

Улаанбаатар хотын Чингэлтэй дүүргийн 15 дугаар хорооны гэр хорооллын айл өрхүүдийн дотоод орчны агаарын радоны агууламж

Маралмаа Ө.¹, Нямсүрэн Л.²

¹“Ач” Анагаах ухааны их сургууль,

²Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв

И-мэйл хаяг: ph21b011@ach.edu.mn

Abstract

Indoor air radon concentration in ger district households of 15th khoroo, Chingeltei district, Ulaanbaatar city

Maralmaa Ö.¹, Nyamsuren L.²

¹Ach Medical University,

²National Center for Public Health

E-mail: ph21b011@ach.edu.mn

Background

Radon is a naturally occurring radioactive gas produced from the decay of uranium found in rocks and soil. It is released into the air and can accumulate in enclosed spaces, entering the human body through the respiratory system [1]. Most households in ger districts live in small dwellings with earthen foundations, poor ventilation, and tightly sealed structures designed to retain heat, creating conditions for elevated indoor radon levels [2]. This gas is colorless, odorless, and tasteless, making it difficult to detect, and it tends to accumulate indoors, especially in poorly ventilated spaces. High indoor radon levels can damage lung tissue and alter DNA structure, thereby increasing the risk of cancer development [3]. According to the World Health Organization, radon is responsible for approximately 3–14% of lung cancer cases worldwide and is considered the second leading cause of lung cancer after smoking [4]. The permissible indoor radon concentration has been established at 200 Bq/m³ for existing buildings and 100 Bq/m³ for newly constructed buildings [5].

The World Health Organization has warned that the combined effects of outdoor and household air pollution contribute to approximately 6.7 million premature deaths annually [6]. In Mongolia, studies in this field remain limited, which served as the basis for conducting the present research.

Objective

To assess indoor radon concentration and selected microclimate indicators in households of Khoroo 15, Chingeltei District, and compare them with hygienic standards.

Materials and Methods

A descriptive cross-sectional study design was used. From a total of 2,125 households in the ger district of Khoroo 15, Chingeltei District, a sample size of 71 households was determined using the OpenEpi statistical program. Indoor radon concentration was measured in each household for 48 hours using a “Wave Radon” electronic device. Data were entered into Word and MS Excel, then analyzed using SPSS version 27. Descriptive statistics (mean, frequency, minimum, maximum, standard deviation) were calculated, and differences between variables were assessed using the chi-square test.

Results

The average indoor radon concentration was 173.2 Bq/m³, with a maximum of 596 Bq/m³ and a minimum of 26 Bq/m³. A total of 31% (22 households) exceeded the hygienic standard

(>200 Bq/m³). Radon concentration was higher in houses (246.05 Bq/m³; min=48, max=596) compared to gers (94 Bq/m³; min=26, max=325). Indoor radon concentration showed a moderate inverse correlation with outdoor temperature ($p=0.003$, $r=-0.346$) and a moderate positive correlation with indoor humidity ($p=0.001$, $r=0.513$).

The average age of houses was 23 years (range: 1–48 years), and radon concentration was not associated with building age ($r=0.035$, $p=0.838$). When categorized by building material, the highest mean radon concentration was found in brick houses (307 Bq/m³), followed by concrete houses (271.4 Bq/m³) and wooden houses (206.6 Bq/m³), while the lowest was in traditional gers (93.8 Bq/m³). However, these differences were not statistically significant ($p=0.208$).

Conclusion

1. The study on radon concentration in household indoor air revealed that, among households living in houses and apartments, some cases exceeded the hygienic standard limits. The research results indicate that the indoor radon concentration in ger district households is associated with ambient temperature and indoor humidity levels.
2. It was also determined that radon concentration varies depending on factors such as housing structure, building materials, and stove type. Among the types of dwellings included in the study, brick and concrete buildings showed relatively higher radon concentrations, whereas traditional Mongolian gers had the lowest levels.

Keywords: Household, air temperature, becquerel, ger district, indoor air, radon concentration, radon, relative humidity.

