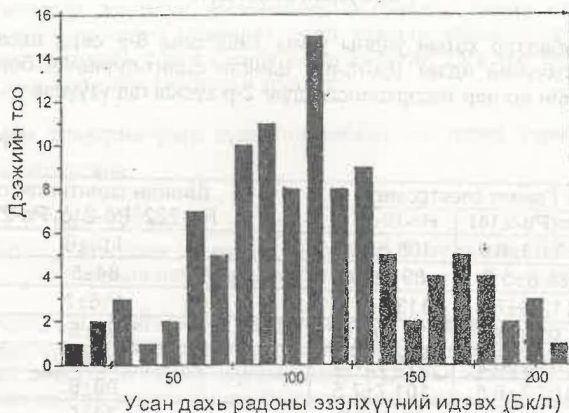
Усанд ради, радоны хооронд цацраг идэвхийн тэнцвэртэй байх нөхцөлд тэдгээрийн идэвх:

$$N_{Ra} \lambda_{Ra} = N_{Rn} \lambda_{Rn} \text{ буюу } A_{Ra} = A_{Rn} \text{ байх ёстой.}$$

Үүнд:  $N_{Ra}$ ,  $N_{Rn}$  – Ради, радоны цацраг идэвхт цөмийн тоо.

Усны дээжүүдийг хэмжихэд гарсан гамма-спектрт  $^{226}\text{Ra}$ -ийн 186,21 КэВ энергитэй шугам мэдрэгдэхгүй байгаа нь усанд ради, радоны хооронд цацраг идэвхийн тэнцвэр тогтоогүйг харуулж байна. Энд ашиглагдаж байгаа гамма спектрометрийн хувьд 186,21 КэВ энергитэй шугмаар радиийг илрүүлэх хамгийн бага хязгаар 5,7 Бк/л болно. Харин усан дахь радоныг тодорхойлох шингэн сцинтилляцийн арга нь бусад аргуудаас хялбар, хурдан бөгөөд энэ аргаар усан дахь радоныг илрүүлэх хамгийн бага хязгаар нь 500 мл усыг 10 мин хэмжихэд 0.5 Бк/л, 100 мин хэмжихэд 0.16 Бк/л-тэй тус тус тэнцүү. Энэ нь гамма спектрометрийн аргаар усан дахь радоныг илрүүлэх хамгийн бага хязгаараас 10 дахин илүү сайн юм.

Дээр дурьдсан аргуудаар Улаанбаатар хотын гүний худгууд, усан сангууд, орон сууц, албан газрын крантын усан дахь Rn-222-ын эзэлхүүний идэвхийг тодорхойлсон дүнг 2-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.2. Улаанбаатар хотын ундны усан дахь радоны эзэлхүүний идэвхийн хэмжилтийн гистограмм

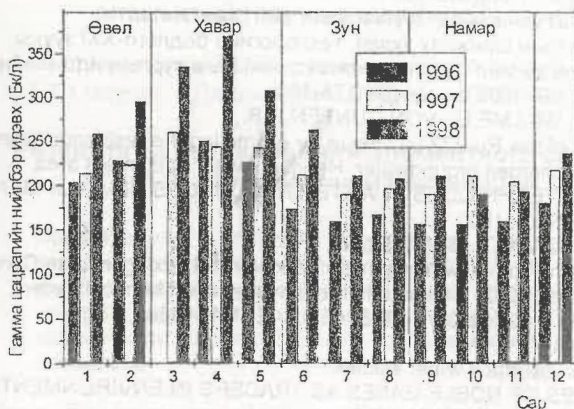
Судалгааны дүнгээс үзэхэд :

- ундны усны крантаас авсан дээжид Rn-222: 59-187 Бк/л дундаж 105 Бк/л;
- А станцаас авсан дээжид Rn-222: 53-121 Бк/л дундаж 86 Бк/л;
- В стацаас авсан дээжид Rn-222: 59- 178 Бк/л дундаж 104 Бк/л
- Гүний худгуудаас авсан дээжид Rn-222: 30- 207 Бк/л дундаж 108 Бк/л –тэй тус тус тэнцүү байна

Ер нь усан дахь радоны эзэлхүүний идэвх 185 Бк/л –ээс их байвал ийм донтой ус гэж нэрлэдэг. Манай улсын хувьд усан дахь радоны зөвшөөрөгдөх хэмжээг тогтоогоогүй байна. Улаанбаатар хотын ундны усан дахь радоны эзэлхүүний идэвх зарим оронд тогтоогдсон зөвшөөрөгдөх хэмжээ (Австрали улсад 100 Бк/л)-нээс их байна.

