

Ураны Уурхайн Цацрагийн Аюулгүй Байдал

Н.Энхбат, Н.Норов*, Б.Отгоолой

Монгол Улс, Улаанбаатар-210646, Их сургуулийн гудамж-1,
МУИС-ийн Цөмийн Судалгааны Төв
*Э-шуудан: nnnorov@yahoo.com

Товч утга: Ураны уурхайн ажилчдын жилд авах эффектив тун нь гадаад шарлага болон урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопууд агуулсан үйлдвэрийн тоос, радон, түүний задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүдээс амьсгалаар авах дотоод шарлагын нийлбэртэй тэнцүү бөгөөд ураны уурхайн цацрагийн аюулгүй байдлын үнэлгээ хийх арга зүйн асуудлыг Гурванбулаг ураны далд уурхайн жишээн дээр авч үзсэн болно.

Түлхүүр үг: Ураны далд уурхай, гамма цацраг, радон, урт наст цацраг идэвхт тоос, эффектив тунгийн чадал.

PACS: 88.75 N; 29.90.+r

I. ОРШИЛ

Цөмийн түлшний циклийн эхний үе шат болох уран олборлох үйл ажиллагааны үед ажилчдын цацрагийн аюулгүй байдлыг хангах нь чухал юм. Манай орны ураны ордуудын хүдэр дэх ураны агуулалт 0.05-0.2% байгаа нь бага буюу дунд зэргийн ангилалд хамаарагдана. Хүдрийн агуулалт ихтэй ордууд Австрали, Канад, Казахстан улсуудад байдаг. Ураны ордыг ураны биет орших гүн, түүний хэмжээ, хүдэр дэх ураны агуулалт зэрэг тухайн орд газрын онцлогоос хамааран ил, далд уурхайгаас мөн газар доор уусган баяжуулах аргаар олборлоно. Энэ өгүүлэлд ураны уурхайн ажилчдын цацрагийн аюулгүй байдлыг үнэлэх арга зүйн асуудлыг авч үзэв.

II. ЦАЦРАГИЙН ЭХ ҮҮСГҮҮР

Ураны хүдэрт байгалийн уран ^{238}U (99.275%), ^{235}U (0.72%), ^{234}U (0.005%) изотопуудтай бөгөөд эхний хоёр изотоп нь өөр өөрийн цацраг идэвхийн бүлийг үүсгэх эх цөмүүд юм. ^{235}U -ын байгалийн тархалт бага учраас түүний цацрагийн нөлөөлөл харьцангуй бага болно. ^{238}U -ын бүлийн изотопуудын задралын бүтээгдэхүүнүүдийг 1-р хүснэгтэнд үзүүлэв. Тэдгээрээс гарах цацрагийн нөлөөгөөр ураны уурхайн ажилчид гадаад, дотоод шарлага байнга авна. Гадаад шарлагын эх үүсвэр нь ураны задралын бүтээгдэхүүнээс цацрах гамма цацраг бөгөөд ажилчдын авах шарлагын тунгийн хэмжээ нь хүдэр дэх ураны агуулалттай шууд хамааралтай. Гурванбулаг ураны далд уурхайн хүдэр дэх ураны агуулалт ~0.2% байгаа нь ~10 мкЗв/цаг тунгийн чадалтай тэнцүү.

Ураны далд уурхайн ажилчдын хувьд

цацрагийн эрүүл ахуйн үүднээс хамгийн их нөлөө үзүүлэх изотопууд нь ^{226}Ra -ийн задралын бүтээгдэхүүн инертийн хий радон, түүний богино наст задралын бүтээгдэхүүнүүд (RaA , RaB , RaC , RaC') бөгөөд эдгээр нь хүний амьсгалаар орж, дотоод шарлага үүсгэнэ [1].

Хүснэгт I. Ураны бүл

Изотоп	Нэр	Хагас задралын үе	Задрал
^{238}U	Уран I	4.47 х 10^9 жил	α , < 1% γ
^{234}Th	Уран X1	24.1 өдөр	β , γ
^{234}Pa	Уран X2	1.17 мин	β , < 1% γ
^{234}U	Уран II	2.44 х 10^5 жил	α , < 1% γ
^{230}Th	Иони	7.7 х 10^4 жил	α , < 1% γ
^{226}Ra	Ради	1600 өдөр	α , γ
^{222}Rn	Радон	3.8 өдөр	α , < 1% γ
^{218}Po	Ради A (RaA)	3.05 мин	α , < 1% γ
^{214}Pb	Ради B (RaB)	26.8 мин	β , γ
^{214}Bi	Ради C (RaC)	19.7 мин	β , γ
^{214}Po	Ради C' (RaC')	164 мксек	α , < 1% γ
^{210}Pb	Ради D (RaD)	22.3 жил	β , γ
^{210}Bi	Ради E (RaE)	5.01 өдөр	β , γ
^{210}Po	Ради F (RaF)	138.4 өдөр	α , < 1% γ
^{206}Pb	Ради G (RaG)	Тогтвортой	-

