

Цөмийн физикийн судалгааны төвийн 60 жилд: Цөмийн хэрэглээний судалгаа болон үйлдвэрлэлд нэвтэрсэн ажлуудаас

Д.Болортуяа*, П.Зузаан

*Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн физикийн судалгааны төв,
Улаанбаатар 13330, Энхтайван өргөн чөлөө 122/1*

**Э-шуудан: bolortuya_d9@num.edu.mn*

Цөмийн физикийн судалгааны төв нь 1965 онд МУИС-ийн Цөмийн шинжилгээний групп нэртэйгээр анх байгуулагдсан цагаас хойш цөмийн физикийн суурь болон хэрэглээний судалгаа, цөмийн арга, технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх ажлуудыг идэвхтэй хэрэгжүүлж иржээ. Энэ хугацаанд цөмийн физикийн хэрэглээ, арга технологийн чиглэлээр эрдэм шинжилгээний 400 гаруй өгүүллэг, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн ажил 8, патент 3, зохиогчийн гэрчилгээ 13, ашигтай загварын гэрчилгээ 2, Монгол Улсын стандарт 20 боловсруулж батлуулсан байна. Нэгэн жарны хугацаанд хэрэгжүүлсэн эдгээр ажлуудыг тоймлож энэхүү өгүүлэлд товч дурдахыг зорилоо.

Түлхүүр үгс: Цөмийн физикийн судалгааны төв, цөмийн шинжилгээ лаборатори, цөмийн, ЦФСТ

PACS number: 01.10.Hx & 01.30.Rr

ОРШИЛ

Цөмийн физикийн судалгааны төв (ЦФСТ) нь 1965 онд МУИС-ийн Цөмийн шинжилгээний групп нэртэйгээр анх байгуулагдсан цагаас цөмийн физик, технологи, инженерчлэлийн чиглэлээр шинэ мэдээлэл, мэдлэг, үр дүн гарган авах, шинэ арга зүй, дэвшилтэт технологи боловсруулах, нэвтрүүлэх эрхэм зорилго тавин үйл ажиллагаа явуулсаар 60 жил болж байна. Үнэхээр ч жаран жил гэдэг эрдэмтэн хүмүүний хувьд ч, эрдэм шинжилгээний байгууллагын тухайд ч түүх өгүүлэх урт хугацаа юм. Монгол тоололд 12 жилийг нэг үе, харин 5 үеийг нэг бүтэн жаран гэж хэмждэг. Нэгэн жарны хугацаанд ЦФСТ-ийн эрдэмтэн судлаачдын зөвхөн цөмийн физикийн хэрэглээний судалгаа, арга технологи боловсруулах, багаж төхөөрөмж бүтээж, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх чиглэлээр хэрэгжүүлсэн судалгааны ажлуудыг үе үеэр багцлан тоймлож энэхүү өгүүлэлд товч дурдахыг зорилоо.

СУДАЛГАА, ХӨГЖҮҮЛЭЛТ

Эхний үе буюу 1965-1976 онд:

1965-1970 онд профессор Н.Содном, Д.Чүлтэм нарын удирдлага дор МУИС-ийн Цөмийн шинжилгээний лаборатори (ЦШЛ)-ийн багш, судлаачид ЦШНИ-ийн эрдэмтдийн хамт Уолтон-Кокрофтын нейтроны генератор НГ-200-ийг авчран суурилуулж, хэмжилтийн горимыг тохируулан, цөмийн урвалын суурь

судалгаанаас гадна нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний ажлыг Монголд эхлүүлэх суурийг тавьсан байдаг [1-3]. Тус генераторыг ашиглан судалгаа, шинжилгээ явуулахад шаардлагатай сцинтилляцийн детектор бүхий 256 сувагт гамма спектрометрийг Ж.Сэрээтэрийн удирдлагаар Ш.Гэрбиш, Т.Жалдан нар 1966-1968 онд ЦШНИ-д бүтээж ЦШЛ-д авчирч суурилуулжээ [4]. Мөн 1970-1972 онд Л.Тогтохбаяр, П.Зузаан, Г.Хүүхэнхүү, Ж.Ганзориг, И.Чадраабал, Л.Дашзэвэг нар ЦШНИ-д Со-60 изотопын 1332 кэВ шугамд 3.2 кэВ энергийн ялгах чадвартай, хагас дамжуулагч Ge(Li) детектортой 4096 сувагт “Тензор” анализатор бүхий гамма болон бета спектрометруудыг угсарч ажиллуулан, МУИС-д авчирсан байна [5]. Нейтроны НГ-200 генераторыг минут, секунд, болон миллисекунд, микросекундын хугацааны мужид импульсийн горимд ажиллуулах электрон схемийг хийж генераторын ажиллагааг удирдсанаар богино наст цацраг идэвхт изотопууд үүсгэн тэдгээрийн задралын судалгааг явуулж [6-9], үүний зэрэгцээ (n,2n), (n,p) урвал ашигласан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ хийгдэж эхэлсэн байна [10]. Тухайлбал, 1971-1975 онд профессор Н.Содном, Д.Чүлтэм нарын удирдлага дор ЦШЛ-ийн эрдэмтэн судлаачид байгалийн цацраг идэвх тодорхойлох болон идэвхжилийн анализын судалгааг дээрх багаж төхөөрөмжүүд дээр суурилан хэрэгжүүлж, нейтрон идэвхжилийн шинжилгээ, түүний хэрэглээтэй холбоотой олон ажил хэвлүүлсэн байна. Үүнд: Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээнд цикл-

активизацийн арга, нийлмэл материалд уран, торий, иод зэрэг элементийг тодорхойлох арга боловсруулсан нь бодисын найрлагын судалгааны шинэ арга болсон байна [11-12]. Динозаврын ясны минералын кристалл бүтэц, уг ясанд уран, торий ховор шорооны элемент хуримтлагдах болон эсийн мембраныг ураны ион нэвчих үзэгдлийг судлан үр дүнг олон улсын сэтгүүлүүдэд хэвлүүлжээ [13-14].

Монгол улс ОУАЭА-т гишүүнээр элссэнээр 1975-1976 онд тус байгууллагын техникийн хамтын ажиллагааны тусламжтайгаар цацраг идэвхт изотопон цэгэн үүсгүүртэй (^{109}Cd , ^{241}Am , ^{55}Fe), хагас дамжуулагч $\text{Si}(\text{Li})$ ба $\text{Ge}(\text{Li})$ детектортой АНУ-ын ОРТЕК фирмийн энергиэр ялгах рентген флуоресценцийн спектрометрийг хүлээн авч ЦШЛ-д суурилуулан, ажиллагаанд оруулжээ. Ингэхдээ Эрхүүгийн ИС-ийн лабораторийн эрхлэгч, доктор А.Г.Ревенкогийн зааварчилгаагаар П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, С.Даваа нар тухайн үед багажийг дагалдан ирдэггүй олон эд ангиудыг өөрсдөө хийж рентген-флуоресценцийн спектрометрийг ашиглан шинжилгээ хийх нөхцөлийг жинхэнэ ёсоор бүрдүүлсэн байна. Уг төхөөрөмжийг зохих бэлтгэлийг хангасны үндсэн дээр 1976 онд ашиглалтанд оруулж геологи, уул уурхай, биологи, хөдөө аж ахуй, хүрээлэн буй орчны судалгаанд ашиглаж эхэлсэн байна [15].

ЦФСТ байгуулагдсанаас хойших эхний 12 жилд Монгол Улсад цөмийн физикийн судалгаа, шинжилгээ хөгжих үндэс суурь тавигдсан, олон улсын хамтын ажиллагаа өргөжсөн, хүний нөөц болон материаллаг баазыг бэхжүүлж чадсан хөгжлийн суурь үе байлаа. Энэ үед цөмийн шинжилгээний суурь багаж төхөөрөмжүүдийг бүтээх, суурилуулах, угсрах, ажиллагаанд оруулахаас гадна цөмийн цацрагийн, нейтрон идэвхжилийн болон рентген-флуоресценцийн шинжилгээ хийх үндэс суурь тавигджээ.

Хоёр дахь үе буюу 1977-1988 онд:

Энэ үеийг нейтрон идэвхжилийн шинжилгээг боловсронгуй болгох; рентген-флуоресценцийн арга зүйг боловсруулан уул уурхай, хүрээлэн буй орчны салбарт хэрэглэх; үйлдвэрлэлийн процессыг хянах багаж төхөөрөмж зохион бүтээж практикт нэвтрүүлэх гэж үндсэн 3 хэсэгт хувааж болох юм.

