

Хүрээлэн буй орчны цацрагийн судалгаа

Ж.Мөнхсайхан*, П.Зузаан, Н.Норов, Д.Шагжжамба, Н.Отгонпүрэв, Л.Одонцацрал

Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн физикийн судалгааны төв

ЦФСТ-ийн эрдэмтэн судлаачид хүрээлэн буй орчны цацрагийн судалгаагаар Монгол орны баруун, төв, говийн бүс, Улаанбаатар, Дархан, Эрдэнэт зэрэг томоохон хотууд болон ураны уурхай, нүүрсний ордууд байрлах бүс нутгийн хөрс, усны цацраг идэвхийг тодорхойлох судалгааг гүйцэтгэн, арга зүй боловсруулсан. Эдгээр судалгааны үр дүнгүүд нь Монгол орны цацрагийн дэвсгэр түвшинг тогтоож, цацрагийн мониторинг буй болгох чухал ач холбогдолтой юм.

Мөн агаарын бохирдол, радон тодорхойлох судалгаа, гадаад шарлагын тунг үнэлэх, зарим төрлийн хүнсний бүтээгдэхүүн, барилгын материалын түүхий эдэд цацраг идэвхийг тодорхойлсон тухай энэхүү өгүүлэлд тоймлон хүргэж байна.

Түлхүүр үг: Цацраг идэвх, хүрээлэн буй орчны цацрагийн судалгаа, гамма спектрометр

I. Оршил

Цөмийн шинжилгээний лаборатори 1965 онд байгуулагдсан цагаас эхлэн цөмийн физикийн суурь болон хавсрага судалгааг Монгол улсад хөгжүүлэн, нийгэм эдийн засгийн олон салбарт нэвтрүүлэн хэрэглэж иржээ.

Байгалийн цацрагийн гол үүсгүүрээс хүн амын авах шарлагыг судлах асуудалд дэлхий нийт ихээхэн анхаарах болжээ. Хүн амын шарлагын тунгийн дийлэнх хувийг байгалийн гаралтай цацрагийн үүсгүүрээс өгөх тун эзлэх бөгөөд шарлагын тунгийн хэмжээ нь газар нутгийн байршлын өндөр нам, газар зүйн өргөрөг, уртраг, хөрсөнд агуулагдах байгалийн цацраг идэвхт элементийн хэмжээнээс хамаарахын зэрэгцээ хүн амын амьдран суух орон сууц, ажлын байр, тэдгээрийг барьсан материал зэргээс хамаарна. Нөгөө талаас Монгол улс нь ОХУ, БНХАУ, Казахстан улсын цөмийн туршилтын талбайд ойрхон байдаг тул цацрагийн хяналт хийх зайлшгүй шаардлагатай. Цөмийн туршилтаас үүсэх цацраг идэвхт тунадас хойт өргөрөгийн 45 градуст хамгийн их тархдагийг тогтоосон байдаг. Энэ мужид манай орны газар нутаг бүхлээрээ багтдаг. Цөмийн туршилт хийх, атомын цахилгаан станцад гарсан ослын улмаас хүрээлэн буй орчин бохирдох, тэгснээрээ амьд амьтан, хүний эрүүл мэндэд хортой нөлөө үзүүлэх бодит аюул бий болсон. Иймээс цацрагийн түвшинг тогтоох, үнэлэх

болон хамгаалалтын найдвартай арга хэмжээг хэрэгжүүлэхэд орчны цацраг идэвхт элементийг тодорхойлох зайлшгүй шаардлагатай.

Манай улсад 1960-аад оны эхээр хийгдсэн Д.Батсуурь, Б.Далхсүрэн, О.Отгонсүрэн нарын Агаарын цацраг идэвхийг хэмжих [1], Х.Сиражет, Д.Түвдэндорж, Б.Чадраа нарын Улаанбаатар орчны хөрсний цацраг идэвхийг тодорхойлох [2] зэрэг ажлууд нь хүрээлэн байгаа орчны цацраг идэвхийн судалгааны эхлэл байжээ. 1970-1972 онд ЦШНИ ба МУИС-ийн хамтын ажиллагааны гэрээний дагуу бета болон гамма спектрометрүүдийг ЦШЛ-д шилжүүлэн авчирснаар хүрээлэн буй орчны судалгаа хийгдэх лабораторийн суурь баазыг нэмэгдүүлсэн [3]. Ийнхүү манай үе үеийн эрдэмтэн судлаачид Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлагийн техникийн хамтын ажиллагааны төсөл болон Цөмийн Шинжилгээний Нэгдсэн Институттэй хамтын ажиллагааны хүрээнд багаж тоног төхөөрөмжийн хүчин чадлыг жилээс жилд сайжруулан хүрээлэн буй орчны бохирдол, цацрагийн мониторингийн судалгааг өндөр түвшинд гүйцэтгэж иржээ.

Атом, цөмийн физикийн аргаар геологи, эрдэс түүхий эд, биологи, хүрээлэн буй (хөрс, агаар, ус) орчны болон хүнсний бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт элемент тодорхойлох арга зүй боловсруулан хэрэглэх судалгааны ажлын хүрээнд "Агаар дахь радоны хэмжээг

* j.munkhsaikhan@num.edu.mn

тодорхойлох", "Хүдрийн U, Th болон Ra/U харьцаа тодорхойлох гамма спектрометрийн арга", "Малын гаралтай хүнсний мах, сүүн бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт элемент тодорхойлох гамма спектрометрийн арга", "Барилгын материал, хөрс, уулын чулуулагт цацраг идэвхт элемент тодорхойлох гамма спектрометрийн арга", "Үр тариа, хүнсний ногоо, жимс, жимсгэнэд цацраг идэвхт элемент тодорхойлох гамма спектрометрийн арга", "Гамма квантын шингээлтээр гурилын илчлэгийг тодорхойлох", "Гамма квантын шингээлтээр үр тарианы (буудайн) нойтон цавуулгийг шуурхай үнэлэх", "Туузан дамжуургаар өнгөрч буй нүүрсний чийгийг ^{137}Cs цацраг идэвхт үүсгүүр хэрэглэн тодорхойлох" зэрэг арваад арга боловсруулж 4 аргыг Монгол улсын стандарт загвараар баталгаажуулсан байна [4-8].

ЦФСТ-ийн эрдэмтэн судлаачдын боловсруулсан арга зүйгээ ашиглан цацраг идэвхийн шинжилгээг төрөл бүрийн дээжид хийж гүйцэтгэсэн судалгааны ажлын зарим үр дүнгээс товч дурдъя.

II. Хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа

Хөрсний дээжинд байгалийн цацраг идэвхт уран, тори, кали зэрэг элементүүдийг гамма спектрометрийн аргаар тодорхойлох судалгаа явуулж, уг аргын хэрэглэгдэх хүрээг тогтоож, аргазүйг боловсронгуй болгосон байна.

