

Нүүрсэн дэх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын
зөвшөөрөгдөх хэмжээг тогтоох асуудалд

Н.Норов, С.Даваа

(МУИС, Цөмийн физикийн судалгааны төв)

Establishing Limits of Natural
Radioactive Isotopes in Coal

Abstract. This paper provides a basic consideration of concepts and mathematical model for setting limits of natural radioactive isotopes in coal, using national safety standards.

1. Оршил

Эрчим хүчний төрөл бүрийн төхөөрөмжид нүүрс шатаасантай холбоотой үүсэх цацрагийн үйлчлэлд өртсөн хүмүүсийн тоог тэдний авсан дундаж тунгаар үржүүлж гарах хамтын тун нь цөмийн түлшний циклээс авах (Чернобылийн ослыг тооцсон) тунгаас олон дахин их бөгөөд түүний хэмжээ дэлхийн нийт хүн амын хувьд 100 мянган хүн-Зв/жил орчим байна [1]. Нүүрс шатааснаас нийт хүн амын авах цацрагийн тун ийм их байгаа нь нүүрс ашиглах үед цацрагийн шарлагад өртөх хүн амын тоо олон байгаагаар тайлбарлагдана. Олборлож байгаа нүүрсэнд байгалийн цацраг идэвхт изотопууд (^{238}U , ^{232}Th)-ын агууламжийн дэвсгэр түвшин 10-50 Бк/кг байхад хувийн эффектив тун 0.1 мкЗв/жил-ээс хэтэрдэггүй байна.

Манай улсын эрчим хүчний хангамжийн 90 гаруй хувийг нүүрс түлж хангадаг бөгөөд Адуунчулуун, Багануур зэрэг хүрэн нүүрсний нилээд орд газрын нүүрсэнд ураны агууламж өндөр байгааг тогтоосон юм [2]. Иймээс манай улсад батлагдан мөрдөж байгаа улсын стандар [3]-т заасан хүн амын авч болох цацрагийн нэмэлт тунгийн хэмжээ болон цацрагийн аюулгүйн норм ЦАН-83-д заасан барилгын материал дахь байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвхийн зөвшөөрөгдөх хэмжээг ашиглан эрчим хүч, ахуйн хэрэглээний нүүрсэн дэх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын зөвшөөрөгдөх хэмжээг үнэлэх аргачлалыг боловсруулсан тухай энд өгүүлнэ.

2. Нүүрс шатааснаас гадаад орчинд үүсэх
цацраг идэвхт бохирдолыг тооцох

Хүн амын авах цацрагийн тунг тооцох болон эрчим хүч, ахуйн хэрэгцээнд хэрэглэж байгаа нүүрсэн дэх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын зөвшөөрөгдөх хэмжээг тогтооход зайлшгүй харгалзан үзэх шаардлагатай цацрагийн нөлөөний үндсэн хүчин зүйлүүд нь:

А. Яндангийн утааны үнстэй агаарт хаягдах цацраг идэвхт изотопууд хүний биед амьсгалаар орохоос гадна тэдгээр нь газрын хөрсөнд бууж гамма цацрагийн гадаад шарлага үүсгэх;

Б. Бордоо болгон ашигласан үнс болон агаар мандлаас хөдөө аж ахуйн эдэлбэр газрын хөрсөнд сууж үлдсэн дэгдэмтгий үнснээс хүнс тэжээлээр байгалийн цацраг идэвхт изотопууд хүний биед орох;

В. Цахилгаан станц, уурын зуухны үнсийг барилгын материал болгон ашиглах үед байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын гамма цацрагийн гадаад болон байранд хуримтлагдсан радоны дотоод шарлага үүсэх зэрэг болно.