Pp 33-40, Tables 4, Figures 4, References 16

Үндэслэл

Радон нь байгальд өргөн тархсан радио идэвхт хий бөгөөд энэ нь чулуу, хөрсөнд агуулагдах уранын задралаас үүсдэг. Радон агаарт ялгарч, битүү орчинд хуримтлагдсанаар хүний амьсгалын замаар биед нэвтэрдэг [1]. Гэр хорооллын ихэнх айл өрхүүд шороон суурьтай, агааржуулалт муутай, дулаан хадгалах зорилгоор битүү хийгдсэн жижиг сууцанд амьдардаг нь радоны дотоод орчны түвшин өндөр байх нөхцөлийг бүрдүүлдэг [2]. Энэхүү хий нь өнгөгүй, үнэргүй, амтгүй тул илрүүлэхэд хүндрэлтэй байдаг бөгөөд өрөө тасалгаанд, ялангуяа агаар сэлгэлт муутай байранд хуримтлагдах хандлагатай. Дотор орчны радоны түвшин өндөр байх нь уушгины эд эсийг гэмтээж, ДНХ-ийн бүтцийг эвдэлснээр хорт хавдар үүсгэх эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг [3].

Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагын тооцоолсноор, радон нь дэлхий даяарх уушгины хорт хавдрын 3–14 хувийг үүсгэдэг бөгөөд тамхины дараа хоёр

дахь гол шалтгаан болдог байна [4]. Орон байрны радоны зөвшөөрөгдөх хэмжээг хуучин байранд 200 бк/м³, шинэ баригдсан байранд 100 бк/м³ гэж тогтоосон [5]. Гадна болон өрхийн агаарын бохирдлын нийлмэл нөлөөнөөс шалтгаалан жил бүр 6.7 сая хүн цаг бусын нас баралттай тулгарч байгааг дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагууд анхааруулж байна [6]. Манай улсад энэ чиглэлийн судалгаа хомс байгаа нь энэхүү судалгааг хийх үндэслэл болсон.

Зорилго

Чингэлтэй дүүргийн 15 дугаар хорооны гэр хорооллын айл өрхийн дотоод орчны агаарын радон болон бичил цаг уурын зарим үзүүлэлтийг эрүүл ахуйн нормтой харьцуулан үнэлэх.

Материал, арга зүй

Судалгааг дескриптив судалгааны агшингийн загвараар хийж гүйцэтгэн. Чингэлтэй дүүргийн 15 дугаар хорооны гэр хорооллын 2125 айл өрхийг төлөөлүүлэн статистикийн OpenEpi программыг ашиглан

түүвэрлэлтийн хэмжээг 71 өрх байхаар түүвэрлэн авсан. Радоны агууламжийг “Wave Radon” электрон багажаар өрх бүрд 48 цагийн турш хэмжин, мэдээллийг Word, Ms.Excel программд шивж нэгтгэн үр дүнг SPSS 27 программ руу хөрвүүлж, тоон үзүүлэлтүүдийн дундаж утга, давтамж, хамгийн их болон бага утга, стандарт хазайлт зэргийг Descriptive Statistics-аар, өрхүүдийн дотоод орчны агаарын үзүүлэлтүүд хоорондын ялгаатай байдлыг хи-квадрат тестээр тооцоолсон.

Судалгааны ажлын ёс зүй

“Ач” АУИС-ийн судалгааны ёс зүйн салбар хороонд 2025 оны 12 дугаар сарын 24-ний

өдөр өргөн барьж хэлэлцүүлэн, ёс зүйн зөвшөөрөл авсан. Мөн 2026 оны 3 дугаар сарын 19-ний өдөр дахин хэлэлцүүлж, судалгааны явцад ёс зүйн зөрчил илрээгүй тухай дүгнэлт гаргуулсан.

Үр дүн

The average indoor radon concentration in the surveyed households was 173.2 ± 139.6 Bq/m³, with a maximum concentration of 596 Bq/m³ and a minimum concentration of 26 Bq/m³. The mean indoor radon concentration of 173.2 ± 139.6 Bq/m³ was below the Radiation Safety Standard (200 Bq/m³), indicating that it was within the safe level (Table 1).

