

**Агаар дахь радон, түүний задралын  
бүтээгдэхүүнийг судалсан тухай**

Н.Норов, С.Даваа

( МУИС, Цөмийн физикийн судалгааны төв )

**A Study of the Radon and Its Decay Products in Air**

**Abstract.** The simple method for determination of RaA, RaB and RaC in air by alpha counting of air filters was described. Diurnal variation of radon equilibrium equivalent concentration in outdoor air at some city Mongolia is observed.

**1. Оршил**

Хийн мандлын доод давхаргын цацраг идэвхийн гол үүсгүүр болох радон, түүний задралын бүтээгдэхүүний агаар дахь хэмжээг судлах нь хот суурин газрын агаарын цацраг идэвхийн дэвсгэр түвшинг тогтоох, мөн цацраг идэвхийн үүсэл гарлын асуудлыг тодруулахад их ач холбогдолтой юм [1].

Радон, түүний задралын бүтээгдэхүүн нь хийн мандалын доод давхарга дахь агаарын ионжих, цахилгаан дамжуулах үзэгдлийг тодорхойлогч гол хэмжигдэхүүн болдог. Өнөө үед агаарын массын нүүлтийг судлах, хөрсний болон цасан бүрхүүлийн чийгийн нөөцийг гамма цацрагаар тодорхойлох, ашигт малтмалын эрэл хайгуулын аргачлалын асуудлыг шийдвэрлэхэд, тухайн газар орны агаар дахь радоны орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлтийн тухай мэдээ чухал шаардлагатай болж байна.

Агаар мандалын цацраг идэвх нь хий, тоосонцорын хэмжээгээр тодорхойлогдох бөгөөд ердийн нөхцөлд агаар дахь байгалийн цацраг идэвхт бодисууд атом байдалтай оршиж, тэдгээрийн агууламж маш бага байна. Харин ради, торийн байгалийн цацраг идэвхт задралын бүтээгдэхүүн радон, торон нь уулын чулуулаг ба хөрснөөс агаарт орох бөгөөд тэдгээрийн агаар дахь хэмжээ бусад элементүүдээс харьцангуй их байна. Радон, торон нь агаарт атом хэлбэртэй оршиж тоосонцорт бараг цуглардаггүй байхад тэдгээрийн цацраг идэвхт задралын бүтээгдэхүүнүүд нь агаарт тоосонцор хэлбэртэй оршино [ 1,2 ].

Энэ ажилд агаар соруулсан шүүлтүүрийг гурван удаа хэмжиж радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүдийн эзэлхүүний идэвхийг тодорхойлж, тэдгээрээс агаар дахь радоны тэнцвэрт эквивалент агууламжийг тооцох арга боловсруулж, энэ аргаар манай орны нүүрсний зарим уурхай болон хот орчмын агаарт радоныг судалсан тухай өгүүлнэ.

## 2. Радон, түүний задралын бүтээгдэхүүнийг тодорхойлох арга зүй.

Энэ арга нь агаар соруулж, шүүлтүүрт баригдаж үлдсэн радоны задралын богино наст цацраг идэвхт изотопуудаас гарах альфа бөөмийг  $\alpha$ -радиометрээр 3 удаа хэмжихэд үндэслэгдсэн юм.

Агаар соруулж дууссаны дараа шүүлтүүр дээрх радоны задралын бүтээгдэхүүн тус бүрийн хэмжээ нь агаар соруулах үед тэдгээрийн шүүлтүүрт баригдах, задрах, эх цөмөөс хуримтлах гэсэн гурван процессоор тодорхойлогдоно. Шүүлтүүрт баригдаж үлдэх задралын бүтээгдэхүүнүүдийн атомын тоо нь радоны задралын бүтээгдэхүүний агаар дахь агууламж болон агаар соруулах хугацаанаас хамаарах бөгөөд дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$\frac{dN_i(t)}{dt} = C_i \cdot U \cdot k + \lambda_{i-1} N_{i-1}(t) - \lambda_i N_i(t), (1)$$

Үүнд:  $N_i(t)$ - агаар соруулж дуусах үед шүүлтүүрт баригдаж үлдсэн  $i$  дүгээр изотопын атомын тоо;  $t$  – агаар соруулах хугацаа;  $C_i$  –  $i$  дүгээр изотопын агаар дахь агууламж, атом/л;  $\lambda_{i-1}$ ,  $\lambda_i$  – изотопуудын задралын тогтмолууд ;  $U$  – агаар соруулах хурд ;  $k$  – шүүлтүүрийн барих чадвар.