Мөн ураны далд уурхай дахь уулын тэсэлгээ, малталтын үед үүсэх урт наст цацраг идэвхт изотоп агуулсан тоосоор дотоод шарлага үүснэ.

Ш. УУРХАЙН АЖИЛЧДЫН ШАРЛАГЫН ТУНГ ҮНЭЛЭХ

Дээр дурьдсанаар цацраг идэвхт материалтай харьцан ажилладаг уурхайн ажилчдын жилд авах эффектив тунг D нь гадаад шарлага (D_{γ}) болон урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопууд $D_{урт}$ агуулсан үйлдвэрийн тоос болон радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүд D_{Rn} -ээс амьсгалаар авах дотоод шарлагын нийлбэртэй тэнцүү байна.

$$D = D_{\gamma} + D_{урт} + D_{Rn} \quad (1)$$

Уурхайн ажилчдын авах гадаад шарлагын тунг ажлын байранд дозиметрийн багажаар хэмжсэн цацрагийн тунгийн чадлыг ажилласан хугацаагаар үржүүлж үнэлнэ.

Гамма цацрагийн тунгийн чадлыг P дозиметрийн багажны заалтаар тодорхойлохдоо багажийн фон P_{ϕ} , сансарын туяаны тунгийн чадлын утга P_c -ийг хасна.

$$P_{\gamma} = P - P_{\phi} + P_c, \text{ нГр/цаг} \quad (2)$$

Гадаад шарлагаас жилд авах эффектив тунг дараах томъёогоор тооцож болно.

$$D_{\gamma} = 10^{-6} \cdot K \cdot \sum P_{\gamma i} \cdot t_i, \text{ мЗв/жил} \quad (3)$$

Энд: $P_{\gamma i}$ - i -р цэг дээрх цацрагийн тунгийн чадал, нГр/цаг; t_i - i -р цэг дээр ажилчдын ажиллах хугацаа, цаг/жил; K - гамма цацрагийн дундаж энергийн хувьд эквивалент тунгийн чадал, шингэсэн тунгийн чадлын харьцаа (Зв/Гр) бөгөөд энэ харьцаа байгалийн гамма цацраг идэвхт изотопуудын хувьд 0.7 Зв/Гр-тэй тэнцүү [5].

Уурхайн тоосонд агуулагдах урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопууд амьсгалын замаар (ингаляци) орсноор үүсэх ажилчдын дотоод шарлагын тунг дараах байдлаар үнэлнэ.

$$D_{урт} = 10^{-3} \cdot \sum A_i \cdot \varepsilon_i \cdot V \cdot f \cdot t, \text{ мЗв/жил} \quad (4)$$

Энд: A_i - уурхайн тоосон дахь i -р цацраг идэвхт изотопийн хувийн идэвх, Бк/м³; ε_i - i -р цацраг идэвхт изотоп амьсгалаар орох

тунгийн коэффициент, Зв/Бк [2]; V - амьсгалах агаарын хэмжээ, м³/цаг (дунд зэргийн ачаалалтай ажиллах үед 1.2 м³/цаг) [3]; t - уурхайн тоосжилтой нөхцөлд ажиллах хугацаа, цаг/жил; f - ажиллах хугацаа (t)-ны туршид ажилтны амьсгалах бүс дэх агаарын дундаж тоосжилт, мг/м³.

Уран, торийн бүлийн цацраг идэвхт изотопуудын хувьд тунгийн коэффициентууд нь эдгээр бүлийн гишүүн бүрийн чанарын коэффициентуудын нийлбэртэй тэнцүү. Цацраг идэвхийн тэнцвэр тогтсон үед уран, торийн бүлийн хувьд тунгийн коэффициент нь $5.2 \cdot 10^{-5}$ Зв/Бк, $7.85 \cdot 10^{-5}$ Зв/Бк байна. Ажилтны амьсгалах бүс дэх агаарын ерөнхий тоосжилтын хэмжээг 4.0 мг/м³, уурхайд жилд ажиллах хугацааг 2000 цаг гэж сонгож авсан.