Улаанбаатар хотын 22-ын товчооноос Баянзүрхийн гүүр, Дамбадаржаагаас Зайсангийн ар хүртэл авто замын дагуу, мөн Баянзүрх дүүргийн тодорхой олон газруудаас хөрсний дээж авч цацраг идэвхт болон хорт, хүнд металл, макро, микро элемент тодорхойлох судалгааг цөмийн физикийн аргаар гүйцэтгэжээ [9]. Авто замын дагуу болон зарим тодорхой цэгүүдэд цацраг идэвх болон Вг, Pb зэрэг хортой элементийн хэмжээ бусад цэгүүдийн дунджаас харьцангуй их байгааг тогтоосон нь Улаанбаатар хотын хөрс авто машины болон дулааны цахилгаан станцын утаа тортогийн нөлөөгөөр бохирдсон байж болохыг харуулжээ.

Баруун болон төвийн бүс нутгийн, тухайлбал Ховд, Увс, Баян-Өлгий, Баянхонгор, Хөвсгөл, Төв аймгийн олон сумнаас хөрсний дээж авч, гамма спектрометрийн аргаар

байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхийг тодорхойлох судалгааг явуулж ^{232}Th , ^{238}U , ^{40}K , ^{137}Cs -ийн цацраг идэвхийн хэмжээг тодорхойлсон байна [10-16]. Жишээлбэл, Увс аймгийн Улаангом хотын хөрсний дээж дэх байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт элементийн агуулгыг анх удаа тодорхойлон бөгөөд Улаангом хотын хөрсөн дэх байгалийн цацраг идэвхт элементийн агуулга манай орны ихэнх нутаг ба дэлхийн дундажтай ойролцоо, харин Ховд хотынх дэлхийн дундажаас 1.5-1.8 дахин их гарсан байна.

Баян-өлгий аймгийн төв, Улаанхус, Цэнгэл, Сагсай, Ногоон нуур зэрэг сумын, Говь-алтай аймгийн Бугат, Жаргалан, Халиун, Чандмана сумын, Увс аймгийн Бөхмөрөн, Тариалан, Сагил сумын хөрсөнд үүсмэл цацраг идэвхт элемент ^{137}Cs ажиглагдсан бөгөөд хамгийн их агууламжтай нь Бугат сум байжээ. Ховд аймгийн Булган, Дарви, Эрдэнэбүрэн, Буянт, Ховд сумын нутгийн хөрсөнд ^{137}Cs -ийн хэмжээ $14.7 \div 64.8$ Бк/кг гарсан байна. Баруун бүс нутгийн (Баян-Өлгий, Увс аймгийн) болон Дархан орчмын хөрсний байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт элементийн хувийн идэвх ^{238}U хувьд ($33.2 \div 38.3$ Бк/кг), ^{232}Th -ийн хувьд ($56 \div 83$ Бк/кг), ^{40}K -ынх ($346 \div 571$ Бк/кг) ^{137}Cs -ынх ($11.8 \div 40.1$ Бк/кг), Th/U харьцаа ($1.7 \div 2.6$) өөрчлөгдөж байгааг тогтоосон нь байгалийн цацраг идэвхт элементийн хувьд дэлхийн дундажийн хэмжээнд байсан ба харин судалгаанд хамрагдсан Баян-Өлгий, Увс аймгуудын 16 сумаас 9 сумын нутагт, үүнээс Баян-Өлгий аймгийн бараг бүх сумдад, Хөвсгөл аймгийн 12 (^{137}Cs хувийн идэвх $9.0 \div 51.5$ Бк/кг), Ховд, Говь-Алтай аймгийн зарим сумын нутагт техноген гаралтай ^{137}Cs илэрсэн байна. Хөвсгөл аймгийн хөрсөн дэх цезийн хуримтлал хойт өргөрөгийн 50° ба уртрагийн 100° өнцгүүдэд илүү хуримтлагдсан болохыг тогтоосон байна. Энэ нь хөрш зэргэлдээ цөмийн зэвсэгтэй улсуудыг гадаад орчинд цөмийн туршилт үйлдсэний шууд илрэл мөн. Th/U харьцаа ($1.36 \div 2.04$), дундаж нь 1.79, Th/K харьцаа ($10.6 \div 28.5$) $\cdot 10^{-4}$, дундаж 20.4, U/K харьцаа ($1.7 \div 5.2$) $\cdot 10^{-4}$ хэмжээтэй дундаж нь 3.8 байгааг тодорхойлсон бөгөөд эдгээр харьцааны утга харьцангуй өндөр гарч байгаа нь хөрсөнд агуулагдах торийн агууламж өндөр байгаатай

холбоотой бөгөөд эрдэс баялгийн судалгаанд суурь мэдээ болно.

Манай улсын хүн амын цацрагийн ачааллыг судлах хүрээнд “Монгол улсын нутаг дэвсгэр дэх Тритийн уналт”-ыг судлах Монгол улсын Засгийн газар ба ОУАЭА-аас 1991 оны 6-р сард зохион байгуулсан экспедицэд Цөмийн судалгааны төв оролцсон нь манай улсын нутаг дэвсгэрийн үүсмэл цацраг идэвхт бохирдлын судалгаанд чухал ач холбогдолтой болсон юм. Ховд, Баян-Өлгий аймгийн заагт орших Цамбагарав уулын мөнх цасны өнгөрсөн зууны 60-аад оноос хойших 23 жилийн дээж дэх тритийн хэмжээг тодорхойлсноор атомын бөмбөгийн туршилтаас хойш манай нутаг дэвсгэрт унасан цацраг идэвхит бохирдлын түвшнийг сэргээн тогтооход өндөр уулын мөнх цас маш чухал архив болох нь харагдсан [17].

III. Уул уурхай, нүүрсний орд орчмын цацраг идэвхийн судалгаа

Улаанбаатар, Эрдэнэт зэрэг монголын томоохон хотууд болон зарим уурхайн орд газруудын агаар, хөрс, ус, ургамлын бохирдлыг судалсан үр дүнгээс харахад бохирдол нь дэлхийн дундаж кларк болон Монгол улсын зөвшөөрөгдөх хязгаар, олон жилийн өмнөх хийсэн судалгааны дүнгээс 2-20 дахин нэмэгдсэн байгааг тогтоосон бөгөөд дээрх төвлөрсөн газрууд, уурхайнуудын ойролцоох гол мөрнүүдийн ус гуравдугаар зэргийн буюу маш их бохирдолтой болохыг тодорхойлжээ [18-22]. Зүүн бүс нутгийн, тухайлбал Дорнодын Адуунчулуу, Сүхбаатарын Бумбатын хүрэн нүүрсний уран, радийн цацраг идэвхийн тэнцвэр алдагдсныг, Чойбалсан хот орчмын агаар дахь радоны дундаж агуулга 25 Бк/м^3 , хөрсөн дэх ураны дундаж агуулга 2.1 г/т , торин 8 г/т , кали- 2.7% байгааг тус тус тогтоосноос гадна Тавантолгой, Алагтолгой, Багануур, Шивээ-Овоо, Сайхан-Овоо, Тэвшийн говь, Өвөрчулуут гэсэн 7 томоохон ордын нүүрсэнд агуулагдах байгалийн цацраг идэвхт элементийн агууламжийг нарийвчлан тодорхойлох хамтарсан судалгааг гүйцэтгэжээ. Дорнод монголын хүрэн нүүрсний зарим орд газрын нүүрс нь уранаар баяжсан болохыг судалж тогтоосон бөгөөд эдгээр орд газрын нүүрс уранаар баяжих процессын зүй тогтол, нүүрсэн

дэх ураны тархалтанд үнэлгээ өгөхөд чухал юм. [23-29].