Агаар соруулж дуусах үед фильтр дээр сууж үлдсэн радоны богино наст задралын бүтээгдэхүүн болох RaA ( $^{218}\text{Po}$ ); RaB ( $^{214}\text{Pb}$ ); RaC ( $^{214}\text{Bi}$ ) изотопуудын хувьд дээрх тэгшитгэлүүдийг бодвол:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_A}{dt} &= C_A \cdot U \cdot k - \lambda_A N_A; \\ \frac{dN_B}{dt} &= C_B \cdot U \cdot k - \lambda_A N_A - \lambda_B N_B; \\ \frac{dN_C}{dt} &= C_C \cdot U \cdot k + \lambda_B N_B - \lambda_C N_C; \end{aligned} \right\} (2)$$

болно. Үүнд:  $N_A, N_B, N_C$  – агаар соруулж дуусах үед шүүлтүүрт баригдаж үлдсэн богино наст изотопууд  $^{218}\text{Po}, ^{214}\text{Pb}, ^{214}\text{Bi}$  -ын атомын тоо.

Агаар соруулж эхлэх үед ( $t=0$ )  $N_A=N_B=N_C=0$  учир дараах шийд гарна.

$$\left. \begin{aligned} N_A &= \frac{C_A \cdot U \cdot k}{\lambda_A} [1 - \exp(-\lambda_A t)]; \\ N_B &= \frac{(C_A + C_B) \cdot U \cdot k}{\lambda_B} [1 - \exp(-\lambda_B t)] + \frac{C_A \cdot U}{\lambda_B - \lambda_A} [\exp(-\lambda_B t) - \exp(-\lambda_A t)]; \\ N_C &= \frac{(C_A + C_B + C_C) \cdot U \cdot k}{\lambda_C} [1 - \exp(-\lambda_C t)] + \frac{(C_A + C_B) \cdot U \cdot k}{\lambda_B - \lambda_C} [\exp(-\lambda_B t) - \exp(-\lambda_C t)] \\ &+ \frac{C_A \lambda_B \cdot U \cdot k}{\lambda_A - \lambda_B} \left[ \frac{\exp(-\lambda_A t) - \exp(-\lambda_C t)}{\lambda_C - \lambda_A} - \frac{\exp(-\lambda_B t) - \exp(-\lambda_C t)}{\lambda_C - \lambda_B} \right]; \end{aligned} \right\} (3)$$

$\text{RaB}$  ( $^{214}\text{Pb}$ ) нь альфа бөөм цацруулахгүй учир агаар соруулж дууссанаас хойш дурын  $\tau$  хугацаанд шүүлтүүрийн нийлмэл  $\alpha$ - идэвх дараах байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

$$A_\alpha(\tau) = n_A(\tau)\lambda_A + n_C(\tau)\lambda_C + n_U(\tau)\lambda_U$$

Үүнд:  $n_A, n_C, n_U$  –  $\alpha$ -идэвхийг хэмжих үед шүүлтүүрт байх  $\text{RaA}, \text{RaC}$  ба ураны задралын удаан наст бүтээгдэхүүнүүдийн атомын тоо. Ураны бүлийн удаан наст изотопуудын  $\alpha$ -задрал нь радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүний  $\alpha$ -задралаас олон дахин бага байдаг учир

$$A_\alpha(\tau) = n_A(\tau)\lambda_A + n_C(\tau)\lambda_C \quad (4) \quad \text{гэж бичиж болно.}$$

Цацраг идэвхт задралын хууль ёсоор

$$\left. \begin{aligned} \frac{dn_A}{d\tau} &= -\lambda_A n_A \\ \frac{dn_B}{d\tau} &= -\lambda_A n_A - \lambda_B n_B \\ \frac{dn_C}{d\tau} &= -\lambda_B n_B - \lambda_C n_C \end{aligned} \right\} (5)$$

$\tau=0$  үед  $n_A(0)=N_A(t)$ ;  $n_B(0)=N_B(t)$ ;  $n_C(0)=N_C(t)$  учир тэгшитгэл (3)-аас дараах шийд гарна.