А.Цахилгаан станц, уурын болон гэрийн зуухнаас жилд агаар мандалд хаягдах идэвх A_0 (Бк) хүн амын оршин суух S (m^2) талбайтай нутаг дэвсгэрт жигд тархсан гэж үзье. Тэгвэл газрын гадаргын идэвхийн дундаж нягт- ΔC_s ,

$$\Delta C_s = A_0/S \quad \text{болно (1).}$$

Идэвхийн жилийн интеграл агууламж :

$$\bar{C} = \frac{A_0}{V_{\text{суух}} \cdot S}; (2)$$

болно.

Үүнд: $V_{\text{суух}}$ – суух хурд, дунджаар 0.01м/с-тэй тэнцүү [1].

Илэрхийлэл (2) нь радон, түүний задралын бүтээгдэхүүнүүдээс бусад яндангийн утаатай хаягдах бүх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудаас өгөх тунг тооцох боломжийг олгоно.

Газрын гадарга орчмын агаарт яндангийн утаатай хаягдаж тархсан радоны цацраг идэвхийн тэнцвэрт эзэлхүүний интеграл идэвх $R\bar{A}_{Rn}$ (Бк·с/м³)-ийг дараах томъёогоор тооцно [1]

$$\overline{R\bar{A}_{Rn}} = \frac{A_0^{Rn} \cdot R\bar{A}_{Rn}^{dyn}}{S \cdot \sigma_{dyn}}; (3)$$

Үүнд: S - хүн амын оршин суух талбай (m^2);

$R\bar{A}_{Rn}^{dyn}$ - газрын хөрс орчмын агаар дахь радоны задралын

бүтээгдэхүүнүүдийн эквивалент агууламжийн дундаж утга (Бк·с/м³);

A_0^{Rn} – агаар мандалд хаягдах радоны идэвх;

$\sigma_{dyn} = 0.02$ Бк/м² газрын гадаргын нэгж талбайгаас гарах радоны байгалийн гаралтын дундаж хурд.

Тороны задралаас үүдэх цацрагийн тунг радоны задралын бүтээгдэхүүнээс өгөх тунгийн хэмжээнээс 1000 дахин бага учир тороны хаягдлын нөлөөг тооцохгүй байж болно [1]. Яндагийн утаанаас хөрсний давхаргад сууж үлдсэн цацраг идэвхт изотопын хувийн идэвх $C_{\text{хөрс}}$ -ийг дараах томъёогоор тооцно.

$$C_{\text{хөрс}} = \frac{A_0 \cdot r}{S \cdot h s}; (4)$$

Б.Зуухны үнсийг бордоонд ашигласнаар хөдөө аж ахуйн эдэлбэр газрын хөрсөнд бий болох цацраг идэвхт изотопын хувийн идэвх:

$$C_{\text{хөрс}}^{\text{YHC}} = \frac{A_{\text{YHC}}^{\text{бор}} \cdot \tau}{S_{\text{X.A.A}} \cdot S \cdot h_s}; (5)$$

Үүнд: $C_{\text{хөрс}}^{\text{YHC}}$ – бордоонд хэрэглэх зуухны үнсэн дэх цацраг идэвхт изотопуудын идэвх (Бк/жил);

τ - хөрсний давхарга дахь удаан наст цацраг идэвхт изотопуудын ургамалд орохгүй болтлоо амьдрах дундаж хугацаа ($\tau \approx 100$ жил);

$S_{\text{X.A.A}}$ -хүн амын амьдарч байгаа нийт нутаг дэвсгэрт хөдөө аж ахуйн эдэлбэр газрын эзлэх хувь (харьцангуй нэгж);

h_s -нэгж талбай дахь массын нэгжээр илэрхийлэгдсэн хөрсний давхаргын зузаан ($h_s = 500$ кг/м²).