Эдгээр судалгааны үр дүнгээс Адуунчулууны орд газрын нүүрсэн дэх ураны хэмжээ $0.1-1000 \text{ г/т}$ хүртэл хэлбэлзэж дундаж агуулга нь 3 г/т байхад Багануурын нүүрсэн дэх ураны агуулга $0.2-158 \text{ г/т}$ хүртэл хэлбэлзэж байгаа бөгөөд түүний дундаж агуулга 2.5 г/т байна. Харин 4-р цахилгаан станцад шатааж байгаа Багануурын нүүрсэн дэх ураны дундаж агуулга 17 г/т бөгөөд түүний шаталтын бүтээгдэхүүн үнсэн дэх дундаж агуулга 75 г/т болж 5 дахин баяждаг байна. Түүнчлэн Хөвсгөлийн фосфоритийн болон Багануур, Хөөт, Тавантолгой Цайдамнуур нүүрсний уурхайнуудаас сорьцолж авсан байгалийн гаралтай дээжүүдэд ^{238}U -г тодорхойлсон шинжилгээний дүн бусад лабораторийн дүнтэй тохирч байсан ба Хөвсгөл аймгийн Онгилог нуур, Жанхайн даваа, Хэсэнгийн хяр фосфоритын орд газруудаас сонгож авсан хүдрийн дээжүүдэд уран-торийн тэнцвэр алдагдсан болохыг тогтоосон байна.

Улаанбаатар, Чойбалсан зэрэг томоохон хотын дулааны цахилгаан станцуудад шатааж байгаа нүүрсний уурхайнуудын цацраг идэвхийг нарийвчлан судалж Багануур, Адуунчулууны уурхайн нүүрсийг шатаадаг станцуудын үнсийг орон сууц, нийтийн орон сууцны барилгад ашиглаж болохгүй гэсэн зөвлөмж гаргажээ [30].

IV. Монголын ураны зарим орд газруудын цацрагийн дэвсгэр түвшний судалгаа

Ураны хайгуул болон цацраг идэвхт ашигт малтмал ашиглахтай холбоотойгоор ураны хүдэр дэх уран, торийг тодорхойлох арга зүй боловсруулан тухайн орон нутаг болон орд газар орчмын цацрагийн дэвсгэр түвшний судалгааг гүйцэтгэсэн нь цацрагийн хяналт бий болгох чухал ач холбогдолтой [31-36]. Манай орны ураны ордуудын хүдэр дэх ураны агуулалт $0.05-0.2\%$ байгаа нь бага буюу дунд зэргийн ангилалд хамаарагдана. Ураны уурхайн ажлын байрны гадаад шарлагын хэмжээ хүдэр дэх ураны агуулалтаас хамаарах учраас уурхай дахь гамма цацрагаар үүсэх цацрагийн тунгийн чадлыг хянах шаардлагатай.

Ураны уурхайн цацрагийн аюулгүй байдлын үнэлгээ хийх арга зүйг Гурванбулаг

ураны далд уурхайн хувьд авч үзсэн [37]. Гурванбулаг ураны далд уурхайн хүдэр дэх ураны агуулалт $\sim 0.2\%$ байгаа нь ~ 10 мкЗв/цаг тунгийн чадалтай тэнцүү юм. 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 бөгөөд эдгээр нь хүний амьсгалаар орж, дотоод шарлага үүсгэдэг.

Мөн Дорнод аймгийн Баяндун, Дашбалбар, Сэргэлэн сумын уулзвар цэгт орших Гурванбулаг ураны далд уурхайн агааржуулалтаар гадаад орчинд хаягдах цацраг идэвхт хий радоны агаар мандал дахь тархалтыг судалсан [38]. Дорнод аймгийн Дашбалбар сумын нутагт орших “Эрдэс” үйлдвэр (Мардай дахь ураны ил уурхай)-ийн орчимд хөрс, ус, агаарын цацрагийн хэмжилтээр үйлдвэр байгуулагдсанаас хойш түүний орчинд цацрагийн түвшинд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт гараагүй болох нь тогтоогдсон [39]. Суурь судалгааны сэдэвт ажлын хүрээнд Архангай аймгийн Өндөр-Улаан сум ба Дорноговь аймгийн Зүүнбаян сумын нутагт орших ураны хайгуулын талбайн цацрагийн дэвсгэр түвшний судалгааг гүйцэтгэсэн бөгөөд судалгаагаар Дорноговь аймгийн Зүүнбаян сумын нутагт орших хайгуулын талбайн хөрсний 23, усны 6 дээж, Архангай аймгийн Өндөр-Улаан сумын нутагт орших талбайн хөрсний 193, усны 23 дээжинд гамма спектрометрээр шинжилгээ хийж, уран, тори, калийн агууламж, шингэсэн тунгийн чадал ба радиометр ашиглан агаар дахь радоны хэмжээг тогтоох болон дозиметрийн багажаар гадаад шарлагын тунгийн чадлыг хэмжин эффектив эквивалент тунг олох ажлуудыг гүйцэтгэсэн. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд Зүүнбаян сумын хөрсний дээжинд ураны дундаж агууламж 2.0 г/т, торийн дундаж агууламж 6.4 г/т байгаа нь хөрсөн дэх уран, тори, калийн дэлхийн дундажтай ойролцоо, харин калийн дундаж агууламж 2.7 % байгаа нь дэлхийн дунджаас 1.9 дахин их ба Өндөр-Улаан сумын хөрсний дээж дэх ураны дундаж агууламж 4.0 г/т, торийн дундаж агууламж 11.0 г/т, калийн дундаж агууламж 2.1% байгаа нь хөрсөн дэх уран, тори, калийн хэмжээ дэлхийн дунджаас 1.9, 2.0, 1.7 дахин тус тус их гарсан.