Нейтрон идэвхжилийн шинжилгээнд: 1977 оноос Унгар улсаас NA-4 нейтроны генераторыг авчирч суурилуулан нейтрон идэвхжилийн шинжилгээнд ашиглах эхлэл тавигджээ. Энэхүү нейтроны генераторыг

монголд авчрахаас өмнө Дубнагийн ЦШНИ-д аваачин ажиллагааг зүгшрүүлэх ажлыг Д.Шагжжамба, Н.Ганбаатар, С.Лодойсамба, Ю.Намсрай, Б.Отгоолой нар гүйцэтгэн, дараа нь МУИС-д авчирч суурилуулан ашиглалтад оруулсан байна. Генераторын хамт манай улсын хувьд анхны IBM-8 төрлийн тооцон бодох техник ТРА/и мини-компьютер, 1978 онд ОУАЭА-ийн төслөөр АНУ-ын PDP 11/05 микро-компьютер суурилуулсан нь цөмийн физикийн туршлагыг автоматжуулахад үсрэлт болсон гэж үздэг. Мөн энэ үед нейтроны изотопон үүсгүүр Pu-Be , ^{252}Cf -ийг авснаар нейтроны генератор болон изотопон үүсгүүрүүд бүхий идэвхжилийн шинжилгээний лабораторийг байгуулж, туршилт судалгааны ажил өргөжсөн байна [1-3]. Тэр цагт физикийн туршлагыг автоматжуулахад зориулсан КАМАК систем ихэд тархаж энэ системээр хийсэн цөмийн электроникийн олон багаж төхөөрөмж зохион бүтээж үйлдвэрлэж байсан учир ТРА/и компьютерыг КАМАК системтэй холбох ажлыг амжилттай хийж гүйцэтгэн КАМАК системийн хэмжих багажуудаас мэдээлэл хүлээн авч боловсруулах бололцоотой болсон юм [16]. Эдгээр багаж төхөөрөмжийг түшиглэн ЦШЛ-ийн эрдэмтэн судлаачид нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргаар хүнсний бүтээгдэхүүн болон геологийн эрдэс түүхий эдийн найрлагыг тодорхойлсон олон судалгаа хийж, холбогдох аргазүйг боловсруулжээ [17-20]. Тухайлбал, зэс, молибденийн баяжмалын үндсэн болон дагалдах элементүүдийг цөмийн идэвхжилийн аргаар судлан зэсийн баяжмалд алт 1-5 г/т, молибденийн баяжмалд рений 550-600 г/т байгааг тогтоосон [21] бол флюритэд фтор (F), хүнсний бүтээгдэхүүнд азот (N) тодорхойлох судалгааг мөн хийж, зохиогчийн эрхийн гэрчилгээ авсан байна [2].

Рентген-флуоресценцийн шинжилгээнд: 1977 оноос эх орныхоо эрдэс баялаг, түүхий эд, хүрээлэн буй орчны дээжид химийн элементийн агуулгыг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн шинжилгээний өвөрмөц олон аргыг боловсруулан амжилттай хэрэглэж иржээ [22-32]. Тухайлбал, П.Зузаан, Н.Содном, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн нарын эрдэмтэд ванадийгаас молибден хүртэлх элементийг нэгэн зэрэг тодорхойлох дотоод стандартын аргын нэгэн шинэ хувилбар [22-23], зэсийн баяжмалд мөнгө тодорхойлох арга [24], геологийн дээжид ниобий, вольфрам, цагаан тугалга тодорхойлох арга [15, 25-28], өнгөт ба холимог металлын орд газрын дээжид үндсэн болон дагалдах элемент тодорхойлох арга [21, 29-31], стандарт-фоны аргын нэгэн хувилбар [32] зэрэг олон арга

боловсруулсан байна. Улмаар 1985 онд энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн шинжилгээнд рентген хоолойг өдөөгч болгон ашигласнаар аргын мэдрэх чадвар сайжирч, тодорхойлох элементийн тоо нэмэгдэж, уг аргыг хүрээлэн байгаа орчны судалгаанд хэрэглэх боломжтой болов. Ингэснээр хөрс, ургамал, агаар, хүнсний бүтээгдэхүүн, геологи, үйлдвэрлэлийн бүтээгдэхүүнд элементийн анализ хийх, зарим хортой, хүнд элементийг тодорхойлох арга зүйн судалгааны ажлууд хийгдсэн байна [33-37]. Тухайлбал, П.Зузаан нар Монгол-Зөвлөлтийн хамтарсан Хөвсгөл, Сэлэнгийн иж бүрэн экспедицийн судалгааны ажилд арваад жил оролцож, Хөвсгөл нуур орчмын хөрс, ургамлын олон мянган дээжид хийсэн шинжилгээний дүн нь тус нуур орчмын геохими ландшафтын карт зохиоход [38-40], мөн Монгол-Оросын хамтарсан “Эрдэнэт” УБҮ-тэй хамтран ажиллаж хайгуулын хүдрийн 500 гаруй дээжид давхардсан тоогоор 4000 орчим элементийн агуулгыг РФШ-ний аргаар тодорхойлсон [2] нь тус уурхайн нөөцийг тогтооход тус тус ашиглагдсан байна. 1980-аад онд Н.Содном, Ш.Гэрбиш нар “Эрдэнэт” УБҮ-ийн зэсийн баяжмалд мөнгө (Ag) 60 г/т байгааг РФШ-ний аргаар тодорхойлон өгч уг баяжмалын гадаад худалдааны үнийг нэмэгдүүлсэн байна [21, 41-42].

Цөмийн шинжилгээний төхөөрөмж зохион бүтээж практикт нэвтрүүлсэн нь: Цөмийн физикийн судалгаа хөгжиж, ОУАЭА-ийн техник тусалцааны төслүүд хэрэгжсэнээр цөмийн технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх бололцоо олгосон байдаг. 1985 оноос хайлуур жоншны хүдэр болон баяжуулах үйлдвэрийн технологийн дамжлагын баяжмал дахь жоншны хэмжээг хурдан тодорхойлох “Флюорит-1” төхөөрөмжийг профессор Д.Чүлтэмийн удирдлагаар Ж.Ганзориг, Д.Баатархүү, Ж.Сэрээтэр, П.Улаанхүү нар зохион бүтээж Бор-Өндөрийн УБҮ-т суурилуулж ажиллуулсан байна [43]. Энэ нь нейтроны Pu-Be изотопон үүсгүүр ашиглан цөмийн үечилсэн идэвхжилийн аргаар жоншны агуулгыг хурдан тодорхойлдог автомат төхөөрөмж юм. 1980-д оны сүүлээр С.Лодойсамба нар электроникийн хэсгийг сайжруулснаас гадна спектрометрийн тогтворжуулагч нэмж суурилуулан “Флюорит-1М” хэмээн нэрлэж ажиллагаанд оруулсан байна. Хожим тус УБҮ-ийн геофизикчид уг төхөөрөмжөөр хийгддэг шинжилгээний дүнг химийн анализтай харьцуулахад абсолют алдаа 1% гардаг “сайн төхөөрөмж” хэмээн үнэлжээ [1]. 1987 онд уг төхөөрөмжийг улам боловсронгуй болгож, автомашин дээр ачсан хайлуур жоншны

хүдрийг шинжлэх нейтрон идэвхжилийн “Флюорит-2” төхөөрөмжийг төвийн эрдэмтэд мөн зохион бүтээж Бор-Өндөрийн УБҮ-т тавьж ажиллуулснаар үйлдвэрлэлийн үр ашгийг нэмэгдүүлсэн байна. “Флюорит” төхөөрөмжийг зохион бүтээсэн эрдэмтэд Олон Улсын Оюуны өмчийн байгууллагын “Алтан медаль”-аар 1990 онд шагнуулсан билээ [2, 44].

Гурав дахь үе буюу 1989-2000 онд:

Гурав дахь 12 жил бол Монгол Улсад нийгэм солигдсон шилжилтийн хүнд үе байсан ч ЦШЛ-ийг Засгийн Газрын тогтоолоор Цөмийн физикийн судалгааны төв (ЦФСТ) болгон өргөжүүлж, төвийн ахмад эрдэмтэн багш нар цөмийн физикийн суурь болон хэрэглээний судалгаануудыг идэвхтэй үргэлжлүүлж, туршлагын төхөөрөмжийн бааз суурийг бэхжүүлж чадсан үе юм. ОУАЭА-ийн техникийн тусламжаар атомын шингээлтийн спектрометрийн болон радиохимийн лабораториуд нэмж байгуулснаас гадна цөмийн спектрометрийн аналог-тоон хувиргуур бүхий карттай 8 битийн Apple болон IBM PC компьютеруудыг авч судалгааны ажилд ашиглах болсноор физикийн туршлагыг автоматжуулах дараагийн үе эхэлсэн байна [3].

Рентген-флуоресценцийн арга аргачлалыг өргөжүүлэн хөгжүүлэх, хэрэглээнд нэвтрүүлэх судалгаа үргэлжилсээр байв [45-46]. 1989-1990 онд Мушгиа худгийн ховор шорооны хүдрийн судалгааг П.Зузааны удирдлагаар тус лабораторийн хамт олон гүйцэтгэж, 5000 гаруй дээжид элементийн шинжилгээ хийж, үр дүнг хэрэглэгчид шилжүүлсэн байна. Энэ ажлыг гүйцэтгэх явцад ховор шорооны элементийн нийлбэрийг өмнө нь зөвхөн сонгодог химийн аргаар тодорхойлдог байсныг РФШ-ний аргаар тодорхойлж болохыг харуулснаас гадна дээрх ховор шорооны элементүүд хоорондоо шугаман хамааралтайг тогтоон цөөн стандарт загвар хэрэглэх боломжийг олгосон нь практик ач холбогдолтой болсон байна [46]. Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний аргын мэдрэх чадварыг сайжруулах, хэрэглэгдэх хүрээг өргөтгөх зорилгоор ОУАЭА-ийн техникийн тусламжаар бүрэн ойлтын рентген шинжилгээний спектрометр хүлээн авч хөрс, ус, агаар, эрүүл мэндийн болон хүнсний бүтээгдэхүүний төрөл бүрийн дээжид хүнд металл, химийн зарим хортой элементүүд тодорхойлох арга зүй боловсруулсан олон судалгааг Ш.Гэрбиш нарын судлаачид амжилттай хэрэгжүүлжээ. Ингэснээр хүрээлэн буй орчны бохирдол болон хүнсний аюулгүй

байдлыг хангахтай холбогдсон судалгаа явуулж практикт нэвтрүүлэх боломж бий болсон байна. Тухайлбал, Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг биомониторингийн аргаар судлах, Туул, Сэлэнгэ мөрний сав газрын хүнд металлын судалгаа, хүнсний бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт болон хортой, хүнд элемент тодорхойлох зэрэг судалгаа хийсэн байдаг [47-51]. 1998 оноос уулын баяжуулах “Эрдэнэт” үйлдвэрийн технологийн процессыг шуурхай хянадаг рентген-спектрийн лабораторийн шинжилгээний арга зүйг боловсронгуй болгох ажлыг П.Зузааны удирдлагаар Н.Гансүх, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн нар гүйцэтгэж, нунтаг ба шингэн дээж шинжлэх зориулалттай СРМ-25 ба АР-31 спектрометрүүд дээр зэс, молибдөн, төмрийн агуулга болон шингэн дээжийн нягт тодорхойлох аргуудыг боловсруулж үйлдвэрлэлийн туршилтад 1999, 2000 онд хүлээлгэн өгсөн нь металл авалтыг сайжруулж, үйлдвэрийн үр ашгийг бодитой нэмэгдүүлсэн байна [52-55].