Радоны богино наст цацраг идэвхт изотопууд ажилчдын амьсгалын замаар орсноор үүсэх дотоод шарлагын тунг дараах байдлаар үнэлнэ.

$$D_{Rn} = 10^{-6} \cdot 7.8 \cdot C_{эқв, Rn} \cdot t, \text{ мЗв/жил} \quad (5)$$

Энд: $C_{эқв, Rn}$ - жилд ажиллах хугацааны турш (t , цаг/жил) радоны эквивалент тэнцвэрт эзлэхүүний идэвхийн дундаж утга, Бк/м³.

Авсрали, Канад, Египит зэрэг гадаадын зарим ураны уурхайд радоны эквивалент эзлэхүүний идэвхийг ажлын түвшин (АТ) гэсэн нэгжээр илэрхийлдэг. Радон нь өөрийн задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүдтэйгээ цацраг идэвхийн тэнцвэрт байгаа тохиолдолд 1АТ нь 3.7 кБк/м³ эзлэхүүний идэвхтэй эквивалент байдаг [3].

Гурванбулагийн ураны далд уурхайн ажлын байруудад 2007, 2009 онуудад радоны АТ-ыг тодорхойлсон дүнг улиралаар дундажлан 1-р зурагт харуулав. АНУ-ын “SKC Inc” компанийн Model 224-PCXR4 төрлийн агаар соруулагчаар 5 минут агаар соруулж, радоны задралын богино наст бүтээгдэхүүнүүд суусан шүүлтүүрийг сцинтиляцийн тоолуур бүхий “Environmental Instruments Canada Inc.” компанийн Model TM372 төрлийн альфа тоолуурт тавьж, агаар соруулж дууссанаас хойш 1 минутын дараа 6 минут хэмжсэн импульсийн тоог дараах илэрхийлэлд оруулан ажлын байрны агаар дахь радоны ажлын түвшин (АТ)-г тодорхойлов.

$$AT = \frac{N \cdot \varepsilon}{R_{\phi} \cdot v \cdot t \cdot \eta} \quad (6)$$

Үүнд: N - агаар соруулж дууссанаас 1 минутын дараа альфа-тоолуурт 3 минутанд бүртгэгдсэн импульсын тоо; ε - шүүлтүүрийн барих чадвар; R_{ϕ} - Роллын коэффициент, манай тохиолдолд 213 байна; ν - агаар соруулах хурд, л/мин; t – шүүлтүүр дээр суусан радоны задралын бүтээгдэхүүнээс гарах альфа бөөмийг тоолох хугацаа, 3 мин; η - альфа тоолуурын бүртгэх чадамж.

Гурванбулаг ураны далд уурхайн ажлын байруудад тодорхойлсон радоны дундаж ажлын түвшин (AT), радоноос ажилчдын авах

дотоод шарлагын тун (D_{γ})-г 3-р хүснэгтэнд үзүүлэв.

4-р хүснэгтэнд тус уурхайн ажлын байруудад тодорхойлсон урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопын хувийн идэвх (A_i), урт наст цацраг идэвхт тоосжилтоос ажилчдын авах дотоод шарлагын тун (D_{γ})-г үзүүлэв. 2-р хүснэгтэнд Гурванбулаг ураны уурхайн ажлын байранд хэмжсэн гамма цацрагийн шингэсэн тунгийн чадал болон илэрхийлэл [3]-аар тооцоолсон гадаад шарлагын эффе́ктив тунгийн чадлыг үзүүлэв.

Хүснэгт 2. Гурванбулаг ураны уурхайн ажлын байранд хэмжсэн гамма цацрагийн шингэсэн тунгийн чадал (P_{γ}), тооцоолсон гадаад шарлагын эффе́ктив тунгийн чадал (D_{γ}).

Байршил	$P_{\gamma i}$, нГр/цаг	t_i , цаг	D_{γ} , мЗв/жил
Хатаалгын байр	170	2000	0.24
Геологичдын байр	147	2000	0.21
Дээжтэй ажиллах байр	185	2000	0.26
Далд уурхайд	310	2000	0.43
Уурхайн талбайн орчим	196	2000	0.27
Уурхайн гол амны орчим	210	1500	0.22
Дээжтэй ажиллах байрны гадна талбай	268	2000	0.37
Эмээлт майнз кемп	251	1500	0.26
<i>Дундаж</i>	<i>217</i>	<i>1857</i>	<i>0.28</i>

Хүснэгт 3. Гурванбулаг ураны уурхайн ажлын байруудад тодорхойлсон радоны дундаж ажлын түвшин (AT), радоноос ажилчдын авах дотоод шарлагын тун (D_{Rn}).