Яндангийн утаатай агаар мандалд хаягдсан цацраг идэвхт изотопуудаас амьсгалын замаар авах шарлагын тун [1,7]

$$X_{\text{хаяг}} = q(\overline{C}_U K^U + \overline{C}_{\text{Tn}} K^{\text{Tn}} + \overline{P\overline{ЭA}}_{\text{Rn}} K^{\text{Rn}}) (6)$$

Үүнд: \overline{C} , $\overline{P\overline{ЭA}}$ -газрын гадарга орчмын агаар дахь ²³⁵U, ²³²Tn, ²²²Rn-ын интеграл агууламж (Бк/м³)-ийг илэрхийлэл (2), (3)-аар тооцоно;

q -насанд хүрсэн хүний амьсгалах хурд ($q = 2,3 \cdot 10^{-4}$ м³/с);

K -Нүүрс шатаах үед агаар мандалд хаягдах байгалийн цацраг идэвхт изотопуудаар амьсгалах нэгж идэвхт ноогдох цацрагийн тун (мкЗв/Бк)

Хөрсөнд суусан байгалийн цацраг идэвхт изотопуудаас цацрах гамма цацрагийн гадаад шарлагын тунгийн чадлын хэмжээг 2π "геометр"- ээр тооцоход дараах илэрхийлэл гарчээ [5].

$$P_{\text{V}}^{\text{хөрс}} = 0.052 \left[C_{\text{Ra-226}}^{\text{хаяг}} + C_{\text{Ra-226}}^{\text{YHC}} + 1.31 \left(C_{\text{Tn-232}}^{\text{хаяг}} + C_{\text{Tn-232}}^{\text{YHC}} \right) + 0.085 \left(C_{\text{K-40}}^{\text{хаяг}} + C_{\text{K-40}}^{\text{YHC}} \right) \right] (7)$$

Хөрсөнд суусан хаягдлаас үүсэх гамма цацрагийн гадаад шарлагын нэмэгдэл тун:

$$X_{\gamma}^{\text{хөрс}} = K_{\gamma} T P_{\gamma}^{\text{хөрс}} (8)$$

Үүнд: T -шарах хугацаа ($T = 8760$ цаг)

K_{γ} - гамма цацрагийн агаарт шингээгдсэн тунг эквивалент тунд шилжүүлэх коэффициент ($K_{\gamma} = 0,72 \cdot 10^{-2}$ мкЗв/МКП) [1,7].

Жилд авах дотоод шарлагын тун:

$$D_{\text{дотоод}}^{\text{хөрс}} = \sum_i (C_{\text{хөрс},i}^{\text{хаяг}} + C_{\text{хөрс},i}^{\text{үнс}}) \cdot k_i$$

Үүнд: $C_{\text{хөрс}}$ – хөрсөн дэх цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх
(Бк/кг)-ийг илэрхийлэл (4), (5)-аар тооцно;

k_i – цацраг идэвхт изотопуудын идэвхийг жилд авах тунд шилжүүлэх тунгийн коэффициентын утга [1].

Хүн амын амьдрах нэгж талбайд жилийн турш хаягдах нийлбэр идэвхийг

- Нэгж талбайд оногдох зуухны тоо – N_s (м^{-2});

- Нэг зууханд түлэх нүүрсний хэмжээ – M (кг);

- Зуухнаас гарах үнсний нийт хэмжээнд дэгдэмхий үнсний эзлэх хувь-
 ε (харьцангуй нэгж);

- Зуухны нийт үнснээс газар тариаланд ашиглах хувь η (харьцангуй нэгж)
гэх мэт параметруудээр илэрхийлбэл:

$$\frac{A_{\text{д},i}}{S} = C_i M N_s \varepsilon \cdot \mu_i; (10)$$

$$\frac{A_{\text{хөрс},i}}{S} = C_i M N_s (1 - \varepsilon \mu_i) \eta; (11)$$

болох бөгөөд илэрхийлэл (2)-оос газрын гадарга орчмын агаар дахь цацраг идэвхт изотопуудын эзэлхүүний жилийн интеграл идэвх:

$$\bar{C}_{\text{д},i} = \frac{C_i M N_s \varepsilon \mu_i}{V_{\text{суух}}}; (12)$$

болно.