Эдгээр байгалийн цацраг идэвхт элементийн гамма цацрагаас хүний амьсгалах өндөрт үүсгэх цацрагийн шингэсэн тунгийн чадлын дундаж Зүүнбаян суманд 63 нГр/цаг, Өндөр-Улаан суманд 76.1 нГр/цаг болох юм. Харин үүсмэл цацраг идэвхт ^{137}Cs изотоп Зүүнбаян сумын хөрсний дээжинд дунджаар 2.1 Бк/кг буюу дэлхийн дунджаас 13 дахин бага, Өндөр-Улаан сумын хөрсний дээжинд дунджаар 22 Бк/кг байгаа нь дэлхийн дундажтай ойролцоо байгааг харуулах буюу хоёр талбайн зарим дээжинд ^{137}Cs изотоп илрээгүй ба дэлхийн дунджаас бага байгаа нь тухайн газар нутгийг Дан хөрс эвдрэлд орсныг харуулж байна. Харин Зүүнбаян сумын хайгуулын талбайн газар доорх усны дээжинд ^{222}Rn -ийн эзэлхүүний идэвхийн хамгийн их хэмжээ 53 Бк/л байгаа нь (MNS 900:2005) улсын стандартын зөвшөөрөгдөх хэмжээ (100 Бк/л)–ээс ойролцоогоор 2 дахин бага, Өндөр-Улаан сумын хайгуулын талбайд орших Шаргачингийн голын эхээс авсан дээжийн радон (^{222}Rn)-ы эзэлхүүний идэвх 129 Бк/л, дунд болон адгаас авсан дээжинд 9.0 Бк/л байв. Номгон, Чулуут, Дааган голын дээжүүдийн хувьд ундны усан дахь зөвшөөрөгдөх хэмжээ (100 Бк/л)–ээс бага байна. Агаар дахь радоны хувьд Зүүнбаян сумын хайгуулын ангийн ажил, амралтын байранд хамгийн ихдээ 22.4 Бк/м³, Өндөр-Улаан сумын хээрийн ангийн ажил, амралтын байранд 35.0 Бк/м³–ээс хэтрэхгүй байгаа нь цацрагийн аюулгүй байдлыг хангаж байгаа бөгөөд тус сумын халуун усны өрөөнд 167 Бк/м³ хүрч байгаа нь цооногийн усан дахь радоны хэмжээ их байгаатай холбоотой байж болох юм. Оршин суугчдын жилд авах эффектив эквивалент тун хайгуулын талбай орчим 549 мкЗв гэж гарсан нь дэлхийн дунджаас 1.2 дахин их, харин Зүүнбаян сумын хувьд 416 мкЗв байгаа нь дэлхийн дундаж 478 мкЗв –тай ойролцоо гарчээ.

V. Агаарын тоосонцрын цацрагийн судалгаа

МУИС-ийн ЦФСТ-д агаарын тоосонцрын судалгаа 1980-аад оны дунд үеэс эхэлсэн хэдий ч тогтмол, системтэй хийгдэж байсангүй, харин 2000 оноос уг судалгааны ажил эрчимжиж, системтэйгээр хийгдэх болсон.

Сүүлийн үед олон улсын практикт Дэлхийн Эрүүл Мэндийн Байгууллагын (ДЭМБ) санал

болгосноор агаарын чанарыг үнэлэхдээ зөвхөн хийн эмиссийг тодорхойлох нь дутагдалтай хэмээн үзэж PM2.5 болон PM10 хатуу бөөмсийн агуулгыг оруулан үнэлэх болсон байна [40].

МУИС-ийн ЦФСТ агаарын тоосонцрыг PM2.5, PM10-2.5 фракцаар ялган цуглуулж тодорхойлох судалгааг 2004 оноос хийх болсон. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын мониторингийн үнэлгээнд чухлаар тавигдаж буй агаарын тоосонцрыг PM2.5, PM10-2.5 фракцаар ялган цуглуулж түүний элементийн найрлагыг нарийвчлан тодорхойлсноор агаарын бохирдлын эх үүсгүүр, түүний бохирдолд оруулж буй хувь хэмжээг тодорхойлж, агаарын тоосонцрын судалгааны талаарх мэдээллийн сан бий болгох зорилготой юм. Ийнхүү агаарын бохирдлын үүсгүүрүүдийн үүсгэсэн бохирдлын бүрэлдэхүүнийг тогтоосноор цаашид мониторингийн чанар сайжирч, хүн амын эрүүл мэндэд бохирдлоос үзүүлэх нөлөөг тогтоож түүний дагуу авах арга хэмжээг тодорхой, үр дүнтэй зохион байгуулах зэрэг ач холбогдолтой.

МУИС-ийн ЦФСТ-д хийгдэж буй агаарын бохирдлын судалгааны дүнгээс харахад Улаанбаатар хотын агаар дахь бөөмлөг хэсгийн фракцуудад хөрснөөс үүсэлтэй хэсгийн эзлэх хувь хамгийн их 50-66% байгаа нь хотын агаарын бохирдлын гол үүсгүүр нь хөрсний эвдрэл болохыг харуулж байна. Мөн Улаанбаатар хотын хоёр цэгт хийсэн судалгаагаар тоосонцорын жилийн дундаж агуулга манай улсын стандарт нормоос нарийн тоосонцор PM2.5 3-5 дахин, нийт тоосонцор PM10 4-6 дахин их хэмжээтэй гарсан байна. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын голлох үүсгүүр нь нүүрс, модны шаталтаас гарах утаа, хөрснөөс босох тоос байгаа бөгөөд PM2.5 бохирдлын 90-93%-ийг бүрдүүлж байна. Хот доторх өөр өөр байрлалд хийсэн судалгааны дүнгээс үзвэл: PM2.5 тоосонцорын агуулга өвлийн улиралд, ялангуяа 12, 1 саруудад маш их байгаа бөгөөд зарим өдрүүдэд Баянхошуунд-1536 мкг/м³, Зуун айлд-1291 мкг/м³, 6 буудалд-859 мкг/м³ бүртгэгдсэн, харин хотын төвийн хяналтын цэг (станц) бага хэмжээтэй байгаа юм. Жилийн дундаж агуулга нь бүх хэмжилтийн цэгүүдэд агаарын чанарын стандартаас 2-25 дахин их үзүүлэлттэй гарч байв. Нарийн ширхэгт PM2.5 тоосонцрууд голдуу нүүрсний

болон модны шаталтаас үүсч байгаа бөгөөд гэр хороололд ойр байрлах хэмжилтийн цэгүүдэд бохирдлын хэмжээ маш өндөр үзүүлэлттэй гарсан.

PM10 тоосонцор буюу хотын агаар дахь нийт тоосонцрын агуулга өвлийн улиралд маш өндөр (ялангуяа 1 сард) байгаа бөгөөд зуун айлын хэмжилтийн цэгт 1850 мкг/м³ хүртэл хэмжээтэй, үүний жилийн дундаж агуулга ЦФСТ- 253 мкг/м³, Зуун айл- 558 мкг/м³, 3-р хороолол- 355 мкг/м³ гарсан ба нүүрс, модны шаталтаас гарах утаа, хөрснөөс босох тоос, замын тоос зэрэг нь бохирдлын гол эх үүсгүүрүүд бөгөөд гэр хороололын PM бохирдлын 75÷95% -ийг бүрдүүлж байна.