$$\left. \begin{aligned} n_A(\tau) &= N_A e^{-\lambda_A \tau} \\ n_B(\tau) &= N_A \lambda_A \lambda_B \left[ \frac{\exp(-\lambda_A \tau)}{(\lambda_B - \lambda_A)(\lambda_C - \lambda_A)} + \frac{\exp(-\lambda_B \tau)}{(\lambda_A - \lambda_B)(\lambda_C - \lambda_B)} + \frac{\exp(-\lambda_C \tau)}{(\lambda_A - \lambda_C)(\lambda_B - \lambda_C)} \right] + \\ &+ \frac{N_B \lambda_B}{\lambda_C - \lambda_B} [\exp(-\lambda_B \tau) - \exp(-\lambda_C \tau)] + N_C \exp(-\lambda_C \tau) \end{aligned} \right\} (6)$$

$n_A$ ,  $n_C$ -ийн дээрх илэрхийлэл (6) ба задралын тогтмолуудын тоон утгууд  $\lambda_A=0.2236$  мин<sup>-1</sup>;  $\lambda_B=0.0259$  мин<sup>-1</sup>;  $\lambda_C=0.0348$  мин<sup>-1</sup> [3]-ыг тэгшитгэл (4)-д орлуулбал:

$$A_a(\tau) = 0.229N_A \exp(-\lambda_A \tau) + (0.101N_B + 0.115N_A) \exp(-\lambda_B \tau) + (0.0348N_C - 0.1005N_B - 0.117N_A) \exp(-\lambda_C \tau) \quad (7) \text{ болно.}$$

Тэгшитгэл (3)-аас агаарын дээжийг 5 минут соруулж авах үед фильтр дээр суусан радоны задралын бүтээгдэхүүнүүдийн атомын тоо ба тэдгээрийн агаар дахь агууламжийн хооронд дараах хамаарал гарна.

$$\left. \begin{aligned} N_A &= 3.01k \cdot U \cdot C_A \\ N_B &= 1.90k \cdot U \cdot C_A + 4.69k \cdot U \cdot C_B \\ N_C &= 0.09k \cdot U \cdot C_A + 0.30k \cdot U \cdot C_B + 4.59k \cdot U \cdot C_C \end{aligned} \right\} (8)$$



Тэгшитгэл (8)-ыг (7)-д орлуулбал агаарын дээжийг 5 минут соруулахад фильтр дээр хуримтлагдсан радоны задралын бүтээгдэхүүний  $\alpha$ -идэвх ба тэдгээрийн агаар дахь агууламжийн хоорондох хамаарал гарна.

$$A_{\alpha}(\tau) = 0.689k \cdot U \cdot C_A \cdot \exp(-\lambda_A \tau) + k \cdot U \cdot (0.538C_A + 0.474C_B \cdot \exp(-\lambda_B \tau) + k \cdot U \cdot (0.16C_C - 0.54C_A - 0.46C_B) \cdot \exp(-\lambda_C \tau)) \quad (9)$$

Агаарын дээжийг 5 минут соруулж дууссанаас хойш 5, 15, 30 минутын дараа шүүлтүүрийн идэвхийг  $\alpha$ -тоолуураар 3 удаа хэмжинэ. Илэрхийлэл (9)-д эдгээр хугацааг орлуулбал:

$$\left. \begin{aligned} A_{\alpha}(5) &= 0.244k \cdot U \cdot C_A + 0.029k \cdot U \cdot C_B + 0.134k \cdot U \cdot C_C \\ A_{\alpha}(15) &= 0.068k \cdot U \cdot C_A + 0.049k \cdot U \cdot C_B + 0.095k \cdot U \cdot C_C \\ A_{\alpha}(30) &= 0.058k \cdot U \cdot C_A + 0.056k \cdot U \cdot C_B + 0.056k \cdot U \cdot C_C \end{aligned} \right\} (10)$$

гэсэн 3 тэгшитгэлээс бүрдсэн систем тэгшитгэл гарах бөгөөд энэ системийн тодорхойлогчийг бодож, радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүдийн агаар дахь агууламжийг тооцох илэрхийллийг гаргавал:

$$\left. \begin{aligned} C_{RaA} &= \frac{1}{k \cdot \eta \cdot U} (21.5N_1 - 48.5N_2 + 31.1N_3) \\ C_{RaB} &= \frac{1}{k \cdot \eta \cdot U} (11.7N_3 - 1.4N_1 - 4.8N_2) \\ C_{RaC} &= \frac{1}{k \cdot \eta \cdot U} (9.9N_2 - 0.8N_1 - 8.2N_3) \end{aligned} \right\} (11)$$

болно. Үүнд:  $C_{RaA}$ ;  $C_{RaB}$ ;  $C_{RaC}$  радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүн  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ -ийн агаар дахь агууламж (Бк/м<sup>3</sup>);  $U$  – агаар соруулах хурд (л/мин);  $k$  – шүүлтүүрийн барих чадвар;  $\eta$  –  $\alpha$ -тоолуурын бүртгэх чадвар;  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  – агаар соруулж дууссанаас 5, 15, 30 минутын дараах тоолуурын тоолох хурд (имп/мин).