Харин нүүрсийг шатаах үед радоны байгалийн бүрэн гаралт болохыг тооцвол (3)-р илэрхийллээр радоны РЭА-ыг дараах байдлаар тооцно.

$$\overline{\text{ЭРА}}_{\text{Rn}} = \frac{C_{\text{Rn}} M N_s \text{ЭРА}_{\text{Rn}}^{\text{бунд}}}{\sigma_{\text{дун}}}; (13)$$

Яндангийн утаатай хаягдсан үнс хөрсөнд суух болон зуухны үнсийг бордоонд ашиглахад цацраг идэвхт изотопуудын хөрсөн дэх тэнцвэртэй агууламжийг (4), (5)-р томъёоноос олбол:

$$C_{\text{хөрс},i}^{\text{хаяг}} = \frac{C_i M_s N_s \varepsilon \mu_i \tau}{h_z}; (14)$$

$$C_{\text{хөрс},i}^{\text{үнс}} = \frac{C_i M_s N_s (1 - \varepsilon \mu_i) \eta \tau}{S_{\text{х.а.а}} h_z}; (15)$$

болно.

Уран-238 ба түүний задралын Ra-226 хүртлэх бүтээгдэхүүнүүд, Ради-226, түүний задралын бүтээгдэхүүнүүд, Тори-232, түүний задралын бүтээгдэхүүнүүд, Кали-40-ийн хувьд тус бүрд нь (6)-(9)-ээр томъёонуудыг ашиглан цацрагийн тун $D_{хув}$ -гийн илэрхийллийг гаргая. Цөмийн цацрагийн хүний организмд үйлчлэх бүх боломжийг тооцож, цацрагийн тунг цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх (1Бк/кг)-т харьцуулсан $D_{хув}$ (мкЗв·кг/(Бк·жил)) байдалтай дараах илэрхийллүүд гарна.

$$D_{хув}^U = MN_s \left\{ \frac{q\mu_{хув}^U}{V_{с,ух}} + \frac{k_{хвдс}^U \tau}{h_s} \left[\varepsilon\mu_U + \frac{\eta(1-\varepsilon\mu_U)}{S_{х.а.а}} \right] \right\}; (16)$$

$$D_{хув}^{Ra} = MN_s \left\{ \frac{q\varepsilon\mu_{Ra} k_{хув}^{Ra}}{V_{с,ух}} + \frac{\varepsilon R_{дунд} \cdot k_{хув}^{Ra}}{\sigma_{дунд}} + \frac{(0.052k_i T + k_{хвдс}^{Ra}) \tau}{h_s} \left[\varepsilon\mu_{Ra} + \frac{\eta(1-\varepsilon\mu_{Ra})}{S_{х.а.а}} \right] \right\}; (17)$$

$$D_{хув}^{Th} = MN_s \left\{ \frac{q\varepsilon\mu_{Th} k_{хув}^{Th}}{V_{с,ух}} + \frac{(0.052 \cdot 1.31k_i \cdot T + k_{хвдс}^{Th}) \tau}{h_s} \left[\varepsilon\mu_{Th} + \frac{\eta(1-\varepsilon\mu_{Th})}{S_{х.а.а}} \right] \right\}; (18)$$

$$D_{хув}^K = MN_s \left\{ \frac{0.052 \cdot 0.085k_i \cdot T \cdot \tau}{h_s} \left[\varepsilon\mu_K + \frac{\eta(1-\varepsilon\mu_K)}{S_{х.а.а}} \right] \right\}; (19)$$

M , N_s , η , $S_{х.а.а}$ параметруудийн тоон утга хот бүрийн оршин суугчдын хувьд өөр өөр байна. Цацраг идэвхт изотопуудын баяжих коэффициент (μ)-ын утга ураны хувьд 1.3, радид-1.5, торид-1.2, кали-40-д-1.0-тэй тэнцүү байна. Зуухны нийт үнсэнд дэгдэмтгий үнсний эзлэх хувь $\varepsilon=0.5$ [7].