Хотын агаарын бохирдлын хугацааны анализаас үзэхэд бохирдлын өндөр агуулга нь зуухны өглөөний галлагаатай холбоотой 7.15÷11.15 цаг болон дахин галлах 18.15÷20.15 цагуудтай давхцан нэмэгдэж байна. Агаарын бохирдлын 50 орчим хувь нь зуухыг галлаж эхлэх үед буюу өглөөний 8.30÷9.30, үдшийн 18.30÷19.30 болон дахин галлах 20.30÷21.30 цагуудад гарч байсан байна [41-43].

Хүрээлэн байгаа орчны агаарын бохирдолтыг үнэлэх, байнгын хяналт хийх боловсронгуй шинжилгээний аргазүй сонгох талаар дэлхийн олон оронд сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй судалгаа явуулсны дүнд хөвд, хаг нь хүнд металл, цацраг идэвхт хог хаягдлаас үүдэлтэй агаарын бохирдлын хамгийн сайн биологийн индикатор болох нь тогтоогдоод байна.

Улаанбаатар хотын эргэн тойрноос өөрөөр хэлбэл урд, хойт, баруун, зүүн талаас модны хаг, хөрсний хөвдний тус бүр хоёр төрөл зүйлийн 60 гаруй дээжийг сонгосон талбайгаас цуглуулж, ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K болон ¹³⁷Cs цацраг идэвхийг гамма спектрометрийн аргаар тодорхойлсон дүнг [44, 45] ажилд авч үзжээ.

Xanthoparmelia camtschadalis хаг нь ¹³⁷Cs-ийн хамгийн өндөр идэвхийг харуулсан (18.9±2.1 Бк/кг) учир бүх хөвд хагнаас илүү радионуклид хадгалах чадвартай гэж дүгнэх боломжгүй. Харин Rhytidium rugosum хөвд нь ¹³⁷Cs-ийн хамгийн өндөр идэвхийг харуулсан (11.7 ± 3.3 Бк/кг). Судалгаанд хамрагдсан дээж дэх байгалийн ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th цацраг идэвхт түвшин бусад орны байгалийн цацрагийн

түвшингээс бага буюу ижил түвшинд гарсан байна.

VI. Ус болон агаар дахь радон тодорхойлох судалгаа

ЦФСТ-д агаарын радон судлах ажил 1980 оны сүүлчээс хийгдэж эхэлсэн түүхтэй. Радон ба түүний богино наст бүтээгдэхүүний биологи эффект их учраас тэдгээрийг тодорхойлох нь чухал ач холбогдолтой.

Гадаргуу орчмын агаарын цацраг идэвхийн өөрчлөлт нь салхины үйлчлэлээр хөрснөөс үүссэн тоос, хүнд цөмүүдийн хийн хэлбэрт задралын бүтээгдэхүүн байх эсэхээс үл хамааран тухайн газар нутгийн цаг уурын байдал, уур амьсгал, геохими болон бусад хүчин зүйлүүдээс хамаардаг. Агаарын радоныг түүний богино наст ^{218}Po изотопоор тодорхойлох аргаар Улаанбаатар хотын задгай болон байрны доторх агаарт радоны хэмжээг тодорхойлсон судалгааны үр дүнгээс байрны доторх агаарт радоны хэмжээ гаднах агаарынхаас тогтмол их гарсан бөгөөд өдөрт шөнийхөөс их байгаа зэрэг нь агаарын тогтвортой байдалтай холбоотой юм. Мөн радон тодорхойлох судалгааг монгол гэр, модон байшин, тоосгон, бетонон байшин сонгон хийж, харьцуулсан үр дүнг гаргасан байна. Жилд радоноос авах тунгийн хэмжээг хянан судлах, зөвшөөрөгдөх хэмжээнд байлгах нь хүний эрүүл мэндэд чухал ач холбогдолтой. Тиймээс агаарын радоноос хүний жилд авах тунг сцинтилляцийн аргаар тодорхойлж, үр дүнгээ бусад улсын үр дүнтэй харьцуулсан судалгааг гүйцэтгэжээ [46-50].

Усан дахь радоныг тодорхойлох шингэн сцинтилляцийн арга боловсруулж Улаанбаатар хотын төвлөрсөн ус хангамжийн системийн усанд Rn^{222} -ын хувийн идэвх болон хотын агаар дахь радоны хэмжээг тодорхойлон тогтоож, дэлхийн бусад орнуудын үзүүлэлтэй харьцуулан үзүүлснээс гадна бетон, тоосго, модон байшин болон монгол гэрт радон тодорхойлох хэмжилтийг хийж, радоны хэмжээ бетонон байшинд бусдаас их боловч зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээнээс бага байгааг тогтоожээ. Мөн цацраг идэвхт радон Халзан уулын рашааны дээд цооногт 159 Бк/л, дунд цооногт 261 Бк/кл, доод цооногт 78 Бк/л, Аржанчивлангийн рашаан усанд 415 Бк/л байгааг тус тус тодорхойлон тогтоосон байна [51-55].

Мөн Монгол орны барилга байгууламжид хэрэглэгддэг голлох материалуудын цацраг идэвхийн хэмжээг тогтоож, аргазүйг улсын стандартаар батлуулан хэрэгжүүлж ирсэн ба Улаанбаатар хотын агаарын цацраг идэвхийн цаг хугацааны өөрчлөлт, давтагдах байдлыг тогтоосноор цаашид нарийвчилсан судалгаа явуулах нөхцлийг бүрдүүлжээ [56].

VII. Хүнсний бүтээгдэхүүн дэх цацраг идэвхийн судалгаа

Малын гаралтай хүнсний бүтээгдэхүүн болон үр тариа, жимс, жимсгэнэ, хүнсний ногоонд цацраг идэвхт элемент тодорхойлох аргазүй боловсруулах судалгаа явуулж, улсын стандартаар 2 арга батлуулсан байна.