Table 1. Results of the Assessment of Indoor Radon Concentration in Households

Indicator	Radon
Mean value (71 households)	173.2
Frequency	50
Range	570
Maximum value	596
Minimum value	26
Standard deviation	139.6

The indoor radon concentration in the surveyed households was analyzed by housing type. The average concentration in traditional Mongolian gers was 94 ± 151.5 Bq/m³ (min = 26, max = 325), while the average

concentration in houses was 246 ± 62.4 Bq/m³ (min = 48, max = 596). However, the difference was not statistically significant ($p = 0.256$) (Figure 1).

Comparison of radon concentration with radiation safety standards by housing type

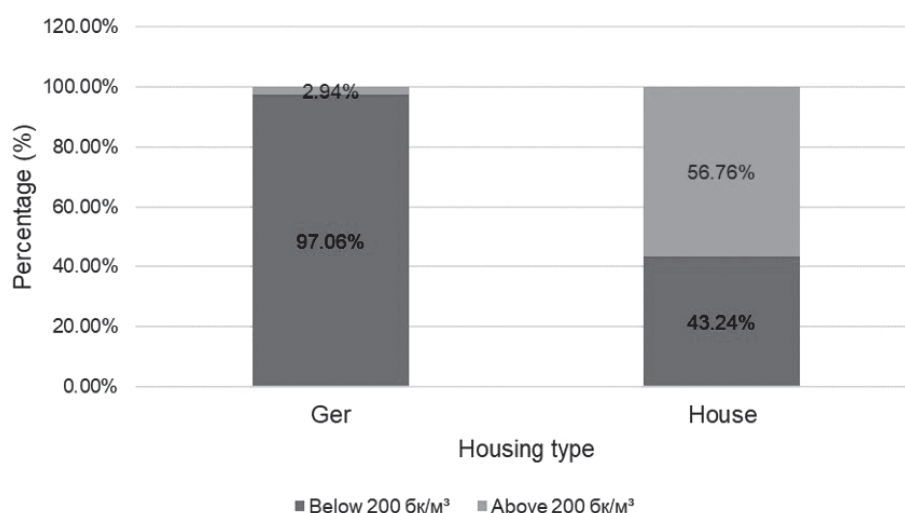


Figure 1. Comparative Assessment of Indoor Radon Concentration in Households by Housing Type According to Radiation Safety Standards

When comparing the indoor radon concentrations in the surveyed households by building material type with the Radiation Safety Standard (200 Bq/m³), 53% of wooden houses, 40% of concrete houses, and 36% of brick houses were found to be below the Radiation Safety Standard, indicating

safe levels. However, radon concentrations exceeded the Radiation Safety Standard (200 Bq/m³) in 100% of block houses, 64% of brick houses, 60% of concrete houses, and 47% of wooden houses. These differences were not statistically significant ($p = 0.208$) (Table 2).

Table 2. Comparative Assessment of Radon Concentration by Building Material Type According to Radiation Safety Standards

№	Building material type	Radiation safety standard	Number (n)	Percentage (%)
1	Brick	200 бк/м ³ -аас бага	5	36
		200 бк/м ³ -аас их	9	64
2	Concrete	200 бк/м ³ -аас бага	2	40
		200 бк/м ³ -аас их	3	60
3	Wooden	200 бк/м ³ -аас бага	9	53
		200 бк/м ³ -аас их	8	47
4	Block	200 бк/м ³ -аас бага	0	0
		200 бк/м ³ -аас их	1	100

Among the surveyed households, 66% had kitchen furniture made of particle board, while 34% had wooden kitchen furniture. No

significant difference was observed according to the kitchen furniture material ($p = 0.271$) (Figure 2).