В.Зуухны үнсийг барилгын материал болгож ашиглахыг хязгаарлах цацрагийн хүчин зүйл нь түүний эффе́ктив хувийн идэвх бөгөөд түүнийг дараах илэрхийллээр тооцно.

$$C_{эф}^{үнс} = \frac{1}{\beta(1-\varepsilon)} [C_{Ra}(1-\varepsilon\mu_{Ra}) + 1.31C_{Th}(1-\varepsilon\mu_{Th}) + 0.085C_K(1-\varepsilon)]; (20)$$

Үүнд: β - нүүрсний үнслэг.

Дээр дурьдсан параметруудийн тоон утгыг (16)-(20)-д орлуулбал дараах илэрхийллүүд гарна.

$$D_{хув}^U = MN_s \left[1.18 + 0.10 \left(0.65 + 0.35 \frac{\eta}{S_{х.а.а}} \right) \right]; (21)$$

$$D_{хув}^{Ra} = MN_s \left[1.26 + 1.67 \left(0.75 + 0.25 \frac{\eta}{S_{х.а.а}} \right) \right]; (22)$$

$$D_{хув}^{Th} = MN_s \left[4.17 + 4.94 \left(0.60 + 0.40 \frac{\eta}{S_{x.a.a}} \right) \right]; (23)$$

$$D_{хув}^K = MN_s \left[0.028 \left(1 + \frac{\eta}{S_{x.a.a}} \right) \right]; (24)$$

$$C_{здxb} = \frac{2}{\beta} [0.25C_{Ra} + 0.52C_{Th} + 0.04C_K]; (25)$$

Үүнд: C_{Ra} , C_{Th} , C_K – түлж байгаа нүүрсэн дэх ради-226, тори-232, кали-40-ийн хувийн идэвх (Бк/кг).

Хөрсний бүтцийг сайжруулахад ашиглах зуухны үнсний хувь хүн амын газар тариалан эрхэлж байгаа талбай ($S_{x.a.a}$)-тай шууд хамааралтай буюу хялбарчлахын тулд $\eta = S_{x.a.a}$ гэвэл хүн амын шарлагын жилийн тунг тооцох дараах илэрхийлэл гарна.

$$D = MN_s (1.3C_U + 3.0C_{Ra} + 9.1C_{Th} + 0.06C_K); (26)$$

Үүнд: C_U – түлэх нүүрсэн дэх уран-238-ын хувийн идэвх (Бк/кг).

Орон сууц болон албан барилгад зуухны үнсийг ашиглаж болох үнэлгээ нь ЦАН-83-д зааснаар:

$$C_{здxb} = 2/\beta (0.25C_{Ra} + 0.52C_{Th} + 0.04C_K) \leq 370 \text{ Бк/кг} \text{ байх ёстой.}$$

Гэрийн болон уурын зууханд түлэх нүүрсэнд байгалийн цацраг идэвх элементүүдийн зөвшөөгдөх хэмжээг үндэслэхэд илэрхийлэл (26)-ийг ашиглах бөгөөд хүн амын жилд авч болох нэмэгдэл тунгийн утга 1мЗв/жил -ээс хэтрэхгүй байх ёстой [3,4].

3. Үр дүн

Боловсуулсан энэ математик загвараар Улаанбаатар хотод эрчим хүч, ахуйн хэрэглээнд цацрагийн эрүүл ахуйн үүднээс ашиглаж болох Багануурын нүүрсэн дэх ураны зөвшөөрөгдөх хэмжээг тооцов.

Улаанбаатар хотод 3 сая тонн нүүрс жилд шатаадаг гурван цахилгаан станц, 180 мянган тонн, нүүрс хэрэглэх 140 гаруй уурын зуух, 60 орчим мянган гэрийн зуух байна [6]. Гэрийн нэг зууханд жилд 5 тонн нүүрс хэрэглэдэг ($M_r = 5000 \text{ кг/жил}$) ба нэг уурын зууханд ($M_u = 1.3 \cdot 10^6 \text{ кг/жил}$), цахилгаан станцад ($M_s = 10^9 \text{ кг/жил}$) нүүрс ноогдож байна.