Цөмийн цацрагийн болон идэвхжилийн шинжилгээний ажлууд, холбогдох аргазүй, багаж төхөөрөмж зохион бүтээх ажлууд ч энэ үед идэвхтэй үргэлжилсэн байна. Б.Отгоолой, Х.Сиражет, Д.Чүлтэм, Ж.Ганзориг нар эрчим багатай нейтроны үүсгүүр ашиглан үечлэн шарж, хэмжих аргаар органик бодис дахь азотын хэмжээг тодорхойлох ажлаар зохиогчийн эрхийн гэрчилгээ авч, улмаар буудайны уураглаг чанарыг азотоор тодорхойлох “Уураг” багажийг зохион бүтээжээ [2, 56-57]. Мөн цөмийн аналитик аргуудаар монгол орны нүүрсний орд газрууд болон байгаль орчны дээжүүдэд элементийн иж бүрэн судалгаа хийхээс гадна Б.Отгоолой, И.Чадраабал, Д.Чүлтэм, Д.Шагжжамба нар газрын гадаргаас эртний амьтдын ясыг танадах цөмийн физикийн арга, Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш нар уран, торий тодорхойлох гамма спектрометрийн арга, ураны хүдрийн дээжид радий, ураны харьцаа тодорхойлох харьцангуй арга буюу уран-радийн цацраг идэвхийн тэнцвэрийг гамма спектрийн шугамын хүндийн төвийн шилжилтээр тодорхойлох арга боловсруулж геологийн дээжид уран, торийн хэмжээг тодорхойлох ажлуудыг 1990-д онд эрчимтэй хийсэн байдаг [58-61].

Монголын цөмийн физикийн салбарын хувьд онцлон тэмдэглэх үйл явдлын нэг нь цөмийн физикийн суурь болон хэрэглээний судалгаа, сургалт явуулах туршлагын үндсэн төхөөрөмж болох Микротрон МТ-22 электроны цикл хурдасгуурыг ажиллагаанд оруулсан явдал байв. Уг төхөөрөмжийг академич Г.Н.Флеров,

академич Н.Содном нарын дэмжлэгээр Д.Баатархүү, Б.Сэргэлэн нарын судлаач инженерүүд ЦШНИ-ийн мэргэжилтэн А.Г.Белов, П.Г.Бондаренко нартай хамтран угсарч, 1993 онд ЦШНИ-ээс ШУА-ийн Физик-Технологийн хүрээлэнгийн Цөмийн хавсарга судалгааны секторт авчран суурилуулжээ. 1995 оноос микротрон дээр электроныг 14 МэВ хүртэл 1-р горимд хурдасган ажиллуулж эхэлсэн байдаг. 1997 онд Засгийн Газрын шийдвэрээр тухайн үеийн ШУА-ийн Цөмийн хавсарга судалгааны сектор, Эрүүл ахуй халдвар судлалын хяналтын албаны Цацрагийн хяналтын төв лаборатори, МУИС-ийн Цөмийн шинжилгээний лаборатори гурвыг нэгтгэн МУИС-ийн харьяа Цөмийн физикийн судалгааны төвийг байгуулсан [1-2]. Ингээд 1997 онд микротрон МТ-22 дээр электроныг 22 МэВ болтол хурдасган 2-р горимд ажиллуулан хурдасгуурын ажиллагааг жигдрүүлэн тогтворжуулж, шаардлагатай дагалдах төхөөрөмжүүдийг ОУАЭА-ийн шугамаар авч ажиллагаанд оруулснаар электрон, нейтрон, гамма цацрагийн хүчтэй үүсгүүрийг бүрэн хүчин чадлаар нь ашиглаж эхэлсэн байна. Микротрон МТ-22 хурдасгуурыг ашиглан шинжлэх ухаан, технологийн өндөр түвшинд цөмийн урвалын суурь судалгаанаас гадна нейтрон идэвхжилийн, гамма идэвхжилийн, материалын бүтцийн зэрэг цөмийн хэрэглээний судалгаанууд хийгдэж эхэлжээ [62].

Дөрөв дэх 12 жил буюу 2001-2012 онд:

Энэ үеийн ажлуудыг электроны хурдасгуурыг түшиглэн явуулсан хэрэглээний судалгаа, рентген-флуоресценцийн аргазүй, хүрээлэн буй орчны судалгаа мөн олон улсын хурал гэж онцлон хувааж болох юм.

Микротрон МТ-22-ийн хэрэглээ:

Электроны хурдасгуурыг сайжруулах судалгаануудаас гадна тус микротроныг ашиглан ЦФСТ-ийн эрдэмтэн судлаачид 2000-д оны эхээр цөмийн идэвхжилийн шинжилгээний аргаар хүдрийн доторх алтны хэмжээг тодорхойлох аргазүй боловсруулж, тус аргаар геологи, уул уурхайн орд газрын хүдэр болон хөрсний дээжид алт болон дагалдах бусад элементийн шинжилгээг хийжээ [63-66]. Мөн бусад салбарын судлаачидтай хамтран болорын бүтэц, материалын шинж чанар, модны үртэс, зусах буудайг цацрагаар шарах боломж, уураг, шүдний хатуу эд, мах болон хүнсний бүтээгдэхүүний элементийн найрлагыг тодорхойлох судалгаануудыг хийсэн байна [67-73]. Эдгээр бүх судалгааны электроны

худасгууртай холбогдох техник тохируулгыг төвийн инженер Д.Баатархүү хариуцаж байв. 2009-2010 онд Б.Отгоолой, П.Зузаан нарын баг микротрон дээр гамма-цацраг ба нейтроноор нэгэн зэрэг шарж, элементийн шинжилгээ хийх төхөөрөмжийг нөхдийн хамт зохион бүтээж, судалгааны ажилд хэрэглэсэн нь амжилттай болсон бөгөөд уг бүтээлээр патентын эрх авсан юм [74-76]. Үргэлжлүүлэн Г.Дамдинсүрэн нар фосфорит ба түүний технологийн бүтээгдэхүүнд уран тодорхойлох, нейтрон идэвхжилийн аргаар ховор шорооны элемент тодорхойлох ажлуудыг мөн хийсэн байна [77-78].

Рентген-флуоресценцийн аргагүй.
хэрэглээ: Энэ үед РФШ-ний аргаар хүрээлэн буй орчин, уул уурхай, үйлдвэрлэлийн орчны хүнд, хортой элементийн судалгаа, ховор шорооны элемент болон уран тодорхойлох аргазүйн судалгаанууд хийгдсээр байв [79-88]. Ш.Гэрбиш нарын судлаачид ердийн болон бүрэн ойлтын рентген-флуоресценцийн спектрометрийг ашиглан төрөл бүрийн дээжид элементийн анализ хийх хэд хэдэн аргазүйг боловсруулжээ. Үүнд, зэс молибденийн хүдэр баяжуулах үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний элементийн найрлагыг тодорхойлох, агаарын бохирдлыг биомонитор ашиглан тодорхойлох, усны чанар, исгэлтийн бүтээгдэхүүн, нөөшилсөн жимс, хүнсний ногоо, шүдний хатуу эд зэрэгт хортой, хүнд элемент тодорхойлох арга зүйг үндэсний стандартаар батлуулж, ашигтай загварын гэрчилгээ авсан байдаг [89-95]. Мөн Д.Болортуяа нар Шүүхийн шинжилгээний үндэсний хүрээлэнтэй хамтран шүүх шинжилгээнд рентген-флуоресценцийн аргазүйг нэвтрүүлэх хэд хэдэн судалгаа хийжээ. Тухайлбал, буудлагын мөрийг тодорхойлох ажлын хүрээнд буудлагын шагйлтын зай болон тухайн буугаар буудсан давтамжийг тогтоох, гарын мөрийн арчдасаар буудсан эсэхийг шалгах, автомашины будгийн өнгийг элементээр ялган тодорхойлох, алт, мөнгөн эдлэлийн сорьцыг хянах зэрэг ажлууд багтана [96-99].