Type of kitchen furniture material

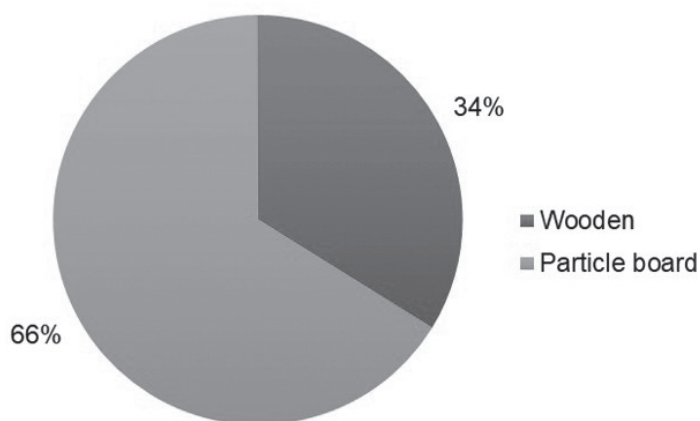


Figure 2. Types of Household Kitchen Materials

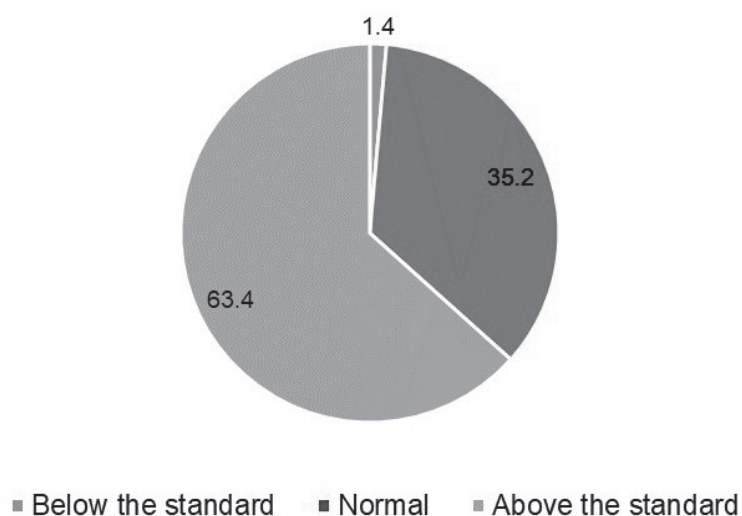
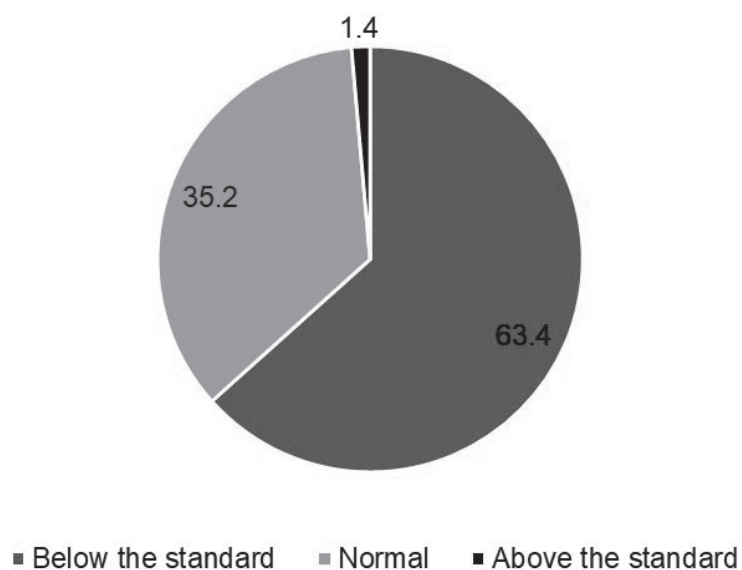
The indoor radon concentration in the surveyed households was analyzed in relation to ventilation frequency. In households ventilating 1–3 times per day, the mean radon concentration was 165 ± 132.0 Bq/m³ (min = 29, max = 596). In households ventilating more than 4 times per day, the mean radon concentration was 215 ± 203.3 Bq/m³ (min

= 26, max = 506). In households with no ventilation, the mean radon concentration was 184 ± 148.8 Bq/m³ (min = 45, max = 592). Overall, there was no statistically significant association between indoor radon concentration and ventilation frequency ($p = 0.839$) (Table 3).