Усан дахь радоны мониторинг бий болгох зорилгоор Цацрагийн хяналтын агентлагт ашиглаж байгаа мэдрэх чадвар сайтай, хялбар хийцтэй, хэмжих хугацаа бага шаардах Berthold LB-200 багаж дээр Улаанбаатар хотын ундны усны радоны гамма цацрагийн нийлбэр идэвхийг 1996-1998 онд хэмжсэн дүнг 3-р зурагг үзүүлэв. Улаанбаатар хотын ундны усны 1998 оны 5 дугаар сарын дээжид радоны гамма цацрагийн нийлбэр идэвхийг энэ багажаар тодорхойлсон дундаж утга 1998 оны 5 дугаар сард авсан ундны усны дээжид шингэн сцинтилляцийн болон гамма спектрметрийн аргаар радоны хувийн идэвхийг тодорхойлсон утга (хүснэгт.2 )-аас их байгаа нь усан дахь К-40-ийн нөлөөтэй холбоотой байж болох юм.





Зураг.3. Улаанбаатар хотын ундны усан дахь радоны сар улирлын өөрчлөлт.

#### 4. Дүгнэлт

1. Улаанбаатар хотын унд, ахуйн хэрэглээний усанд радоныг судалсан бөгөөд үр дүнг манай орны ундны усанд радоны зөвшөөрөгдөх хэмжээг тогтоох улсын стандартын үндэслэл гаргахад ашиглаж болох юм.

2. Улаанбаатар хотын унд ахуйн хэрэгцээний усны гүний худгийн дээжид хийсэн судалгаанаас үзэхэд ради радоны хооронд цацраг идэвхийн тэнцвэр тогтоогүй байгаа нь Rn-222 усанд агуулагдах Ra-аас үүсээгүйг харин газрын доорх ус чулуулгийн нүх сүв, ан цаваар шүүрэн урсахдаа тухайн чулуулагт агуулагдах Ra-гаас үүсэх хий Rn-222-ыг өөртөө уусган авдаг болохыг харуулж байна.

3. Нийслэл хотын унд хэрэгцээний усанд радоны хувийн нийлбэр гамма идэвхийг хэмжсэн дүн (3-р зураг)-гээс үзэхэд усан дахь радоны хэмжээ хавар бараг 2 дахин их болдог нь 1996, 1997, 1998 онуудад давтагдаж байна. Энэ нь Улаанбаатар орчмын Туулын хөндийн аллювийн хурдас дахь газрын доорх усны нөөц нь үндсэн сан ба сэргээгдэх хоёр бүрдүүлэгчээс тогтдог болохыг харуулж байгаа бөгөөд өвлийн улиралд хөлдсөн гадаргын усны мөс 2-р сарын сүүлчээс гэсэж усны нөөцийн сэргээгдэх бүрдүүлэгч болж байна гэсэн таамаглал дэвшүүлж байна.

#### Ашигласан хэвлэл:

1. С.Чулуунхуяг, Л.Эрдэнэтуяа  
Монгол орны усны нөөц, түүний ашиглалт, хамгаалалт  
"Монгол улсын шинжлэх ухаан, технологийн бодлого-XXI зууны  
тогтвортой хөгжил" эрдэм шинжилгээний бага хурлын илтгэлийн  
эмхтгэл, УБ. 1998 он. хуудас.178-180
2. NOEHN, E., WILLME, U., VON GUNTEN, H. R.,  
Application of the Rn-222 technique for estimating the residence times of  
artificially recharged groundwater: Hengsen water catchment area.  
ISOTOPE TECHNIQUES IN WATER RESOURCES DEVELOPMENT 1991.  
IAEA. VIENNA, 1992
3. WEISS, W., ZAPE, T., BAITTER, M.,  
Subsurface horizontal water transport and vertical mixing in Laxe Constance  
traced by radon-222, tritium and other physical and chemical tracers.  
ISOTOPE HYDROLOGY 1983 IAEA. VIENNA, 1984.
4. GUDZENKO, V.  
Radon in subsurface water studies.  
ISOTOPES OF NOBLE GASES AS TRACERS IN ENVIRONMENTAL  
STUDIES. IAEA, VIENNA, 1992.
5. Handbook on Nuclear Activation Data.  
IAEA, Technical Reports Series №273, Vienna, 1987
6. Debertin, K., and R.G. Helmer  
Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors, North Holland,  
Amsterdam, 1988.
7. Measurements of Radionuclides in Food and the Environment.  
IAEA, Technical Reports Series №295, Vienna, 1989
8. Chieco, N.A., D.C. Dogen, E.O.Knutson (Editors) Environment Measurements  
Laboratory. Procedures Manual. HASL-300, New York 1992, Section 5.21  
(27th Edition)
9. Н.Норов, Д.Шаржжамба, Н.Гансүх, Н.Оюунтүлхүүр, Ц.Оюунчимэг.  
Шингэн сцинтиллятороор усан дахь радоны идэвхийг хэмжих арга.  
МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг № 4 (137), хууд. 86-90, УБ, 1998.