2003-2007 онд П.Зузаанаар удирдуулсан баг РФШ-ний аргаар нүүрсний элементийн агуулга болон нүүрсний үнслэгийг тодорхойлох, нүүрсний илчлэгийг тооцоолох арга зүй боловсруулан практикт нэвтрүүлэх судалгаа хийсэн байдаг. Үүнд, нүүрсний үнслэгийг хурдан шуурхай тодорхойлох анализаторыг ОУАЭА-ийн техникийн тусламжийн төслөөр Польш улсын мэргэжилтнүүдтэй хамтран С.Лодойсамба нар зохион бүтээж, уг багажаар үнслэг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн арга болон олсон үнслэгийн утгыг ашиглан

нүүрсний илчлэг тодорхойлох тооцооны аргазүйг Д.Болортуяа нар боловсруулжээ. Эдгээр аргазүйгээ Монгол улсын үндэсний стандартаар батлуулж, нүүрсний үнслэг тодорхойлох анализаторыг аргазүйн хамт Дулааны 4 дүгээр цахилгаан станцад туршин нэвтрүүлсэн байна. Нүүрсний үнслэг тодорхойлох төхөөрөмж, аргуудыг ОУАЭА-ийн Ази-Номхон далайн бүсийн холбогдох тайлан илтгэлд сайшаан, цаашид хөгжиж буй бусад оронд авч хэрэглэхийг зөвлөмж болгож байсан нь уг судалгааны ажлын түвшинг харуулна [3, 100-106].

2006 оноос ЦФСТ-ийн судалгааны чиглэлд Улаанбаатар хотын тулгамдсан асуудал болох хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын судалгаа томоохон байр суурь эзэлнэ. Энэ чиглэлээр С.Лодойсамба, Д.Шагжжамба, Г.Гэрэлмаа нарын баг ОУАЭА-ийн техникийн хамтын ажиллагааны төсөл хэрэгжүүлэн агаарын тоосонцрын дээж соруулах, жигнэх болон түүнд элементийн шинжилгээ хийх рентген-флуоресценцийн спектрометр авч, орчны мониторингийн лаборатори байгуулсан нь төвийн судалгааны чадавхийг нэмэгдүүлэхэд чухал түлхэц болов. Ингэснээр агаарын тоосонцрыг аэродинамик диаметрээр нь ялган PM2.5 ба PM10-2.5 хоёр фракцаар дээжийг цуглуулж, тэдгээрт 20 гаруй элементийн шинжилгээ хийж, тоосонцрын эх үүсвэрийг тогтоох, тэдгээрийн агаарын тоосонцорт эзлэх хувь хэмжээг тодорхойлох, өөрчлөлтийг хянах зэрэг судалгааг хийсэн байна [107-111].

Эрдэм шинжилгээний хурал: Манай төв 2000 оноос улсын болон олон улсын хэмжээний эрдэм шинжилгээний хурал зохион байгуулж эхэлжээ. Тухайлбал, Монгол-ЦШНИ-ийн хамтарсан “Цөмийн физикийн хэрэглээний асуудлууд”, “Микротроныг тулгуур болон хавсрага судалгаанд хэрэглэх нь” зэрэг сэдэвтэй олон улсын сургууль семинар хийж байгаад “Орчин үеийн физикийн асуудлууд” нэртэй олон улсын эрдэм шинжилгээний цуврал хурал болж өргөжүүлэн 6 дахь хурлыг зохион байгуулаад байна. Мөн 2004 онд “Уул уурхайн үйлдвэрт технологийн шинэчлэл ба автоматжуулалтын чиглэлээр хийсэн ажлууд (Эрдэнэт УБҮ-ийн жишээн дээр)” хурлыг М-Си-Эс Электроникс ХХК-тай хамтран зохион байгуулсан байдаг. 2006 оноос профессор П.Зузааны санаачилгаар Монгол Улсад рентген шинжилгээний онол, аргазүйг хөгжүүлэх, өргөжүүлэх, салбарын судлаачдыг дэмжих, сүүлийн үеийн дэвшилийг түгээн дэлгэрүүлэх, олон улсын эрдэмтэдтэй харилцан туршлага солилцох зорилгоор “Рентген шинжилгээ” олон улсын хурлыг анх

хийснээс хойш 3 жил тутамд тогтмол зохион байгуулсаар байна [2-3, 112].

Тав дахь үе буюу 2013-2025 онд:

Тав дахь үед цөмийн аналитик аргыг төрөл бүрийн салбарт хэрэглэх судалгаанууд эрчимтэй үргэлжилсээр байна. Тухайлбал, цөмийн аналитик аргаар ховор шорооны элементийн хүдэр, ураны хүдэр, нүүрс, фосфоритын зэрэг уул уурхайн дээжид үндсэн болон дагалдах элемент, Улаанбаатар хот, Туул гол орчим, автомашины батерейн хаягдлын бүс, төмрийн уурхай орчмын хөрс, ус, агаар, ургамал, хүнс, биологийн дээжид цацраг идэвхт болон хортой, хүнд элемент тодорхойлох, хянах судалгаанууд багтана [113-126]. Энэ үед агаарын бохирдлын мониторингийн судалгаа эрчимтэй үргэлжилж, Д.Шагжжамба нар агаар дахь нарийн ба том тоосонцрын агууламжийг цөмийн шүүлтүүр хэрэглэн нэгэн зэрэг тодорхойлох жингийн аргыг үндэсний стандартаар батлуулжээ [127-129]. Мөн Н.Төвжаргал, Л.Энхцэцэг нарын баг агаарын тоосонцрын бүтцийг шинжлэх морфологийн иж бүрэн судалгаа хийж аргачлалыг өргөжүүлсэн байна [130-132].

Цөмийн аналитик аргын судалгаанаас гадна төрөл бүрийн дээжийг цацрагаар шарж, материалын өөрчлөлтийг судлах урьдчилсан судалгаанууд хийгдэж байна. ЦФСТ-ийн микротроноос гарах цацрагийг ашиглан Д.Баатархүү нар байгалийн чулууг цацрагаар шарж өнгөний хувирлыг, Д.Болортуяа нар полимер материалыг шарж өөрчлөлтийг судлах боломжийг судалсан байдаг. Харин өндөр хөгжилтэй орны цацрагийн үүсгүүрийг ашиглан Ц.Амартайван, О.Сүх нарын [133] баг цацрагаар боловсруулсан супер ус шингээгч гарган авах, Н.Отгонпүрэв [134] нар полимержилтын өөрчлөлтийг судлах ажлууд хийж эхний үр дүнг гарган авсан байна. 2021 оноос Б.Мөнхбатаар удирдуулсан баг төмс, лууван зэрэг төрөл бүрийн хүнсний ногоог рентген цацрагаар шарж, хадгалалтын хугацааг уртасгах боломжийг хайсан иж бүрэн судалгааг эрчимтэй хийж байна [135].

Сүүлийн жилүүдэд төвийн хэрэглээний судалгааны хүрээ улам өргөжиж хүний эрүүл мэнд, археологи, соёлын өвийг судлах хамгаалах, цөмийн аналитик аргыг хөгжүүлэхэд дэвшилтэд аргуудыг ашиглах боломжийг эрэлхийлсэн судалгаанууд улам эрчимжиж байна [136-137]. Үүнд, хавдрын эсэд рентген цацрагийн үйлчлэх механизмыг судлах, ПЭТ-СТ зэрэг эмнэлгийн төхөөрөмжийн хамгаалалтын

тооцооллыг орчин үеийн симуляци програмуудыг ашиглан тодорхойлох, археологи, соёлын өвийн дээжийг судлахад цөмийн аналитик аргыг ашиглах зэрэг ажлуудыг дурдаж болох юм. 2022 оноос ОУАЭА-ийн техник хамтын ажиллагааны дэмжлэгээр тус төв орчин үеийн Радиохимийн лабораторийг шинэчлэн байгуулж, холбогдох багаж, төхөөрөмжийг суурилуулан радиохимийн болон материалын судалгааны түвшинг шинэ шатанд гарахаар ажиллаж байна.

ДҮГНЭЛТ

Өнгөрсөн 60 жилийн хугацаанд Цөмийн физикийн судалгааны төв нь Монгол Улсад цөмийн физикийн суурь болон хэрэглээний судалгааг хөгжүүлэх, цөмийн арга, технологийг үйлдвэрлэлд нэвтрүүлэх ажлуудыг идэвхтэй хэрэгжүүлж иржээ.

Энэ хугацаанд тус төв нь цөмийн физикийн хэрэглээ, арга технологийн чиглэлээр эрдэм шинжилгээний 400 гаруй өгүүлэл, үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн ажил 8, патент 3, зохиогчийн гэрчилгээ 13, ашигтай загварын гэрчилгээ 2, Монгол Улсын стандарт 20 гаруйг боловсруулж батлуулсан байна.

Үе үеийн эрдэмтэн судлаачдын хийж бүтээсэн болон одоо хэрэгжүүлж байгаа судалгаануудыг харахад манай төв цаашид хөгжин дэвжих өөдрөг ирээдүй харагдаж байна.