Table 3. Indoor Radon Concentration in Households and Ventilation Frequency

Indicator	Number (N)	Minimum value	Maximum value	Mean	Standard deviation
Ventilation performed 1-3 times per day	50	29	596	165.5	132.0
Ventilation performed more than 4 times per day	5	26	506	214.6	203.3
No daily ventilation	16	45	592	184.1	148.8

The average indoor air temperature in the surveyed households was $23 \pm 2.5^{\circ}\text{C}$ (min = 16, max = 29). The average relative humidity was $29 \pm 10.5\%$ (min = 12, max = 62) (Figure

**Figure 3. Results of Indoor Air Temperature in Households****Figure 4. Results of Relative Humidity of Indoor Air in Households**

The average indoor relative humidity in the surveyed households was 29%. The indoor radon concentration showed a moderate positive correlation with humidity ($p = 0.001$, $r = 0.513$).

The indoor radon concentration was found to have a moderate inverse correlation with outdoor temperature ($p = 0.003$, $r = -0.346$).

The indoor radon concentration in the surveyed households was evaluated in relation to indoor air temperature. A weak inverse correlation was observed; however, it was not statistically significant ($p = 0.926$, $r = -0.011$).

The average indoor air temperature in the surveyed households was 23.4°C , which is within the standard permissible range. The average indoor relative humidity was 29.3%, which is below the standard level [7].

Table 4. Comparison of Permissible Limits of Indoor Microclimatic Parameters with Average Indoor Air Conditions in Households

Name of indicator	Assessment condition	Unit of measurement	Permissible maximum limit	Average of households
Temperature	Based on average measurement	Degrees Celsius ($^{\circ}\text{C}$)	18-22	23.4
Relative humidity	Based on average measurement	Percent (%)	30-60	29.3

Хэлцэмж

Бидний судалгаанд хамрагдсан нийт айл өрхийн орон байрны дотоод орчны агаар дахь радоны дундаж агууламж 173.2 ± 139.6 бк/м³, хамгийн их утга 596 бк/м³, хамгийн бага утга 26 бк/м³ байгаа нь Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м³)-оос бага буюу аюулгүйн түвшинд байгаа хэдий ч хамгийн их утга нь уг нормыг давсан байгаа нь Европын 9 улсад хийгдсэн Darby et al. (2005) судалгаатай харьцуулахад тухайн судалгаанд хяналтын бүлгийн орон сууцны дундаж радоны агууламж 97 бк/м³, уушгины хорт хавдартай хүмүүсийн хувьд 104 бк/м³ байсан нь бидний судалгааны дундаж үзүүлэлтээс харьцангуй бага байна. Гэсэн хэдий ч уг судалгаагаар радоны агууламж 100 бк/м³-ээр нэмэгдэх тутам уушгины хорт хавдрын эрсдэл 8.4–16 хувиар өсдөг болохыг тогтоосон байна [8].

Бидний судалгааны үр дүнд нийт өрхийн орон байрны дотоод орчны агаарын радоны агууламж Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м³)-той харьцуулан үнэлэхэд 69 хувь (49) нь зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс бага, 31 хувь (22) нь зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их байгаа нь Ф. К. Т. Стэнли, С. Зарезадех, С. Д. Дюме болон бусад судлаачдын 2017

оны "Өмнөд Альберта дахь айл өрхүүдийн радон хийний түвшин болон эрсдэлт хүчин зүйлсийн цогц судалгаанд нийт орон сууцны 47.6 хувь нь 100 бк/м³ ба түүнээс дээш, 12.4 хувь нь Canada улсын зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ болох 200 бк/м³-ээс давсан радоны агууламжтай байна гэсэн үр дүнтэй нийцэж байна [9].

Бидний судалгааны үр дүнд нийт өрхийн орон байрны дотоод орчны радоны агууламж сууцны төрлөөр модон байшинд 48-456 бк/м³, бетон байшинд 68-592 бк/м³ байгаа нь Б. Эрдэв, Б.Мөнхцэцэг нарын 2003 оны "Орон сууцны агаарын радон" судалгааны үр дүнд модон байшинд 15-28 бк/м³, бетон байшинд 30-135 бк/м³ гэсэн үр дүнтэй барилгын материалын төрлөөр ойролцоо хэдий ч хэмжилтийн утга ижил биш байна [10].