Байршил	$C_{экв. Rn}$, АТ	D_{Rn} , мЗв/жил
Дээж хадгалах байр	0.052	0.0008
Хатаалгын байр	0.008	0.0001
Геологичдын байр	0.016	0.0002
Дээжтэй ажиллах байр	0.069	0.0011
Далд уурхай	0.193	0.0030
<i>Дундаж</i>	<i>0.068</i>	<i>0.0011</i>

Хүснэгт 4. Уурхайн тоосонд агуулагдах урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопын дундаж хувийн идэвх (A_i), цацраг идэвхт тоосжилтоос ажилчдын авах дотоод шарлагын тун ($D_{урт}$).

Байршил	A_i , Бк/м ³	$D_{урт}$, мЗв/жил
Дээж хадгалах байр	0.014	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Хатаалгын байр	0.010	$1.2 \cdot 10^{-5}$
Геологичдын байр	0.007	$8.1 \cdot 10^{-6}$
Дээжтэй ажиллах байр	0.038	$4.7 \cdot 10^{-5}$
Далд уурхай	0.521	$6.5 \cdot 10^{-4}$
<i>Дундаж</i>	<i>0.118</i>	<i>$1.7 \cdot 10^{-5}$</i>

IV. ЦАЦРАГИЙН ХАМГААЛАЛТ

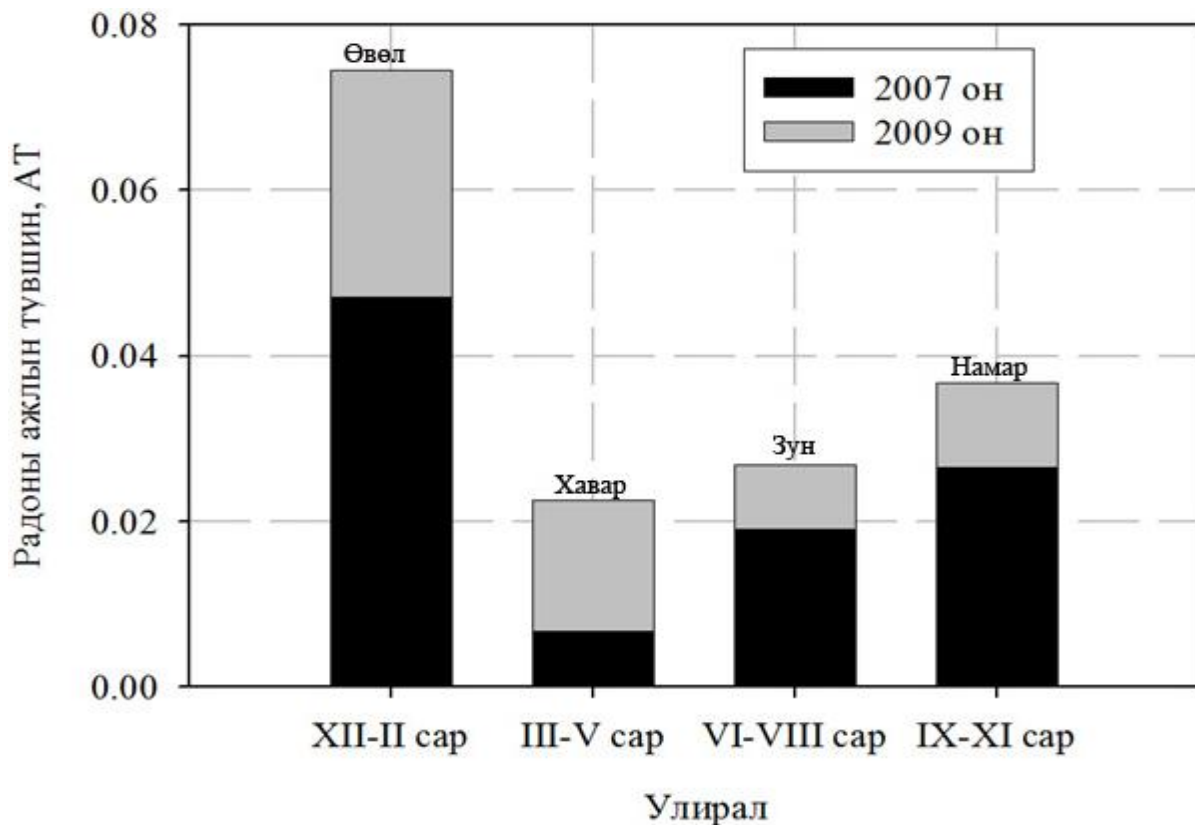
Ураны олборлох, боловсруулах үед хайгуулын болон үйлдвэрийн ажилчид, хүн амын цацрагийн шарлагын детримент нөлөөлөлөөс хамгаалахын тулд Олон Улсын Цацрагийн Хамгаалалтын Комисс (ОУЦХК)-оос гаргасан цацрагийн тунг хязгаарлах системийг ашигладаг. Цацрагийн хамгаалалтын үндсэн зорилго нь цацрагийн шарлагийг аль болох доод хэмжээнд байлгах (ALARA)-ын тулд эдийн засгийн болон нийгмийн хүчин зүйлсийг тооцдог. Аливаа ураны хүдэр олборлох, боловсруулах үйл ажиллагаа нь ALARA зарчмын хувьд оновчтой байх ёстой. ОУЦХК-оос зөвлөсөн цацрагийн тунг хязгаарлах системийн үндсэн гурван зарчмыг баримталдаг.