ТАЛАРХАЛ

Цөмийн физикийн судалгааны төвийг өдий зэрэгт хүргэхэд бодит хувь нэмэр оруулсан үе үеийн эрдэмтэн, багш, судлаачид, цөмийн физик, технологи, инженерчлэлээр мэргэшин суралцсан төгсөгчид, манай төвтэй хамтран ажилладаг бүх хүмүүст 60 жилийн ойн баярын мэнд хүргэж, талархал дэвшүүлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] П.Зузаан, С.Даваа, Цөмийн физикийн судалгааны төв 40 жилд, МУИС-ийн хэвлэх үйлдвэр (2005).
- [2] С.Даваа, П.Зузаан, Н.Норов, Г.Хүүхэнхүү, Цөмийн физикийн судалгааны төв 50 жилд, Мөнхийн үсэг ХХК (2015).
- [3] С.Даваа, П.Зузаан, “Цөмийн физикийн судалгааны төв 50 жилд”, Sci. tran. NUM, Phys., 438(20), 1–6, (2015).
- [4] Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, “Электронные схемы для амплитудного и временного отбора импульсов”, МУИС ЭШБ 32, 116-119 (1970).
- [5] Ж.Ганзориг, П.Зузаан, Ж.Сэрээтэр, Ш.Гэрбиш, И.Чадраабал, Г.Үнэнбат, Г.Хүүхэнхүү,

- Л.Тогтохбаяр, "Ge(Li) гамма-спектрометр", МУИС ЭШБ 46, 65-73 (1973).
- [6] Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, Л.Тогтохбаяр, Д.Чүлтэм, "Установка для исследования миллисекундных изомеров, возбуждаемых быстрыми нейтронами 14 МэВ", МУИС ЭШБ 42, 21-29 (1973).
- [7] Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, Л.Дашзэвэг, Ж.Сэрээтэр, С.Лодойсамба, Г.Үнэнбат, Д.Шагжамба, "44 миллисекундный изотоп индий-114, МУИС ЭШБ 2(52), 61-69 (1975).
- [8] Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, Ж.Сэрээтэр, И.Чадраабал, Г.Үнэнбат, Д.Шагжамба, "Распад индий-112, МУИС ЭШБ 2(52), 71-81 (1975).
- [9] Б.Далхсүрэн, А.Г.Белов, Ш.Гэрбиш, Н.Ганбаатар, "Модуляция дейтронного пучка генератора нейтронов НГ-200", Нейтронная физика IV-М, 254-260 (1977).
- [10] Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, "Определение процентного содержания меди в образцах медных руд методом НАА", ШУА ФТХ-ийн бүтээл 12, 55-59 (1973).
- [11] П.Зузаан, Ж.Сэрээтэр, Г.Хүүхэнхүү, Ш.Гэрбиш, Д.Чүлтэм, "Циклический активационный анализ с перемещением образца", МУИС ЭШБ 43, 71-80 (1973).
- [12] Ш.Гэрбиш, Н.Содном, О.Отгонсүрэн, Ж.Сэрээтэр, Д.Чүлтэм, "Исследование радиоактивности древних костей ядернофизическими методами", МУИС ЭШБ 43, 81-95 (1973).
- [13] Т.Гун-Аажав, О.Отгонсүрэн, Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, Д.Чүлтэм, "Исследование радиоактивности костей динозавра с помощью гамма спектрометра", Атомная энергия 35 2, 130-132 (1973).
- [14] Ж.Ганзориг, Т.Гун-Аажав, О.Отгонсүрэн, Ж.Сэрээтэр, Ш.Гэрбиш, И.Чадраабал, Д.Чүлтэм, "НАА костей динозавра на уран, торий и РЗЭ", Атомная энергия 35 2, 349-351 (1973).
- [15] Н.Содном, Б.Далхсүрэн, А.Г.Ревенко, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа, "Применение рентгено-флуоресцентного спектрометра с полупроводниковым детектором для определения содержания элементов в рудах", Тезисы докладов первой научной международной конференции "Геология и полезные ископаемые восточной Монголии и сопредельно территории" Уланбаатор, с.11-13 (1977).
- [16] С.Лодойсамба, "Тооцон бодох электрон машинуудын холбоосын КАМАК стандартан универсал байгууламж", Зохиогчийн гэрчилгээ №219, Улаанбаатар (1981).
- [17] Н.Содном, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, П.Зузаан, Ж.Ганзориг, С.Лодойсамба, Ж.Сэрээтэр, "Цөмийн физикийн арга зүй боловсруулж, практикт хэрэглэж буй судалгааны дүнгээс", МАХН-ын 60 жилийн ойн МУИС-ийн багш нарын ЭШБХ Илтгэлүүдийн товчлол, Улаанбаатар, 8-9 (1982).
- [18] П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, Н.Содном, С.Лодойсамба, Ж.Сэрээтэр, "Цөмийн физикийн аргуудыг элементийн анализад хэрэглэсэн нь", МУИС ЭШБ 4(84), 15-31 (1983).
- [19] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Ж.Ганзориг, Б.Эрдэв, "Цөмийн идэвхжилийн анализын аргыг улс ардын аж ахуйн зарим салбарт хэрэглэх", ШУА-ийн мэдээ 4, 8-12 (1984).
- [20] Б.Отгоолой нар, "Нейтронно-активационный анализ вольфрамитов и медно-молибденовых концентратов с использованием надтепловых нейтронов", Препринт ОИЯИ, 18-81-819, Дубна (1981).
- [21] Ш.Гэрбиш, "Ядерно-физические методы определения основных и сопутствующих элементов медно-молибденовых руд и концентратов", МУИС ЭШБ Физик 3(132), 301-311 (1997).
- [22] Н.Содном, Б.Далхсүрэн, А.Г.Ревенко, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа, "Рентгенофлуоресцентный экспрессный метод определения содержания многоэлементных руд", В кн: Труды Монголо-Советской Керуленской геологической экспедиции "Вопросы геологии и металлогении восточной Монголии", г.Улан-Батор, с.33-47 (1979).
- [23] В.Я.Выропаев, А.Г.Белов, Н.Содном, Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа, "Рентген-флуоресцентное определение малых содержаний элементов от ванадия до молибдена с применением нового варианта эталонирования на спектрометре с полупроводниковым детектором", Препринт ОИВИ 18-2279, Дубна. (1979); Атомная энергия 49 2, 90-94 (1980).
- [24] Ш.Гэрбиш, С.Энхбат, М.Энхтуяа, "Экспрессная методика определения содержания серебра в концентратах меди", МУИС ЭШБ 4(57), 155-158 (1982).
- [25] П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, Н.Содном, А.Г.Ревенко, Б.Далхсүрэн, "Определение содержания ниобия в геологических образцах с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра с ППД", МУИС ЭШБ 4(54), 135-141 (1982).
- [26] С.Дандар, С.Дашдаваа, В.И.Сизых, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, "Некоторые особенности состава вольфрамитов модотинского рудного узла", В кн: Тезисы докладов III научной международной конференции "Вопросы геологии и полезных ископаемых центральной и восточной Монголии", Уланбаатор, с.31-32 (1982).
- [27] П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, Н.Содном, А.Г.Ревенко, "Применение полупроводниковых детекторов в РФА", МУИС ЭШБ 1,2, 103-117 (1982).
- [28] Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, Н.Содном, Ж.Сэрээтэр, С.Лодойсамба, "Исследование по разработке ядерно-физических методов анализа в Лаборатории ядерных исследований МонГУ", В кн: Труды IV совещания "Применение новых ядернофизических методов анализа в науке, технике и народном хозяйстве" Дубна ОИЯИ, Р18-82-117, с.267-269 (1982).
- [29] Б.Далхсүрэн, Д.Чүлтэм, Б.Эрдэв, П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, Н.Содном, "Рентгенфлуоресценцийн анализын аргыг задлан шинжлэх практикт хэрэглэх", ШУА-ийн мэдээ 4, 22-33 (1984).