Монгол хүний хоол хүнсний үндсэн бүтээгдэхүүн болох бэлчээрийн маллагаатай нутгийн үүлдрийн малын мах, сүүнд байгалийн ^{40}K , ^{232}Th , ^{238}U болон үүсмэл цацраг идэвхт ^{137}Cs -н цацраг идэвхийн хэмжээг байгаль цаг уурын бүс, малын төрлөөс нь хамааруулан судлах ажлыг гүйцэтгэж манай орны мах, махан болон сүү, сүүн бүтээгдэхүүнд цацрагийн хэмжээ хэвийн хэмжээнд байгааг тогтоосон. Судалгааны дүнгээс үзэхэд цацраг идэвхт ^{40}K цөмийн идэвх говийн бүсийн малын маханд хангай болон тал хээрийн бүсийнхээс их, ^{232}Th хэмжээ тал хээрийн бүсийн малын маханд бусад бүсийнхээс бага, ^{226}Ra хангай, тал хээрийн бүсэд ойролцоо, говьд ялимгүй их хэмжээтэй, мөн сүүнд агуулагдаж байгаа цацраг идэвхт изотоп ^{40}K хангай, тал хээрийн бүсэд говийн бүсээс их гарсан байна. Малын булчин эдэд илүүтэй хуримтлагддаг ^{137}Cs нийт бүсийн малын маханд болон 5 төрлийн малын сүүнд илрээгүй нь үүсмэл цацрагийн бохирдолт байхгүйг харуулж байна. Харин Хөвсгөл аймгийн Улаан-Уул сумын цаа бугын бяслаг, ааруул, борц болон маханд үүсмэл цацраг идэвхт элемент болох ^{137}Cs илэрсэн ба Гүрж ногоон цайны дээжинд ^{137}Cs 18÷48 Бк/кг хэмжээтэй байгааг тогтоосон байна [57-60].

VIII. ЦФСТ-д цацраг идэвх тодорхойлох захиалгат шинжилгээний дүнгээс

ЦФСТ-ийн итгэмжлэгдсэн Гамма спектрометрийн лаборатори нь Монгол улсын стандарт болох MNS 5626:2006, MNS 5632:2006 гамма спектрометрийн аргаар төрөл бүрийн дээж (хөрс, ус, уулын чулуулга, нүүрс, үнс, ашигт малтмалын хүдэр, баяжмал, барилгын материал)-д агуулагдах байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудын хувийн идэвх, байгалийн цацраг идэвхт элементүүдийн агуулгыг тодорхойлж байна [61,62].

Энэхүү батлагдсан арга нь энерги ялгах чадвар сайтай хагас дамжуулагч детектор бүхий гамма спектрометрээр хэмжих сорьцны байгалийн болон үүсмэл цацраг идэвхт изотопуудаас гарах гамма квантыг бүртгэж, эдгээр гамма шугамын детекторт бүртгэгдсэн импульсийн тоогоор тухайн изотопын хувийн идэвхийг детекторын үнэмлэхүй бүртгэх чадварыг ашиглан тодорхойлдог.

Лабораторийн шинжилгээнд ирж байгаа дээжүүдийг төрлөөр нь ангилж үзвэл хөрс усны дээж ихэнх хувийг эзэлж байна. Сүүлийн 5 жилд гамма спектрометрийн лабораторид хувь хүн, байгууллагын захиалгат ус хөрсний нийт 6500 орчим дээж шинжилгээнд ирсэн. Үүнээс цацраг идэвхийн шинжилгээнд хөрсний дээж 2500 орчим, усны дээж 4000 орчим байна. 2022 онд хамгийн их хөрсний дээж буюу 900 орчим дээж ирсэн бол усны дээжийн 1600 нь 2020 онд ирсэн. Бүс нутгаар нь авч үзвэл Дорноговь, Дорнод, Дундговь, Ховд аймгаас нийт хөрсний дээжний 60 орчим хувь, усны дээж Дорноговь, Дорнод аймгаас 30 гаруй хувийг эзэлж байгаа нь говийн бүсээс шинжилгээнд ирэх дээжийн тоо хамгийн өндөр хувьтай байна. Мөн дээрх аймгуудад үйл ажиллагаа явуулдаг уул уурхайн компаниудаас ирэх ус, хөрсний дээж жил бүр тогтмол шинжилгээнд ирдэг статистик үзүүлэлт ажиглагдав.

Ийнхүү ЦФСТ-ийн эрдэмтэн судлаачид хүрээлэн буй орчны цацрагийн судалгааг олон талт байдлаар гүйцэтгэж, арга зүйгээ улам боловсронгуй болгон тодорхой үр дүнгүүдийн гарган авчээ. Эдгээр үр дүнгүүд нь дотоод, гадаадын мэргэжлийн сэтгүүлд хэвлэгдэж, эрдэм шинжилгээний хурлуудад илтгэгдэж ирсэн нь судалгаа шинжилгээний ажлын чанар

олон улсын түвшинд үнэлэгдэж буйг илтгэж байна. Мөн энэ чиглэлийн судалгаа нь цөмийн технологи нэвтрүүлэх суурь судалгааг хөгжүүлэх, хүний нөөц бэлтгэх, геологи, уул уурхай, хүнс хөдөө аж ахуй, байгаль орчны хяналт үнэлгээний зорилгоор олон салбарт суурь мэдээлэл болох олон чухал үр дүнгүүдийг гарган авсан чухал ач холбогдолтой ажлууд болжээ.