Агаар дахь радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүдийн агууламжийг илэрхийлэл (11)-ээр бодож, улмаар агаар дахь радоны тэнцвэрт эквивалент агууламж  $C$  (Бк/м<sup>3</sup>)-ийг дараах томъёогоор тосцно.

$$C = 0.105 \cdot C_{RaA} + 0.516 \cdot C_{RaB} + 0.379 \cdot C_{RaC} \quad (12)$$

### 3. Судалгааны дүн.

Багануурт 1989 оны 1,2,5 дугаар саруудад, Чойбалсан хотод 1990,1991 оны 2 дугаар сард, Шарын голд 1998 оны 12 дугаар сард тус тус агаар дахь радоны агууламжийн хоногийн өөрчлөлтийн судалгааг хийсэн юм. Эдгээр уурхай, хот орчмын агаарыг бохирдуулах нөхцлийг бүрдүүлэх агаарын босоо чиглэл дэх хөдөлгөөнийг саатуулагч үе болох тонгороо(инверси)-г судлах зорилгоор хоногийн тодорхой цагуудад газраас 1.5 м өндөрт агаар соруулж дээж авч байв. Агаар дахь радоны задралын бүтээгдэхүүн болох цацраг идэвхт изотопуудын тоосонцорын хэмжээ 0.04 мкм-ээс баг. байдаг учир тэдгээрийг бүрэн барьж чадах НЭЛ-3-50 төрлийн Петряновын шүүлтүүр ашиглав. Энэ шүүлтүүрийн агаарын тоосонцорыг барих чадвар 90% байв. Агаар сорогч "Стаплекс" нь ийм шүүлтүүр ашиглах тохиолдолд 550-650 литр агаар 1 минутад сордог. Шүүлтүүрт суусан цацраг идэвхт тоосонцорын альфа идэвхийг сцинтилляцийн детекторт бүхий Америкийн "Еверлине" пүүсийн  $\alpha$ -тоолуураар хэмжив.

Радоны задралаас үүсэх RaA ( $^{218}\text{Po}$ ), RaB ( $^{214}\text{Pb}$ ), RaC ( $^{214}\text{Bi}$ )-ийн агаар дахь идэвхийг агаар соруулж дууссанаас хойш 5, 15, 30 минутын дараа альфа тоолуурын тоолох хурдаар тодорхойлж, агаар дахь радоны тэнцвэрт эквивалент агууламжийг томъёо (12)-оор бодсон. Хэмжилтийн дүнг хүснэгт 1-д үзүүлэв.

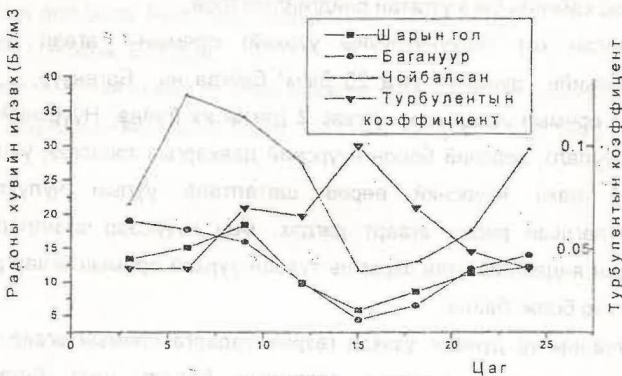
Хүснэгт 1.

Багануур хот орчмын агаар дахь радоны хоногийн өөрчлөлт

Хэмжилт Хийсэн цаг	Агаар дахь радоны тэнцвэрт эквивалент агууламж (Бк/м <sup>3</sup> )			Турбулентын коэффициент	
	1-р сар	5-р сар	Дундаж	Станц	Градиент
8.30	15,9	7,8	11,9	0,07	0,07
11.30	10,0	1,9	6,0	0,06	0,07
14.30	4,8	0,7	2,8	0,10	0,09
17.30	7,0	0,7	3,9	0,07	0,07
20.30	11,8	1,9	6,9	0,05	0,06
23.30	14,8	4,8	9,8	0,04	0,06
02.30	19,2	8,1	13,7	0,04	0,05
05.30	17,8	10,7	14,3	0,04	0,05
Дундаж	12,7	4,6	8,7	0,06	0,07

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд хоногийн дотор шөнө, өглөө температурын тонгороо үүсэх үед газрын гадарга орчмын агаар дахь радоны агууламж 2-4 дахин ихсэж байна.