- [30] Н.Содном, П.Зузаан, Ж.Ганзориг, Ш.Ганчимэг, Б.Далхсүрэн, Б.Ишмэнд, “Применение рентгено-флуоресцентного метода для определения некоторых элементов в медно-молибденовых рудах”, В сб: докладов научно- практической конференции “Проблемы развития горно-добывающей промышленности МНР и подготовка квалифицированных инженерных кадров для горной промышленности”, Улан-Батор, с.3 (1983).
- [31] П.Зузаан, Н.Содном, “Олон элементийг энергиэр ялгах РФА арга”, Оновчтой санал №9888, Улаанбаатар (1985).
- [32] П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, Н.Содном, “Стандарт-фоны аргын нэгэн хувилбар”, Оновчтой санал №16650, Улаанбаатар (1988).
- [33] А.Г.Ревенко, Г.П.Петрова, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, Л.Паринова, Е.А.Грачева, “Исследование возможности рентгеноспектрального определения содержания элементов в растительных материалах”, В кн: Тезисы докладов, 50 лет отечественного рентгеновского приборостроения и XII всесоюзное совещание по рентгеновской спектроскопии, Ленинград, с.21 (1978).
- [34] А.Г.Ревенко, П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, “Разработка анализа природных материалов для рентгеновского спектрометра с ШПД”, В кн: Тезисы докладов, II всесоюзной конференции по автоматизации анализа химического состава вещества, Москва, с.30 (1980).
- [35] П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, А.Мөнгөнцэцэг, А.Г.Ревенко, Г.Содномдорж, “Определение некоторых элементов в природной воде с помощью радиоизотопного РФА”, В кн: Тезисы докладов международной конференции “Природное условия и ресурсы некоторых районов в МНР”, Иркутск, с.56-57 (1981).
- [36] Б.Батжаргал, Ц.Жамсран, П.Зузаан, Г.М.Шпейзер, В.А.Родиопова, “К вопросу исследования антропогенеза ландшафта промышленного района Эрдэнэт”, В кн: Тезисы докладов, XI международной научной конференции по результатам работы МСКХ экспедиции, с.62-64 (1982).
- [37] Н.Содном, Х.Сиразет, Ж.Ганзориг, П.Зузаан нар, “Байгаль орчны бохирдолтыг судлахад цөмийн физикийн арга хэрэглэх нь”, ШУА-ийн мэдээ 4, 14-21 (1984).
- [38] Б.Батжаргал, П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, В.П.Мартынов, А.С.Мартынова, А.Г.Ревенко, “Геохимия некоторых элементов в тундровых почвах прихубсугуль”, В кн: Тезисы докладов, Международной конференции, “Природные условия и ресурсов некоторых районов МНР”, Улан-Батор, с.54-55 (1980).
- [39] Б.Батжаргал, В.П.Мартынов, П.Зузаан, Н.Содном, “Некоторые почвенно-геохимические характеристики элементарных почвенных ареалов в северном Прихубсугулье”, В кн: Тезисы докладов XIII международной конференции по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции, Улан-Батор, с.94 (1984).
- [40] П.Зузаан, Н.Содном Б.Батжаргал, “К вопросу о подготовке почвенных образцов для валового анализа”, В кн: Тезисы докладов XIII международный конференции по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции, УБ, с.93 (1984).
- [41] Ш.Гэрбиш, Н.Содном, “Методика энергодисперсивного РФА для определения основных и сопутствующих элементов медно-молибденовых руд”, МУИС ЭШБ 1(54), 3-25 (1978).
- [42] Ш.Гэрбиш, Н.Содном, “РФА аргаар зэсийн концентрац дахь мөнгө тодорхойлох арга”, Зохиогчийн гэрчилгээ №224, (1981).
- [43] Д.Баатархүү, Ж.Ганзориг, Ж.Сэрээтэр, П.Улаанхүү, Д.Чүлтэм, “Хүдэр баяжмал дахь хайлуур жоншны хэмжээг тодорхойлох төхөөрөмж”, Зохиогчийн гэрчилгээ №302, Улаанбаатар (1984).
- [44] Ж.Ганзориг, Д.Чүлтэм, Ж.Сэрээтэр, П.Улаанхүү, Д.Шагжамба, Б.Отгоолой, С.Лодойсамба, П.Аюурзана, Ж.Пүрэв, “Автомашин дээр ачсан хайлуур жоншны хүдрийг шинжлэх нейтрон идэвхжилийн төхөөрөмж”, Зохиогчийн гэрчилгээ №418, Улаанбаатар (1987).
- [45] Н.Гансүх, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, “Сарнилын пикийг ашигласан тулгуур параметрийн арга”, МУИС ЭШБ 3(132), 159-169 (1997).
- [46] П.Зузаан, Н.Гансүх, Б.Далхсүрэн, Д.Жаргалсайхан, “Ховор шорооны зарим элементийг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн анализын арга”, МУИС ЭШБ 2(125), 26-36 (1996).
- [47] Ш.Гэрбиш, А.Н.Смагунова, Д.Дорж, О.Болормаа, “Использование спектрометра с полным внешним отражением при РФА объектов окружающей среды”, В кн: Тезисы докладов V конференция Аналитика Сибири и дальнего востока, Новосибирск. с.174 (1996).
- [48] Ш.Гэрбиш, Г.Ганчимэг, Ж.Баярмаа, Н.Сайжаа, “Ундны усны чанарын зарим үзүүлэлтүүд”, Урьдчилан сэргийлэх анагаах ухааны асуудал онол практикийн бага хурлын илтгэлийн хураангуй, Улаанбаатар, х.19 (1998).
- [49] Ж.Баярмаа, Ш.Гэрбиш, “Хүнсний бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт элемент, хортой хүнд металл тодорхойлох”, Бүс нутгийн хөгжил, мэдээлэлийн технологи-2000, Илтгэлийн хураангуй, Завхан, х.148-161 (2000).
- [50] Ж.Баярмаа, Б.Далхсүрэн, Ц.Цэрэнгомбо, “Баруун бүсийн аймгуудын усны хүнд металлыг БОРФШ-ний аргаар судалсан нь”, МУИС ЭШБ 167(9), 45 (2002).
- [51] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, Н.Балжинням нар, “Хүнсний бүтээгдэхүүн нэмж байгаа химийн зарим элементүүдийг тодорхойлох цөмийн физикийн аргууд”, МУИС ЭШБ 179(10), 242-246 (2003).
- [52] Н.Гансүх, С.Даваа и др., “Разработка и внедрение методико-математического обеспечения для Контроля технологических

- продуктов ГОК “Эрдэнэт” на порошковых анализаторах СРМ-25”, Үйлдвэрт шилжсэн ажлын тайлан, Эрдэнэт (1999).
- [53] Н.Гансүх, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн, А.Ариунаа, Ц.Цэрэнчимэд, Ц.Долгоржав, “Разработка и внедрение методико-математического обеспечения для контроля технологических продуктов ГОК “Эрдэнэт” на пульповых Анализаторах АР-31”, Үйлдвэрт шилжсэн ажлын тайлан”, Эрдэнэт (2000).
- [54] П.Зузаан, Б.Эрдэмчимэг, “Разработка методики энергодисперсионного рентгено-флуоресцентного определения содержания некоторых элементов в продуктах обогащения ГОК Эрдэнэт”, IV Всероссийская конференция по рентгеноспектральному анализу, Тезисы докладов, Иркутск, с.29 (2002).
- [55] П.Зузаан, Н.Гансүх, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн, “Определение меди, молибдена, железа и твердой фазы в пульпообразных продуктах ГОК “Эрдэнэт” Монголии с помощью рентгеновского спектрометра АР-31”, В кн: Тезисы докладов, Всероссийской конференции “Аналитика России”, посвященной 100 летию со дня рождения академика И.П.Алимарина, с.269 (2004).
- [56] Б.Отгоолой, Х.Серажит, Д.Чүлтэм, Ж.Ганзориг, “Органик бодис дахь азотын хэмжээг тодорхойлох байгууламж”, Зохиогчийн гэрчилгээ №419, Улаанбаатар (1988).
- [57] Б.Отгоолой, И.Чадраабал, Д.Чүлтэм, “Нейтрон идэвхжилийн арга”, Үндэсний хөгжлийн газар, Зохиогчийн гэрчилгээ №589, Улаанбаатар (1991).
- [58] Б.Отгоолой, Д.Лхагвасүрэн, И.Чадраабал, Д.Чүлтэм, Д.Шагжжамба, “Газрын гадаргаас эртний амьтдын ясыг танадах арга”, Үндэсний хөгжлийн газар, Зохиогчийн гэрчилгээ №742, Улаанбаатар (1992).
- [59] Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, “Уран, торий тодорхойлох гамма спектрометрийн арга”, МУИС ЭШБ 2(125), 11-17 (1996).
- [60] Н.Ганбаатар, Ш.Гэрбиш, Ж.Сэрээтэр, “Ураны хүдрийн дээжид радий, ураны харьцаа тодорхойлох харьцангуй арга”, МУИС ЭШБ 2(125), 73-76 (1996).
- [61] Б. Далхсүрэн, Ж.Ганзориг, Н.Гансүх, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан нар, “Баруун Монголын нүүрсний орд газрын элементийн агуулгыг цөмийн физикийн аргаар судалсан нь”, МУИС ЭШБ 3(132), 145-151 (1997).
- [62] Д.Баатархүү, А.Г.Белов, П.Г.Бондаренко, Ш.Гэрбиш, С.Даваа нар, “Электроны цикл хурдасгуур микротрон МТ-22”, МУИС ЭШБ Физик 4(137), 109-119 (1998).
- [63] Д.Баатархүү, А.Г.Белов, Б.Далхсүрэн, Н.Норов, “Микротронд хурдассан электроны эрчмийг нэмэгдүүлж, байд гарах боломжийг өргөтгөх”, МУИС ЭШБ 179(10), 133-140 (2003).
- [64] Д.Баатархүү, А.Г.Белов, Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Б.Сэргэлэн, Н.Норов, З.Цагаанхүү, “Электроны цикл хурдасгуур микротрон МТ-22-д хурдассан электроны гүйдлийн үзүүлэлт”, МУИС ЭШБ 9(167), 109-119 (2002).
- [65] Б.Отгоолой, П.Зузаан, С.Одмаа, Д.Баатархүү, “Резонансын нейтроны идэвхжилээр алтны агуулгыг тодорхойлох асуудал”, МУИС ЭШБ 179(10), 173-178 (2003).
- [66] Sh. Gerbish, G. Ganchimehg, D. Baatarkhuu, G. Ganbold, A.G. Belov, “Bulk analysis method of gold determination in ores using epithermal neutrons of electron accelerator microtron МТ-22”, Preprints JINR-E-18-2004-96, (2004).
- [67] Л.Баянжаргал, Д.Сангаа, Д.Баатархүү, “Болорын кристаллд 22 МэВ энергитэй электроны үйлчлэлээр үүссэн эвдрэлийн рентгенграфын судалгаа”, МУИС ЭШБ 179(10), 99-105 (2003).
- [68] Ч.Баярхүү, Д.Баатархүү, Н.Ганбаатар, М.Тамара, “Модны үртсийг цөмийн цацрагаар шарж боловсруулах биотехнологийн судалгаа”, МУИС ЭШБ 179(10), 190-194 (2003).
- [69] Д.Төмөрбаатар, Д.Баатархүү, Н.Оюунханд, Д.Төгсбаяр, “Зусах буудайд гамма цацрагийн үзүүлэх нөлөө”, МУИС ЭШБ 179(10), 205-213 (2003).
- [70] Ш.Гэрбиш, Н.Балжинням, Л.Мөнгөнцэцэг, Н.Пүрэвжав, Б.Батбаяр, П.Жавхлан, Д.Баатархүү, “Шүдний хатуу эдийн найрлагыг тодорхойлох цөмийн физикийн судалгаа”, МУИС ЭШБ 179(10), 234-241 (2003).
- [71] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, Н.Балжинням, Д.Баатархүү, Б.Далхсүрэн, О.Отгонсүрэн, “Хүнсний бүтээгдэхүүнд нэмж байгаа химийн зарим элементүүдийг тодорхойлох цөмийн физикийн аргууд”, МУИС ЭШБ 179(10), 242-245 (2003).
- [72] Ш.Гэрбиш, Д.Рэгдэл, Д.Долгор, М.Баяржаргал, Н.Балжинням, “Уураг (ампет) эрдэс найрлагын шинжилгээ”, МУИС ЭШБ 179(10), 246-247 (2003).
- [73] Ш.Гэрбиш, Г.Пүрэвдорж, Н.Балжинням, О.Отгонсүрэн, Б.Далхсүрэн, Д.Баатархүү, “Тарваганы хүн махны борц, түүний шатаасан үнсэнд гамма идэвхижилийн шинжилгээний аргаар хийсэн судалгаа”, МУИС ЭШБ 179(10), 248-250 (2003).
- [74] П.Зузаан, Б.Отгоолой, “Тормозын гамма-цацрагаар болон дулааны нейтроноор нэгэн зэрэг шарах идэвхжилийн шинжилгээний харьцангуй арга”, МУ-ын шинэ бүтээлийн патент №3484, Улаанбаатар (2010).
- [75] П.Зузаан, Б.Отгоолой, “Тормозын гамма-цацрагаар болон дулааны нейтроноор нэгэн зэрэг шарах төхөөрөмж”, МУ-ын шинэ бүтээлийн патент №3485, Улаанбаатар (2010).
- [76] Б.Отгоолой, “Устөрөгчийн агуулгыг нейтроны нэг удаагийн сарнилаар тодорхойлох арга”, МУ-ын шинэ бүтээлийн патент №3486, Улаанбаатар (2010).
- [77] Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Б.Отгоолой, Р.Маахүү, “Фофорит, түүний дагалдах технологийн бүтээгдэхүүнд уран тодорхойлох цөмийн физикийн аналитик арга”, Хүрэл тогоот-2012 ЭШ-ний бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл, Улаанбаатар, 127-136 (2012).