ТАЛАРХАЛ

Цөмийн шинжилгээний лабораторийг үүсгэн байгуулж Монгол улсад цөмийн салбарыг хөгжүүлэх үндэс суурийг тавьж, судалгаа шинжилгээний багаж тоног төхөөрөмж зохион бүтээж, сургалт судалгааны баазыг бэхжүүлж, шинэ арга зүй боловсруулан Монгол улсын стандарт загвар болгон батлуулж, хүрээлэн буй орчны цацрагийн судалгааг өндөр түвшинд гүйцэтгэж, цөмийн салбарын хөгжилд үнэлж баршгүй их хувь нэмэр оруулсан Цөмийн физикийн судалгааны төвийн үе үеийн эрдэмтэн судлаачиддаа талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] Д.Батсуурь, Б.Далхсүрэн, О.Отгонсүрэн, Агаарын тоосны радио идэвхт чанарыг хэмжих тухай, ШУА-ийн мэдээ, №2, 1963, х.38-54.
- [2] Х.Сиражет, Д.Түвдэндож, Б.Чадраа, Улаанбаатар орчны хөрсний цацраг идэвхийг олсон нь, ШУА-ийн мэдээ №4, 1963, х.40-45.
- [3] С.Даваа, П.Зузаан, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Цөмийн физикийн судалгааны төв 50 жилд, УБ хот, 2015.
- [4] Д.Шагжамба, Н.Норов, Байгалийн цацраг идэвхийг судалсан байдлаас. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №2(125), 1996, х.119-126.
- [5] Б.Далхсүрэн, Н.Содном, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, МУИС-ийн Цөмийн судалгааны төвд хийгдсэн судалгааны ажлын тойм, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, №7(159), 2000, х.8-18.
- [6] Н.Норов, С.Даваа, Н.Ганбаатар, Байгалийн цацраг идэвхийг судлах гамма спектрометрийн нэгэн арга. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №6(147), 1999, х.162-169.
- [7] Н.Норов, С.Даваа, Н.Ганбаатар, Г.Хүүхэнхүү, Б.Болормаа, Эзэлхүүнт дээжийг судлах гамма-спектрметрийн үнэмлэхүй арга, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №4(137), 1998, х.62-67.
- [8] N.Norov, D.Chultem, J.Ganzorig, N.Gansukh, A study of Uranium/Radium disequilibrium by the spectral line centroid expansion method, Nuclear Geophysics, vol.5, №4, 1991, p.541-545.
- [9] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Ц.Намчинсүрэн, О.Отгонсүрэн, Б.Эрдэмчимэг, Улаанбаатар хотын авто замын дагуух хөрсний элементийн судалгаа, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №167(9), 2002, х.39-44.
- [10] Б.Далхсүрэн, Ц.Амартайван, Ш.Гэрбиш, Н.Норов, С.Мягмарсүрэн, Ц.Цэрэнгомбо, Ховд хотын төвийн хөрсний цацраг идэвхийг тодорхойлсон дүн, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №3(132), 1997, х.312-316.
- [11] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, С.Мягмарсүрэн, Ц.Цэрэнгомбо, Ховдын экологийн судалгааны зарим дүнгээс, Эрдэм шинжилгээний бичиг, №4(137), 1998, х.91-93.
- [12] Б.Далхсүрэн, Ж.Баярмаа, Ш.Гэрбиш, С.Мягмарсүрэн, Ц.Цэрэнгомбо, Ж.Уранбилэг, Ховд аймгийн зарим сумын хөрсний цацраг идэвхийг судалсан дүн, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, №7(159), 2000, х.100-103.
- [13] Б.Далхсүрэн, Ц.Намчинсүрэн, Р.Маахүү, Ц.Цэрэнгомбо, Радиоактивность почв Хубсугул и Баярхонгорского аймака, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик сэтгүүл, №309(15), 2009, х.69-71.
- [14] Ц.Эрхэмбаяр, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Зуунмод орчмын хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №8(159), 2001, х.159-166.
- [15] Ц.Эрхэмбаяр, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Төв аймгийн зарим сумуудын хөрсний цацраг идэвхийг тодорхойлсон дүн. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №167(9), 2002, х.51-58.
- [16] Ц.Сайнсанаа, Н.Норов, Төвийн бүс нутгийн хөрсөн дэх ^{137}Cs -ийн хуримтлал, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик сэтгүүл, №28(510), 2019, х.76-79.
- [17] D.Shagjamba, P.Zuzaan, Results of Radiation Level Study in Some Territory of Mongolia Physics of Particles and Nuclei Letters, v.3, №1, 2006, Dubna, Russia, pp.65-67.
- [18] Н.Норов, С.Даваа, Д.Шагжамба, Зарим хот орчмын хөрсний цацраг идэвхийг гамма спектрометрээр судалсан нь, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5(138), 1998, х.19-26.
- [19] Н.Норов, С.Даваа, Ц.Оюунчимэг, Чойбалсан хотын цацрагийн экологийн асуудалд, “Бүс нутгийн хөгжил, мэдээллийн технологи-2000” товхимол, УБ хот, 2000, х.77-82.
- [20] М.Эрдэнэтуяа, Б.Мөнхбат, Н.Норов, Тамсагийн газрын тосны орд орчмын хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа, ШУА, Физик технологийн хүрээлэнгийн бүтээл, №38, 2011, х.119-123.
- [21] М.Эрдэнэтуяа, М.Энхбаатар, Н.Норов, Л.Эрдэнэсайхан, Газрын тосны орд орчмын ус, хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №25(478), 2017, х.108-112.
- [22] Д.Шагжамба, Ж.Ганзориг, Б.Далхсүрэн, Монгол улсын аймаг, хотуудын хүн амын цацрагийн гадаад шаралтын тун, МУИС, Эрдэм

- шинжилгээний бичиг №2(125), 1996, х.57-62.
- [23] Н.Норов, О.Отгонсүрэн, С.Даваа, Дорнод Монголын нүүрсний цацраг идэвхийг судалсан дүн. МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №2(125), 1996, х.42-47.
- [24] Н.Норов, Б.Далхсүрэн, О.Отгонсүрэн, Багануурын нүүрсэн дэх ураны хэмжээг цөмийн физикийн аргаар судалсан тухай, ШУА-ийн мэдээ №1, УБ хот, 1991, х.7-11.
- [25] Н.Норов, С.Даваа, Нүүрсэн дэх байгалийн цацраг идэвхт изотопуудын зөвшөөрөгдөх хэмжээг тогтоох асуудалд, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5(138), 1998, х.12-18.
- [26] Б.Далхсүрэн, Ж.Ганзориг, Н.Гансүх, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, Н.Норов, Н.Даваажав, С.Мягмарсүрэн, Д.Шагжжамба, Ц.Амартайван, Баруун Монголын нүүрсний орд газрын элементийн агуулгыг цөмийн физикийн аргаар судалсан нь, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №3(132), 1997, х.145-151.
- [27] Н.Норов, С.Даваа, Ж.Дугаржав, Н.Оюунтүлхүүр, Нүүрсэн дэх ураны тархалтыг судалсан тухай, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №4(137), 1998, х.68-76.
- [28] Ц.Амартайван, Д.Баатархүү, Н.Гансүх, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, З.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, С.Мягмарсүрэн, Гамма идэвхжилийн аргаар нүүрсэнд элементийн агуулгыг судалсан дүн, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5(138), 1998, х.41-44.
- [29] Н.Норов, Ж.Ганзориг, С.Даваа, Хүрэн нүүрсэнд цацраг идэвхийн тэнцвэрийг тодорхойлсон нь, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №2(125), 1996, х.88-93.
- [30] М.Алтангэрэл, Н.Норов, Н.Энхбат, Ц.Цэрэнбалжид, Дулааны 4 дүгээр цахилгаан станцын үнсэн сангийн цацрагийн түвшин, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №309(15), 2009, х.100-103.
- [31] Ш.Гэрбиш, Н.Ганбаатар, Ж.Сэрээтэр, Уран торийг тодорхойлох-спектрометрийн арга, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, 1997, №2(125), х.11-17.
- [32] Ж.Сэрээтэр, Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, Ураны хүдрийн дээжинд радий, ураны харьцааг тодорхойлох харьцангуй арга: МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, 1997, №2(125), х.73-76.
- [33] Г.Цэмбэлмаа, Н.Норов, Н.Энхбат. Ураны хүдэр дэх цацраг идэвхийн тэнцвэр, МУИС Эрдэм шинжилгээний бичиг, №362(17), 2012, х.183-189.
- [34] Н.Энхбат, Н.Норов, Монголд уран болон бусад ашигт малтмал олборлох үеийн цацрагийн экологийн мониторинг, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Газарзүйн асуудлууд, №335(10), 2010, х.176-187.
- [35] Г.Цэмбэлмаа, Н.Норов, Н.Энхбат. Ураны орд орчмын усны цацраг идэвхийн судалгаа. ШУА, Физик технологийн хүрээлэнгийн бүтээл №38, 2011, х.115-119.
- [36] Н.Энхбат, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Б.Отгоолой, Ураны орд орчмын хөрсний цацраг идэвхийн судалгаа, ШУА, Физик технологийн хүрээлэнгийн бүтээл, №38, 2011, х.123-128.
- [37] Н.Энхбат, Н.Норов, Б.Отгоолой, Ураны уурхайн цацрагийн аюулгүй байдал, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №362(17), 2012, х.165-169.
- [38] Н.Энхбат, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Ураны далд уурхайн агааржуулалтаар хаягдах радоны тархалт, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №362(17), 2012, х.174-182.
- [39] Д.Чүлтэм, Н.Норов, Д.Шагжжамба, Х.Нямцэрэн, Мардай орчмын цацрагийн түвшин, МУИС Эрдэм шинжилгээний бичиг, 5(103) 1990, Улаанбаатар 1990.
- [40] П.Зузаан, Д.Шагжжамба, Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцорын бохирдол, Нэг сэдэвт цуврал судалгаа, УБ хот, 2020, ISBN: 978-9919-24-281-7.
- [41] С.Лодойсамба, Д.Шагжжамба, Г.Гэрэлмаа, Characterization PM_{2.5-0} and PM_{10-2.5} Air Pollution of Ulaanbaatar city, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №309(15), 2009, х.1-4.
- [42] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, Ц.Амартайван, П.Зузаан, Агаарын PM_{2.5} тоосонцорын морфологийн харьцуулсан судалгаа (2011, 2018 он), МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, Физик, №30(527), 2020, х.65-68.
- [43] Н.Отгонпүрэв, Д.Болортуяа, Д.Шагжжамба, П.Зузаан, Агаарын