Газрын гадарга орчмын агаар дахь радон түүний задралын бүтээгдэхүүний агууламж цаг уурын нөхцөлөөс хамаарч өөрчлөгдөж байна. Тэнгэр бүрхэг үед хотын агаар дахь радоны агууламж огцом ихсэж байгаа нь хөрс болон хотын барилга байшингаас нэвчин гарч байгаа болон дулааны станцын яндангаар хотын агаарт хаягдах радон агаар мандалын манант давхаргад шингэж, түүний агаарын массын нүүлтээр сарних процесс саатаж байгаатай холбоотой байж болох юм. Судалгаа хийсэн хотуудын агаар дахь радоны хоногийн өөрчлөлтийг 1-р зурагт үзүүлэв.



Зураг.1. Агаар дахь радоны хоногийн өөрчлөлт.

Агаар дахь радоны агууламж уулын чулуулга ба хөрсөн дэх ураны задралаас гарах радоны хэмжээгээр тодорхойлогдохоос гадна агаарын шилжилтээс хамааралтай бөгөөд түүний өөрчлөлтөнд турбулент (хуйларсан) хөдөлгөөн зонхилох үүрэгтэй болох нь хоногийн турш хийсэн ажиглалтаас харагдаж байна.



#### 4. Дүгнэлт

1. Цацрагийн эрүүл ахуйн үүднээс томхон хотуудын агаарын цацраг идэвхийн дэвсгэр түвшинг тогтоох шаардлагатай байна. Энэ зорилгын үүднээс бид нүүрсний уурхай, дулааны томоохон станц бүхий хотын агаарт радоны судалгаа хийв.
2. Улаанбаатар хот, Багануурын агаар дахь радоны жилийн өөрчлөлтийг судалсан дүн[4]-гээс үзэхэд агаар дахь радоны агууламж 4, 5-р сард хамгийн бага, 12,1-р сард хамгийн их утгатай байна. Салхигүй өдөр агаарын турбулент шилжилт нар гарахаас өмнө хамгийн бага, үдэд хамгийн их байхад агаар дахь радоны агууламж үүний эсрэг нар гарахын өмнө хамгийн их, үдэд хамгийн бага утгатай байдгийг тогтоов.
3. Чойбалсан хот (Адуунчулууны уурхай) орчмын агаар дахь радоны агууламжийн дундаж утга  $25 \text{ Бк/м}^3$  байгаа нь Багануур, Шарын голын уурхай орчмын агаар дахь утгаас 2 дахин их байна. Нүүрсний ил уурхайн хөрс хуулалт, хөрсний болон нүүрсний давхаргын тэсэлгээ, уулын овоолго, уурхай дахь нүүрсний өөрөө шаталтаар уулын чулуулгын дотор хуримтлагдсан радон агаарт дэгдэх, мөн нүүрсээр ажилладаг дулааны станцын яндангийн утаа зэрэг нь тухайн уурхай орчмын агаар дахь радоны эх үүсвэр болж байна.
4. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд газрын гадарга орчмын агаар дахь цацраг идэвхт тоосонцор (радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүн)-ын агууламжийг тодорхойлогч гол хүчин зүйл бол босоо турбулент солилцооны эрчим юм. Агаар дахь радоны агууламж турбулентын коэффициентээс урвуу хамааралтай байна. Нүүрсний уурхай болон хот, суурин газар гол төлөв уул нуруудын хоорондох хоолой хөндийд байрладаг болон хүйтний улирлын эсрэг циклоны тогтоц нь газрын гадаргын тонгороо үүсэх нөхцөлийг бүрдүүлж байна. Тонгороо нь утаа униар, тоос шороо агаарт удаан хадгалагдаж хот, уурхай орчмын агаарыг бохирдуулах нөхцлийг бий болгож байна.



Ашигласан хэвлэл.

1. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation,  
Report of the General Assembly. New York, 1988.

2. Рузер Л.С. Радиоактивные аэрозоли. М., 1968.

3. Firestone.R.B, V.S. Shirley, Table of Isotopes, Vol.2, (Eighth Edition)  
John Wiley and Sons, New York. 1996.

4. Д. Чүлтэм, Н.Норов, Б.Эрдэв

Улаанбаатар хотын агаарт радоны хэмжээг тодорхойлсон дүнгээс.

МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5 (103), хууд. 118-123, 1990