- [78] Ж.Идэрмөнх, Г.Дамдинсүрэн, П.Зузаан, Б.Отгоолой, “Нейтрон идэвхжилийн аргаар ховор шорооны зарим элемент тодорхойлох тохиромжтой нөхцөлийг сонгох нь”, Хүрэл тогоот-2012 ЭШ-ний бага хурлын илтгэлүүдийн эмхэтгэл, Улаанбаатар, х.207-215 (2012).
- [79] P. Zuzaan, D. Bolortuya, Z. Damdinsuren, V. Enkhsetseg, B. Erdenebayar, “X-Ray Fluorescence Technique for Determination of Some Rare Earth Elements”, Proceedings of the 3rd International School on Contemporary Physics, Ulaanbaatar, p.249-252 (2005).
- [80] N. Norov, D. Azzaya, D. Bolortuya, P. Zuzaan, N. Enkhbat, “Result of Study for Soils from Some Sums of Gobi Region in Mongolia”, Proceedings of International Conference on X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, p.169- 177 (2006).
- [81] R. Baigalmaa, D. Bolortuya, Ts. Tserendulam, P. Zuzaan, “Pollution of Soil, Plant and Water in Around Erdenet City”, International Conference on Contemporary Physics-IV, Ulaanbaatar, p.81-83 (2007).
- [82] R. Baigalmaa, D. Bolortuya, Ts. Tserendulam, P. Zuzaan, “Environmental Pollution During Gold Exploration”, International Conference on Contemporary Physics-IV, Ulaanbaatar, p.84-85 (2007).
- [83] D. Bolortuya, P. Zuzaan, “Nuclear Techniques for Determination of Copper Mineral Content and Quality Control of Products”, Proceeding of Conference on Copper mineral processing – Hydrometallurgy, Erdenet, p.51-57 (2007).
- [84] P. Zuzaan, N. Gansukh and D. Bolortuya, “Radionuclide Induced Energy Dispersive X-Ray Fluorescence for the Determination of La, Ce, Pr and Nd and Their Content Sums in the Rare-Earth Ores”, X-Ray Spectrom. 39, 52–56 (2010).
- [85] D. Bolortuya, P. Zuzaan, “Determination of Uranium in Natural Samples using XRF”, Proceeding of All Russian VII Conference on X-Ray Spectral Analysis, Novosibirsk, p.118 (2011).
- [86] D. Bolortuya, P. Zuzaan, “Determination of Some Major and Minor Elements in REEs Ore Sample using Secondary and Polarization Targets of EDXRF Spectrometry”, Proceedings of the 3rd International Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.180-183 (2012).
- [87] D. Bolortuya, G. Gerelmaa, S. Lodoysamba, D. Shagjjamba, P. Zuzaan, “Result of the Determination of Minor and Trace Elements in Natural Soil using EDXRF method at Nuclear Research Center, NUM which was compared with the Worldwide XRF Proficiency Test”, Proceedings of the 3rd International Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.187 (2012).
- [88] D. Bolortuya, P. Zuzaan, M.B. Gustova and O.M. Maslov, “Study of the Correlation between the Coal Calorific value and Coal Ash Content Using X-Ray Fluorescence Analysis”, Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, Letters 10 7(184), 1184-1187 (2013).
- [89] Ш.Гэрбиш, “Зэс молибденийн хүдэр баяжуулах үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний элементийн найрлагыг тодорхойлох арга”, МУ-ын шинэ бүтээлийн патент №611, Улаанбаатар (2002).
- [90] Ш.Гэрбиш, Г.Ганболд, “Зэс молибденийн хүдэр баяжуулах үйлдвэрийн бүтээгдэхүүний элементийн найрлагыг тодорхойлох РФА арга”, Оюуны өмчийн газар, Ашигтай загварын гэрчилгээ №978, Улаанбаатар (2004).
- [91] Г.Ганболд, Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, Ц.Цэндээхүү, “Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг биомонитор ашиглан тодорхойлох”, Оюуны өмчийн газар, Ашигтай загварын гэрчилгээ №1063, Улаанбаатар (2004).
- [92] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, “Усны чанар. Хортой хүнд металл тодорхойлох рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5032:2001.
- [93] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, “Исгэлтийн бүтээгдэхүүнд хортой, хүнд металл, химийн зарим элементийг тодорхойлох-Бүрэн ойлтын рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5036:2001.
- [94] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, “Нөөшилсөн жимс, хүнсний ногоонд хортой, хүнд металл, химийн зарим элементийг тодорхойлох-Бүрэн ойлтын рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5228:2002.
- [95] Ш.Гэрбиш, Л.Мөнгөнцэцэг, Б.Батбаяр, “Шүдний хатуу эд. Хүнд металл, химийн зарим элементийг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5324:2003.
- [96] D. Bolortuya, S. Battsetseg, Kh. Tuvshin-Erdene, P. Zuzaan & Ts. Zolbadral, “EDXRF Analysis of Automotive Paints in Mongolia”, Proceedings of the 2nd International Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.63-68 (2009).
- [97] D. Bolortuya, P. Zuzaan, A. Munkhzorig, “Quality Control of Gold Purity by XRF”, Proceeding of Conference on Seminar of the Khurel Togoot for Science, Ulaanbaatar, p.54-60 (2009).
- [98] D. Bolortuya, P. Zuzaan, E. Tuvshin-Erdene, “Study of Gun-Shot Residue by XRF Spectrometry”, Book of Abstracts of European Conference on X-Ray Spectrometry EXRS-2010, Figueira da Foz, Coimbra, p.206 (2010).
- [99] D. Bolortuya and P. Zuzaan, “Application of X-Ray Fluorescence Analysis for Forensic Science in Mongolia”, Analytics and Control 21 4, 332-335 (2017).
- [100] P. Zuzaan, Z. Damdinsuren, D. Bolortuya, S. Lodoysamba, “X-Ray Fluorescence Technique for Determination of Elemental Contents in Shivee-Ovoo and Baganuur Coal Mines of Mongolia”, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 225(12), 55-57 (2005).
- [101] D. Bolortuya, Z. Damdinsuren, S. Lodoysamba & P. Zuzaan, “X-Ray Fluorescence Technique for Coal Ash Determination”, Proceedings of International Conference on X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, p.79-88 (2006).
- [102] D. Bolortuya, S. Davaa, P. Zuzaan, Ts. Tserendulam, S. Enkhbat, “Determination of Chemical Elements in Coal by X-Ray Fluorescence