Бидний судалгааны үр дүнд айл өрхийн дотоод орчны радоны дундаж агууламж 173.2 ± 139.6 бк/м³ хамгийн их нь 596 бк/м³, хамгийн бага нь 26 бк/м³ байгаа нь Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м³)-оос бага буюу аюулгүй түвшинд байгаа боловч зарим айл өрхөд хэмжигдсэн хамгийн их утга нь энэ босгыг давсан нь АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлагаас

тогтоосон 148 бк/м^3 түвшинтэй таарахгүй байна [11].

Судалгаанд хамрагдсан айл өрхийн дотоод орчны чийглэг дунджаар 29% байсан ба орон байрны дотоод орчны агаарын радоны агууламж нь чийглэгээс шууд дунд зэргийн хамааралтай ($p=0.001$, $r=0.513$) байгаа нь, Spasic D., Gulan L. (2022)-ийн судалгаа үр дүн нь дотоод орчны чийгшил ба радоны агууламжийн хооронд дунд зэргийн эерэг хамаарал ($r=0.5-0.6$) гэсэн үр дүнтэй ижил байна.

Мөн бидний судалгаанд орон байрны дотоод орчны агаарын радоны агууламж нь гадаад орчны температураас урвуу дунд зэргийн хамааралтай ($p=0.003$, $r=-346$) байгаа нь, Spasic D., Gulan L. (2022)-ийн судалгаа үр дүнд дотоод орчны радоны агууламж нь дотоод орчны температуртай дунд зэргийн хамааралтай гэсэн үр дүнтэй тохирохгүй байна [12].

Бидний судалгааны үр дүнд айл өрхийн дотоод орчны радоны дундаж агууламж $173.2 \pm 139.6 \text{ бк/м}^3$ хамгийн их нь 596 бк/м^3 , хамгийн бага нь 26 бк/м^3 байгааг нь Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м^3)-оос бага буюу аюулгүй түвшинд байгаа нь Д.Ганцэцэг, Л.Нямсүрэн нарын 2025 оны “Сонгинохайрхан дүүргийн 31 дүгээр хорооны өрхийн дотоод орчны агаарын радон болон бичил цаг уурын зарим үзүүлэлтийг үнэлэх” судалгааны үр дүнд айл өрхийн дотоод орчны радоны дундаж агууламж $127.3 \pm 80.8 \text{ бк/м}^3$ хамгийн их нь 386 бк/м^3 , хамгийн бага нь 23 бк/м^3 . Мөн нийт айл өрхийн дотоод орчны радоны дундаж агууламж $127.3 \pm 80.8 \text{ бк/м}^3$ байгаа нь Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м^3)-оос бага буюу аюулгүй түвшинд гэсэн үр дүнтэй тохирч байна [13].

Бидний судалгаанд орон байрны дотоод орчны агаарын радоны агууламж нь гадаад орчны температураас урвуу дунд зэргийн хамааралтай ($p=0.003$, $r=-346$) байгаа нь Chung болон болон хамтран судлаачдын (2020) судалгаанд дотоод орчны температурыг 10°C ээс 30°C болтол нэмэхэд радоны концентраци 68.3 бк/м^3 -

ээс 45.1 бк/м^3 болтол буурсан ($r=-0.53$, $p=0.001$) гэсэн үр дүнтэй ижил байна [14].

Бидний судалгаанд хамрагдсан нийт өрхийн дотоод орчны агаарын дундаж температур $23 \pm 2.5^\circ\text{C}$ ($\text{min}=16$, $\text{max}=29$) мөн харьцангуй чийглэгийн дундаж 29 ± 10.5 хувь ($\text{min}=12$, $\text{max}=62$) байгаа нь Lee et al. (2016) судалгааны үр дүн нь дотоод орчны дундаж температур $19.6 \pm 4.6^\circ\text{C}$, харьцангуй чийгшил 21.4 ± 5.2 хувь гэсэн үр дүнтэй тохирохгүй байна [15].