Үүнд:

1. Үндэслэлгүйгээр цацрагийн шарлага үүсгэхгүй байх. Цацрагтай холбогдолтой аливаа үйл ажиллагаа нь эерэг, ашигтай, үндэслэлтэй байх;
2. Оновчло.: Эдийн засгийн болон нийгмийн хүчин зүйлийг онцгойлон анхаарч, цөмийн цацрагийн шарлагын хэмжээг аль болох зохистой хамгийн бага байлгах;
3. Тунгийн хязгаарлалт. Хувь хүний авах цацрагийн тунгийн хэмжээг тухайн нөхцөл байдалд нь зориулан тогтоосон тунгийн хязгаараас хэтрүүлэхгүй байх ёстой.

Цацрагийн хамгаалалтын үндэсний стандартыг боловсруулахдаа мэргэжлийн болон нийт хүн амын авах цацрагийн тунгийн

хязгаарлалтанд ОУЦХК-оос гаргасан зөвлөмжүүдийг үндэс болгоно.



Зураг 1. Гурванбулагийн ураны далд уурхайн ажлын байруудад 2007, 2009 онуудад хийсэн радоны ажлын түвшин (АТ)-ий дундаж утгын улиралын хамаарал.

А. Тунг хязгаарлах систем

ОУЦХК-ын зөвлөмжийн дагуу цацрагийн тунгийн зөвшөөрөгдөх хэмжээ нь мэргэжлийн шарлагын хувьд дараалсан дурын таван жилд дунджаар нэг жилд 20 миллизиверт (5 жилд 100 мЗв), гэхдээ нэг жилд хамгийн их хэмжээ нь 50 мЗв байна. Харин хүн амын шарлагын нэмэлт тунгийн зөвшөөрөгдөх хэмжээ таван жилийн дундажаар нэг жилд 1 мЗв байна. Энэхүү хоёр ангилалд хамаарах тунгийн утгууд байгалийн цацрагийн дэвсгэр түвшин дээр нэмж авах тунгийн хэмжээ гэж ойлгох бөгөөд үүнд эмнэлэгийн шарлага тооцогдоогүй болно [2, 3, 4].

В. Цацрагийн шарлагыг багасгах арга хэмжээ

Ураны уурхайн ажлын байрны гадаад шарлагын хэмжээ хүдэр дэх ураны агуулалтаас хамаарах учраас уурхай дахь гамма цацрагаар үүсэх цацрагийн тунгийн чадлыг хянах шаардлагатай. Гэвч бага агуулалттай ураны уурхайн хувьд гамма цацрагийн тунгийн чадал харьцангуй бага

байна. Харин хүдэр дэх ураны агуулалт их байх тохиолдолд уурхайд ажиллагчдын авах гадаад шарлагын хэмжээг бага байлгахын тулд уурхайд зориулалтын хувийн хамгаалах хэрэгсэл хэрэглэх, ажлын ээлжийн цагийн зохицуулалт хийх зэрэг арга хэмжээг авна.