Улаанбаатар хот ($30 \times 20 \text{ км}^2$)-д гэрийн болон уурын зуухны байрлах нягт $N_s^r = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $N_s^u = 1.8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$ болно. Цахилгаан станцын яндангийн өндөр 100-250 м, утаа цэвэрлэх шүүлтүүрийн барих чадвар $\phi = 96\%$, Багануурын нүүрсний үнслэгийн дундаж утга $\beta = 14.9\%$ байдаг.

Станцаас утаатай гарах хаягдал 50 км радиустай талбайд тархана гэж үзвэл ($N_s^c = 2.5 \cdot 10^{-9}$) болно. Эдгээр параметруудийн утгыг (25), (26)-д орлуулбал:

$$C_{здxb} = 3.4C_{Ra} + 7.0C_{Th} + 0.5C_K \leq 370 \text{ Бк/кг} \quad (27)$$

$$D = 1,2C_U + 2,5C_{Ra} + 7,6C_{Th} + 0,05C_K \leq 1000 \quad (28)$$

Багануурын нүүрсэн дэх ^{232}Th -ийн хувийн идэвхийн дундаж утга 16 Бк/кг, ^{40}K -ийнх 67Бк/кг байгаа[2]-г ашиглан Улаанбаатар хотод түлэх Багануурын нүүрсэн дэх ураны зөвшөөрөгдөх хувийн идэвхийг (28)-аар бодвол 240 Бк/кг (20 г/т), (27)-оор бодвол 146 Бк /кг (12 г/т) байна. Энэ нь цахилгаан станцын болон уурын зуухны үнсийг барилгын материал болгож ашиглах нөхцөлд Багануурын нүүрсэн дэх ураны зөвшөөрөгдөх хэмжээ 12 г/т болохыг харуулж байна.

4. Дүгнэлт

1. Бидний боловсруулсан энэ аргачлалаар Улаанбаатар хотын эрчим хүч, ахуйн хэрэглээний нүүрсэн дэх ураны зөвшөөрөгдөх хэмжээ 20 г/т байна. Харин цахилгаан станц болон уурын зуухны үнсийг барилгын материал болгож ашиглах нөхцөлд Багануурын нүүрсэн дэх ураны зөвшөөрөгдөх хэмжээ 12 г/т болохыг тогтоов.

2. Нүүрсэн дэх цацраг идэвхт изотопуудын зөвшөөрөгдөх агууламжийг тогтоох энэ аргачлалын математик загварыг ашиглан цацраг идэвхт изотопуудын агууламж харьцангуй ихтэй нүүрсийг тухайн хот, суурин газрын ахуйн хэрэглээнд хүн ам, хүрээлэн байгаа орчинд хор нөлөөгүй ашиглах асуудлыг шийдэх боломжтой юм.

Ашигласан хэвлэл

1. Sources, Effects and Ricks of Ionizing Radiation.

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

2. Н.Норов, О.Отгонсүрэн, С.Даваа

Дорнод монголын нүүрсний цацраг идэвхийг судалсан дүн.

МУИС. Эрдэм шинжилгээний бичиг. № 2 (125), 42-47-р хууд, УБ.1997 он.

3. УСТ-12.053.91 Цөмийн цацрагийн тунгийн хязгаар.

4. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources (Safety series, ISSN 0,074-1892;115. Safety standerds). IAEA, Vienna. 1996.

5. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещения. М.: Энергоатомиздат. 1989.

6. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол.

(Онол-практикийн бага хурлын илтгэлүүд), хууд.132: УБ.1998

7. United Nations. Ionizing Radiation: Sources, Effects and Biological Effects.

Unitid Nations Scintific Committee on the Effects of Atomic Radiation,
Report of the General Assembly. New York, 1982.