Бидний судалгааны үр дүнгээс харахад өрхийн дотоод орчны агаар дахь радоны агууламжийг Цацрагийн аюулгүйн норм (200 бк/м^3)-той харьцуулан үнэлэхэд 69 хувь (49) нь зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс доогуур, харин 31 хувь (22) нь уг хязгаараас давсан үзүүлэлттэй байгаа нь Канадын хэмжээнд хийгдсэн үндэсний судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад тус судалгаагаар нийт айл өрхийн зөвхөн 6.9 хувь нь 200 бк/м^3 ба түүнээс дээш радоны агууламжтай байсан бөгөөд улсын хэмжээнд эрсдэл дунджаар харьцангуй бага гэсэн үр дүнтэй таарахгүй байна [16].

Дүгнэлт:

1. Өрхийн дотоод орчны агаар дахь радоны агууламжийг судлахад байшин сууцанд амьдарч буй айл өрхийн хувьд эрүүл ахуйн нормоос давсан тохиолдол илэрч байна. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд гэр хорооллын айл өрхийн дотоод орчны агаар дахь радоны агууламж нь орчны температур болон дотоод орчны чийгшлийн түвшинтэй тодорхой хамааралтай байна.
2. Радоны агууламж нь орон байрны хийц, барилгын материал, зуухны төрөл зэрэг хүчин зүйлсээс шалтгаалан харилцан адилгүй байгааг тогтоов. Судалгаанд хамрагдсан орон сууцны төрлүүдийн дундаас тоосгон болон бетон хийцтэй барилга байгууламжид радоны агууламж харьцангуй өндөр, харин уламжлалт монгол гэрт хамгийн бага түвшинд байна.

Талархал

Судалгааг хэрэгжүүлэхэд дэмжлэг үзүүлсэн “Ач” Анагаах ухааны их сургууль, Нийгмийн эрүүл мэндийн тэнхимийн эрдэмтэн багш нартаа чин сэтгэлийн талархал илэрхийлье.

Ном зүй

1. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective. World Health Organization; Geneva, Switzerland. 2009
2. “Impacts of indoor radon on health: A Comprehensive review”. International journal of environmental research and public health. 2022.
3. Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллага, 2023
4. WHO. Household Air Pollution and Health. 2024
5. Уранчимэг Б. Улаанбаатар хотын зарим сургууль, цэцэрлэгийн байрны агаар дахь радоны судалгаа. 2015
6. WHO. Public health and environment statistics
7. Монгол улсын MNS7106:2026 "Дотор орчны агаарын чанар, Техникийн шаардлага" үндэсний стандарт.
8. Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., et al. (2005). Radon in homes and risk of lung cancer: Collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ, 330(7485), 223.
9. Stanley FKT, Zarezadeh S, Dumais CD, et al. Comprehensive survey of household radon gas levels and risk factors in Southern Alberta. CMAJ Open. 2017
10. Эрдэв Б., Мөнхцэцэг Б. Орон сууцны агаарын радон. МУИС. Эрдэм шинжилгээний бичиг №179 (10) 2003
11. АНУ-ын Байгаль орчныг хамгаалах агентлаг. (2022). Health Risk of Radon.
12. Spasic D., Gulan L. (2022). Indoor radon and meteorological parameters. Atmosphere, 13(12), 2120.
13. ГанцэцэгД., НямсүрэнЛ. Сонгинохайрхан дүүргийн 31 дүгээр хорооны өрхийн дотоод орчны агаарын радон болон бичил цаг уурын зарим үзүүлэлтийг үнэлэх. 2025
14. Chung JW, Hyon TI, Kim GS. Effect of temperature and humidity on indoor radon concentration. 2020
15. Lee B, Chimeddulam D, Jargalsaikhan K, Lee K. Indoor air pollution in ger, a traditional type of residence in Mongolia. J Environ Health Sci. 2016
16. Health Canada. Cross-Canada survey of radon concentrations in homes: final report. Ottawa: Health Canada. 2012

*Танилцаж, нийтлэх санал өгсөн:
Анагаах ухааны доктор А.Энхжаргал*