Хүдрийн биетээс ялгарах радоны хэмжээг багасгаснаар уурхайн агаар дахь радоны агуулалтыг бага хэмжээнд барьж болно. Хүдэр олборлоход шарагдах гадаргын талбай, хүдрийн бутралтыг багасгахын тулд уран олборлох арга болон тэсэлгээний цэгийг зөв сонгож хийх нь чухал юм. Хамгийн үр ашигтай хяналтын арга нь агааржуулалт юм. Уурхайд шаардагдах агаарын хэмжээ нь далд уурхайн ажлын цар хэмжээ, хүдэр олборлолтын ажлын хэмжээ, тухайн цагт уурхайд ажиллаж байгаа ажилчдын тоо зэргээс хамаарна. Уурхайн агаар дахь хүдрийн тоосны хэмжээг багасгахын тулд тоосны ялгаралт, тархалтын эх үүсвэрт чийгтэй өрөмдлөгө хийх, өрмийн хаягдлыг норгох зэрэг арга хэмжээ авах шаардлагатай [6, 7].

ДҮГНЭЛТ

1. Монгол улсад уран олборлох үйл ажиллагааны үед цацрагийн аюулгүй байдлыг хангах дүрэм журам боловсруулахдаа ОУЦХК-ын гаргасан тунг хязгаарлах системд заагдсан бүх аюулгүйн арга хэмжээний зөвлөмжийг баримтлах нь ураны уурхайн ажилчдын цацрагийн хамгаалалтын асуудлыг зөв шийдэх боломжийг бүрдүүлнэ.
2. Дорноговь, Дундговийн нутагт орших ураны агуулалт бага (0.05%)-тай, гидрогеннийн үүсэлтэй ордын хүдрийг олборлох үед цацрагийн аюулгүй байдлыг хангах асуудал харьцангуй хялбар болно. Харин ураны агуулалт их (0.2%)-тэй Гурванбулаг, Дорнод далд уурхайн цацрагийн аюулгүй байдлыг хангах асуудал хүндрэлтэй. Ураны далд уурхайд радоноос авах дотоод шарлагын хэмжээг багасгахын тулд агааржуулалтыг зохих ёсоор хийх шаардлагатай. Иймээс далд уурхайн ажил эхлэхийн өмнө уурхайн агаар дахь радоны хэмжээг байнга хянаж, агааржуулалт шаардлага хангаж байгаа эсэхийг тогтооно. Мөн далд уурхайн уулын ажлын үед агаарын тоосжилтыг хэмжиж урт наст байгалийн цацраг идэвхт изотопуудаас ажилчдын амьсгалын замаар авах дотоод шарлагын тунг тооцоолон дүгнэлт өгөх шаардлагатай.
3. Бидний боловсруулсан энэ арга зүй нь манай улсын ураны уурхайн ажилчдын цацрагийн хамгаалалт, хяналтын олон төрлийн хэмжилт, тооцооны ажлуудыг нэгтгэн цацрагийн аюулгүй байдлын үнэлгээ хийхэд чухал ач холбогдолтой.

АШИГЛАСАН ХЭВЛЭЛ

1. Н.Норов, С.Даваа. Агаар дахь радон, түүний задралын бүтээгдэхүүний задралын бүтээгдэхүүнийг судалсан тухай. МУИС, Эрдэм Шинжилгээний Бичиг №5(138), 3-11-р тал (1998).
2. International Atomic Energy Agency, International Basic Safety Standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources, **BSS-115**. IAEA, Vienna (1996).
3. ICRP International Commission on Radiological Protection. Protection against Radon-222 at Home and Work. ICRP Publication 65. **Ann. ICRP 23/2** (1993).
4. International Commission on Radiological Protection, Recommendations of the ICRP, Publication 60, **Ann. ICRP Vol.21**, Elsevier Science, Oxford (1991).
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (**UNSCEAR**). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly (1993).
6. Safety Series **No.95**. "Radiation Monitoring in the Mining and Milling of Radioactive Ores". IAEA, Vienna (1989).
7. Safety Series **No.RS-G-1.6**. "Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of Raw Materials Radiation Monitoring in the Mining and Milling", IAEA, Vienna (2004).

RADIATION SAFETY OF URANIUM MINE

N.Enkhbat, N.Norov, B.Otgooloi

*Nuclear Research Center, National university of Mongolia
University street-1, Ulaanbaatar-210646, Mongolia*

The paper discusses about safety assessment methodology for radiation safety of uranium mining. Case-study for radiation safety assessment of uranium mine is also considered on Gurvanbulag underground uranium mine. Annual effective dose to mine workers was estimated by the sum of the external exposure to gamma and the internal exposure to long lived radioactive dust and radon.