- тоосонцрын олон улсын ур чадварын сорилтын шинжилгээнд оролцсон дүн, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №30(527), 2020, х.90-93.
- [44] Ж.Баярмаа, Г.Ганболд, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, Ц.Цэндээхүү, Цөмийн физикийн аргаар агаарын бохирдлыг биомонитор ашиглан тодорхойлох судалгаа, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №167(9), 2002, х.69-72.
- [45] О.Энхтуяа, П.Зузаан, С.Жавхлан, Э.Энхжаргал, З.Батсүрэн, Д.Болортуяа, Х.Идэрмөнх, Улаанбаатар хотын хөвд, хагны дээжид цацраг идэвхт элемент тодорхойлох судалгаа. ФТХ-ийн бүтээл, 2021, №48, х.140-149.
- [46] Д.Далхсүрэн, Б.Эрдэв, П.Зузаан, Улаанбаатар хотын агаарын нийлбэр бета цацраг идэвх ба радоны хэмжээ, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №7(159), 2000, х.104-108.
- [47] Н.Норов, С.Даваа, Агаар дахь радон, түүний задралын бүтээгдэхүүнийг судалсан тухай, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5(138), 1998, х.3-11.
- [48] Б.Эрдэв, М.Чадраабал, Б.Мөнхцэцэг, Агаарын радонаас хүний жилд авах тунг тодорхойлох нь, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179(10), 2003, х.221-224.
- [49] Б.Эрдэв, Б.Мөнхцэцэг, Орон сууцны агаарын радон, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179(10), 2003, х.215-220.
- [50] Агаар дахь радоны хэмжээг тодорхойлох арга MNS 5246:2003, Монгол улсын стандарт, Стандартчилал хэмжилзүйн үндэсний төв, УБ хот, 2003.
- [51] Н.Норов, Н.Оюунтүлхүүр, Г.Хүүхэнхүү, Улаанбаатар хотын ундны усанд ^{222}Rn – ыг тодорхойлсон тухай, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №5(138), 1998, х.33-40.
- [52] Н.Норов, Д.Шагжжамба, Н.Гансүх, Н.Оюунтүлхүүр, Ц.Оюунчимэг, Шингэн сцинтиллятоор усан дахь радоны идэвхийг хэмжих арга, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №4(137), 1998, х.86-90.
- [53] Н.Норов, Ц.Оюунчимэг, Г.Хүүхэнхүү, Усан дахь радоныг тодорхойлох цөмийн физикийн аргуудын харьцуулсан анализ, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №7(159), 2000, х.131-137.
- [54] Н.Норов, Ц.Оюунчимэг, Г.Хүүхэнхүү, Халзан уулын рашааны зарим физик шинж чанар, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №8(159), 2001, х.121-126.
- [55] Н.Норов, Д.Доржсүрэн, Газар доорх усны цацраг идэвхт шинж чанарын судалгаа, Монгол орны гидрогеологи, инженер геологи, геоэкологийн асуудлууд, №15, УБ, 2007, х.68-79.
- [56] Барилгын материал, хөрс, уулын чулуулагт цацраг идэвхт элемент тодорхойлох гамма спектрометрийн арга MNS 5072:2018, Монгол улсын стандарт, Стандартчилал хэмжилзүйн үндэсний төв, УБ хот, 2018.
- [57] Г.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, Р.Маахүү, Л.Бадамханд, Ж.Цийрэгзэн, Хүнсний бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт элемент тодорхойлсон судалгааны дүнгээс, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179(10), 2003, х.251-254.
- [58] Г.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, Н.Балжинням, Д.Баатархүү, Б.Далхсүрэн, О.Отгонсүрэн, Хүнсний бүтээгдэхүүнд нэмж байгаа химийн зарим элементүүдийг тодорхойлох цөмийн физикийн аргууд, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179(10), 2003, х.242-245.
- [59] Ж.Цийрэгзэн, Р.Содномдаржаа, Р.Маахүү, Ж.Бэх-Очир, Хөрс, ус, ургамал, малын гаралтай хүнсний бүтээгдэхүүнд гамма спектрометрийн аргаар хэмжилт хийсэн дүнгээс, Мал эмнэлэг, биотехнологийн сургууль ЭШБ №5, 2002, х. 128-132.
- [60] Тарваганы хүн махны борц, түүний шатаасан үнсэнд гамма идэвхжилийн шинжилгээний аргаар хийсэн судалгаа, МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг №179(10), 2003, х.248-250.
- [61] Цацрагийн хамгаалалт, Лабораторийн гаммаспектрометрийн арга MNS 5626:2006, Монгол улсын стандарт, Стандартчилал хэмжилзүйн үндэсний төв, УБ хот, 2006.
- [62] Цацрагийн хамгаалалт, Усан дахь радоны хэмжээг тодорхойлох гаммаспектрометрийн арга MNS 5632:2006, Монгол улсын стандарт, Стандартчилал хэмжилзүйн үндэсний төв, УБ хот, 2006.