- Analysis Technique”, Proceedings of International Conference on X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, p.132-134 (2006).
- [103] D. Bolortuya, P. Zuzaan, S. Lodoysamba & Z. Damdinsuren, “Method for determination of coal quality parameters. Proceeding of Conference on Seminar of the Khurel Togoot for Science, Ulaanbaatar, p.58-62 (2008).
- [104] П.Зузаан, С.Лодойсамба, З.Дамдинсүрэн, Д.Болортуяа, “Нүүрсний үнслэг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5673:2006.
- [105] П.Зузаан, С.Лодойсамба, З.Дамдинсүрэн, Д.Болортуяа, “Нүүрсний зарим элементийн агуулга тодорхойлох рентген-флуоресценцийн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5674:2006.
- [106] П.Зузаан, С.Лодойсамба, З.Дамдинсүрэн, Д.Болортуяа, “Нүүрсний илчлэг тодорхойлох түргэвчилсэн арга”, МУ-ын стандарт MNS 5675:2006.
- [107] S. Lodoysamba, D. Shagijamba, M. Chadraabal, “Identification of Air Pollution Sources of Ulaanbaatar City by results of PIXE Analysis”, Proceedings of Conference on X-Ray Analysis, Ulaanbaatar, p.132-134 (2006).
- [108] S. Lodoysamba, D. Shagijamba, “Soil Apportionment in Ulaanbaatar City Air Pollution Sources”, Proceedings of International Conference on Contemporary Physics-IV, Ulaanbaatar, p.160-164 (2007).
- [109] S. Lodoysamba, D. Shagijamba, G. Gerelmaa, “Characterization of PM2.5 and PM10-2.5 air pollution of Ulaanbaatar city”, Transaction of the National University of Mongolia. Physics 309(15), 1-4 (2009).
- [110] S. Lodoysamba, D. Shagijamba, G. Gerelmaa, “Determination of PM2.5 and PM10-2.5 concentration and air pollution source apportionment Ulaanbaatar city, using PIXE analysis”, Proceedings of the 2nd International Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.109-122 (2009).
- [111] S. Lodoysamba, D. Shagijamba, C.A. Hasenkopf, G. Gerelmaa, B. Bulgansaikh, “Results of Source Apportionment by Receptor Modeling of Ulaanbaatar city”, Proceedings of the 18th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere and Climate Change, Ulaanbaatar, p.121 (2012).
- [112] Д.Болортуяа, П.Зузаан, “Академич Н.Содномын мэндэлсний 100 жилийн ойд зориулсан “Рентген шинжилгээ” олон улсын эрдэм шинжилгээний зургаадугаар хурал”, МУИС ЭШБ Физик 35(594), х.13–20 (2024).
- [113] D. Bolortuya, P. Zuzaan, M.B. Gustova and O.M. Maslov, “Study of the Correlation between the Coal Calorific value and Coal Ash Content Using X-Ray Fluorescence Analysis”, Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, Letters 10 7(184), 1184-1187 (2013).
- [114] T.Yu. Cherkashina, D. Bolortuya, A.G. Revenko and P. Zuzaan, “Development of X-Ray Fluorescence Technique for the Uranium Determination in Mongolian Coal, Coal Ash, and Phosphate ORE”, Analytics and Control 10, 4, 404-410 (2014).
- [115] D. Bolortuya, P. Zuzaan, D. Baatarkhuu, G. Damdinsuren, R. Maakhuu and O. Sukh, “Study for Determination of Some Major and Minor Elements in REEs Ore Sample using X-Ray Fluorescence and Activation Analysis”, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 438(20), 39 (2015).
- [116] G. Damdinsuren, P. Zuzaan, D. Bolortuya, N. Otgonpurev and O. Sukh, “Determination of Heavy and Toxic Elements in Samples of Soil, Sediment and Clay from around Tuul River using Nuclear Analytical Methods”, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 20(438), 35 (2015).
- [117] Ts.Amartaivan, L.Odonsatsral, Ts.Javzandolgor, “TXRF Analysis of Soil, Water Samples and Blood Serum of Cattle from the Places near Iron Mining”, Abstract book of the 4th International Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.63-68 (2015).
- [118] D. Bolortuya, P. Zuzaan, Z. Batsuren, “Determination Study of Some Chemical Elements in Human Head Hair by EDX Analysis with a Scanning Electron Microscope”, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 25(478), 113-116 (2017).
- [119] G. Damdinsuren, A. Tsogzolmaa, Ts. Amartaivan, D. Bolortuya, P. Zuzaan, “Study of Atomic-Nuclear Method for Determination of Macro and Micro Elements in Some Vegetables, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 30(527), 52-56 (2020).
- [120] N. Otgonpurev, D. Bolortuya, D. Shagijamba, P. Zuzaan, “Some Results of the International Proficiency Test for Air Particulate Matters”, Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 30(527), 90-93 (2020).
- [121] T. Amartaivan and P. Zuzaan, “Trace Elements Analysis of Blood Samples and Serum Using Total Reflection X-Ray Fluorescence”, X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation and Applications, Edited by V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, Jonh Wiley & Sons Ltd., p.265-269 (2022).
- [122] D. Bolortuya and P. Zuzaan, “X-Ray Fluorescence Analysis of Human Hair”, X-Ray Fluorescence in Biological Sciences, Principles, Instrumentation and Applications, Edited by V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, Jonh Wiley & Sons Ltd., p.405-418 (2022).
- [123] P. Zuzaan and D. Bolortuya, “X-Ray Fluorescence Studies of Biological Objects in Mongolia”, X-Ray Fluorescence in Biological Sciences: Principles, Instrumentation and Applications, Edited by V.K. Singh, J. Kawai, D.K. Tripathi, Jonh Wiley & Sons Ltd., p.591-607 (2022).
- [124] Z. Damdinsuren, P. Zuzaan, Bolortuya Damdinsuren, “Brief overview of x-ray fluorescence applications in Mongolian brown coal”, X-Ray Spectrom. 53 2, 153-158 (2023).

- [125] E. Sosorburam, D. Bolortuya, B. Davaasuren, U. Bayanjargal, Ts. Ganzul, and P. Zuzaan, "Determination of Some Heavy and Toxic Elements in Soil Samples Around a Vehicle Battery Disassembly Site Using X-Ray Fluorescence and Neutron Activation Analysis", Abstract book of the 6th International Hybrid Conference on X-ray Analysis, Ulaanbaatar, p.66 (2023).
- [126] P. Zuzaan, Z. Batsuren, O. Enkhtuya, E. Sosorburam, Bolortuya Damdinsuren, "Analysis of lichen and moss samples by the EDXRF method", X-Ray Spectrom. 54 2, 127-132 (2025).
- [127] Gerelmaa Gunchin, Janos Osan, Alessandro Migliori, Dagva Shagijamba, Christina Strela, "Chromium and zinc speciation in airborne particulate matter collected in Ulaanbaatar, Mongolia, by X-ray absorption near-edge structure spectroscopy", Aerosol and Air Quality Research 21 8, 210018 (2021).
- [128] D. Shagijamba, S. Lodoysamba, P. Zuzaan, D. Bolortuya, "Results of Some Years Study on the Ulaanbaatar City Air Pollution", Mongolian Scientific Journal of the Research and Analysis of the Parliament 04, 168-179 (2022).
- [129] Д.Шагжамба, Г.Гэрэлмаа, С.Лодойсамба, П.Зузаан, "Агаарын чанар. Агаар дахь нарийн ба том тоосонцрын агууламжийг цөмийн шүүлтүүр хэрэглэн нэгэн зэрэг тодорхойлох жингийн арга", МУ-ын стандарт MNS 6547:2015.
- [130] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжамба, П.Зузаан, "Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын морфологийн судалгаа", МУИС ЭШБ Физик 25(478), 133-139 (2017).
- [131] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, П.Зузаан, Д.Шагжамба, Ц.Амартайван, "Агаарын PM_{2.5} тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгааны зарим үр дүнгээс", МУИС ЭШБ Физик 28(510), 62-66 (2019).
- [132] N. Tuvjargal, L. Enkhtsetseg, D. Shagijamba, P. Zuzaan, Ts. Amartaivan, "Morphological Compared Study of PM_{2.5} Particles in Air Pollution of Ulaanbaatar", Solid State Phenomena 323, 119-124 (2021).
- [133] О.Сүх, Ц.Амартайван, "Цацрагаар боловсруулсан супер ус шингээгч гарган авсан судалгааны эхний дүн", МУИС ЭШБ Физик 23(455), 127-129 (2016).
- [134] N. Otgonpurev, "Evaluation of PE/PP-GMA fabric for the Adsorption of Lead and Lithium Ions: A Study on Selectivity and Performance", Scientific Transaction of the National University of Mongolia. Physics 36(605), 61-66 (2024).
- [135] Р.Чинзориг, Б.Мөнхбат, А.Төрсүх, Г.Манлайжав, "Бага чадлын Рентген шарах төхөөрөмжийг ашиглан төмсний хадгалагдах хугацааг тасалгааны температурт уртасгасан нь", Mongolian Journal of Engineering and Applied Sciences 7(1), (2025).
- [136] Ж.Батмягмар, Г.Хүүхэнхүү, М.Одсүрэн, О.Одгэрэл, "Ходоодны хавдрын эсэд рентген цацрагийн үйлчлэх механизм", МУИС ЭШБ Физик 33(562), 6-10 (2022).
- [137] Ц.Ганзул, Д.Болортуяа, М.Одсүрэн, "РЕТ/СТ оношилгооны үеийн цацрагийн хамгаалалт, тунгийн тооцоолол", МУИС ЭШБ Физик 36(605), 40-44 (2024).
- [138] D. Bolortuya, Masafumi Nishimoto, Mohamed Shameer, Jun Kawai, Hussain Alawadhi, and Shinichi Ishizuka, "Sample thickness effect on quantitative analysis by hand-held X-ray fluorescence spectrometers", X-Ray Spectrom. 54 4, 359-365 (2025).

On the 60th Anniversary of the Nuclear Research Center, NUM: Research on Nuclear Applications and Technologies

D. Bolortuya* and P. Zuzaan

*Nuclear Research Center, National University of Mongolia,
Enkhtaivnii Urgan Chuluu 122/1, Ulaanbaatar 13330, Mongolia
E-mail: bolortuya_d9@num.edu.mn

Since its establishment in 1965, the Nuclear Research Center has been actively engaged in both fundamental and applied research in nuclear physics, as well as in the development and implementation of nuclear methods and technologies for end users. During this period, over 400 scientific articles have been published in the field of nuclear applications and technologies. In addition, 8 technologies have been introduced into industrial use, 3 patents have been granted, 13 certificates of authorship and 2 utility model certificates have been obtained, and 20 Mongolian national standards have been developed and approved. This review article aims to briefly summarize the research activities undertaken over the past sixty years by the scientists and researchers of the Nuclear Research Center, NUM, with a particular focus on applied nuclear research, the development of nuclear methods and technologies.