

Монгол Улсад Рентген-Флуоресценцийн Судалгаа Үүсч Хөгжсөн нь

П. Зузаан, Ц. Амартайван, С. Даваа

Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн Физикийн Судалгааны Төв

Монгол улсад рентген-флуоресценцийн судалгаа, шинжилгээ үүсч хөгжсөнийг багаж төхөөрөмжийн сонголт, суурилуулалт; онол, аргазүйн боловсруулалт; хэрэглээ ба үр дүн; хүний нөөцийн хөгжил гэсэн чиглэлээр энэхүү тоймд ерөнхийлэн авч үзсэн болно.

I. УДИРТГАЛ

Цөмийн физикийн судалгааны төв 50 жилийн хөгжлийн явцдаа цөмийн физикийн шинжлэх ухааны хэд хэдэн чиглэлийг эх орондоо үүсгэн хөгжүүлсний нэг нь рентген-флуоресценцийн судалгааны чиглэл юм.

МУИС-ийн Цөмийн шинжилгээний лаборатори (ЦШЛ) 1975 онд Олон улсын атомын энергийн агентлаг (ОУАЭА)-ийн техникийн хамтын ажиллагааны тусламжийн анхны төслөөр цацраг идэвхт изотопон үүсгүүр, хагас дамжуулагч литийт цахиур Si(Li), литийт германи Ge(Li) детектор бүхий ОРТЕК фирмийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометр (ЭЯРФС) авснаар манай улсад рентген-флуоресценцийн судалгааны чиглэл хөгжих эхлэл тавигдсан юм [1]. Ийнхүү рентген-флуоресценцийн шинжилгээ (РФШ), судалгаа Монгол улсад үүсч хөгжсөний 40 жилийн ой энэ онд тохиож байна.

Энэхүү судалгааны чиглэлийг дараах байдлаар авч үзэж болно:

- A. Багаж төхөөрөмжийн сонголт, суурилуулалт
- B. Онол, аргазүйн боловсруулалт
- C. Хэрэглээ ба үр дүн
- D. Хүний нөөцийн хөгжил

Монгол улсад рентген-флуоресценцийн судалгаа, шинжилгээ хийх, хөгжүүлэх санаачлагыг академич Н.Содном гаргасан бөгөөд ОУАЭА-ийн анхны техникийн тусламжийн төслийг Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа нар амжилттай хэрэгжүүлж, рентген-флуоресценцийн шинжилгээг Монгол улсад анхлан хийсэн байна.

A. Багаж төхөөрөмжийн сонголт, суурилуулалт

МУИС-ийн ЦШЛ анх цацраг идэвхт изотопон цэгэн үүсгүүр (^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{241}Am), 1024 сувгийн Камберра анализатор, шингэн азотоор хөргөдөг Si(Li) ба Ge(Li) детектор бүхий ОРТЕК фирмийн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн төхөөрөмж авч суурилуулан дээж болон үүсгүүр баригч, шахмал дээж бэлтгэх хэв зэрэг холбогдох зүйлсийг зохион

бүтээж судалгаа, шинжилгээ хийх лаборатори байгуулсан. Тус лаборатори 1976 оноос төрөл бүрийн аналитик асуудлыг шийдэхэд литийт цахиур ба литийт герман детектор бүхий рентген- флуоресценцийн спектрометр (РФС)-ийг хэрэглэх судалгааны ажлыг эхлэсэн [2,3]. Хагас дамжуулагч детектор, цацраг идэвхт изотопон үүсгүүр бүхий рентген спектрометрээр тоон шинжилгээ хийх аргазүй боловсруулах, түүнийг практикийн чухал ач холбогдол бүхий асуудал шийдэхэд хэрэглэх талаар 1976-1982 онд хийсэн судалгааны талаар [4] ажилд тоймлон, мөн Ge(Li) ба Si(Li) детекторуудаар бүртгэсэн хэмжилтийн үр дүнг автоматжуулах, on-line боловсруулах талаар [5] ажилд өгүүлжээ.

Улмаар 1985 онд РФШ-д рентген хоолойг өдөөгч болгон ашигласнаар аргын мэдрэх чадвар сайжирч, тодорхойлох элементийн тоо нэмэгдэж, уг аргыг хүрээлэн байгаа орчны судалгаанд хэрэглэх боломжтой болсноор хөрс, ургамал, ус, агаарын дээжид биологийн идэвхт ба зарим хортой, хүнд элемент тодорхойлох судалгааны ажил хийжээ.

Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний аргын мэдрэх чадварыг сайжруулах, хэрэглэгдэх хүрээг өргөтгөх зорилгоор 1993 онд ОУАЭА-ийн техникийн хамтын үйл ажиллагааны тусламжаар шингэн дээжинд шинжилгээ хийх бүрэн ойлтын рентген-флуоресценцийн спектрометр авч ашиглалтанд оруулан, хүнсний бүтээгдэхүүнд хүнд металл, химийн зарим хортой элементүүд тодорхойлох аргазүй боловсруулан манай орны эрүүл ахуйн хяналтын судалгаанд амжилттай ашиглаж иржээ.

2002-2005 онд манай судлаачид нүүрсний үнслэг тодорхойлох зорилгоор кадми-109 цацраг идэвхт үүсгүүртэй, пропорционал тоолуур бүхий рентген анализатор зохион бүтээж, түүгээр үнслэг тодорхойлох аргазүй боловсруулсны зэрэгцээ хэмжиж олсон үнслэгийн утгыг ашиглан илчлэгийг тооцоолон тодорхойлох арга боловсруулсан нь практикийн чухал ач холбогдолтой ажил болжээ. Уг ажлыг Дулааны 4-р цахилгаан станцад шилжүүлсэн байна.

Монгол улсад ЦФСТ-өөс гадна Монгол-Оросын хамтарсан “Эрдэнэт” Уулын баяжуулах

үйлдвэр, Геологийн төв лаборатори, ШУА-ийн Физик-технологийн хүрээлэн, ШУТИС, Шүүхийн шинжилгээний төв лаборатори зэрэг эрдэм шинжилгээ, сургалт, үйлдвэрлэлийн олон газрууд РФШ-ний орчин үеийн багаж төхөөрөмжүүдийг авч ажиллуулж байна [6]. Эдгээр газруудад өөрсдийн ажлын онцлогт тохирсон голдуу аргазүйн асуудлыг авч үзсэн байдаг.

Тухайлбал, “Эрдэнэт” Уулын баяжуулах үйлдвэр үйлдвэрлэлийн технологийн процессыг хянахад ОХУ-д үйлдвэрлэсэн долгионы уртаар ялгах СРМ-25, АР-31 төрлийн спектрометрүүдийг 1977 оноос ашиглаж байгаад 2001 онд Амдел фирмийн ЭЯРФС (цацраг идэвхт изотоп үүсгүүртэй, Si(Li) детектор бүхий 7 спектрометр), X-MET920 рентген анализатор, бага чадлын рентген хоолой бүхий үүсгүүртэй GuanX спектрометр авч багаж төхөөрөмжөө боловсронгуй болгон сайжруулж ирсэн байна [7].

Геологийн төв лаборатори 1980-аад онд пропорционал тоолууртай, изотопон үүсгүүртэй рентген-флуоресценцийн авсаархан төхөөрөмж өөрсдөө угсарч ажиллуулан геологийн дээжинд шинжилгээ хийж эхлэсэн бөгөөд 1990 онд ЖАЙКА-гийн төслийн шугамаар Японы Shamadzu SXF-100 долгионы уртаар ялгах РФС, 1991 онд ОУАЭА-ийн шугамаар АНУ-ын Spetrace-5000 энергир ялгах РФС, 2006 онд Финляндын PANalytical фирмийн долгионы уртаар ялгах Axios спектрометр авч рентген-флуоресценцийн шинжилгээний орчин үеийн төхөөрөмжөөр тоноглогдож, геологийн төрөл бүрийн дээжинд шинжилгээ хийх арга зүйгээ боловсронгуй болгон сайжруулсаар байна[8,9]. Тухайлбал, олон элемент (20-45) нэгэн зэрэг тодорхойлох аргачлал боловсруулж, геологийн судалгаа шинжилгээний ажилд нэвтрүүлсэн нь Геологийн төв лабораторийн шинжилгээний ажилд гарсан том дэвшил байв.

В. Онол, аргазүйн боловсруулалт

Рентген-флуоресценцийн судалгааны онол, аргазүйн талаар хийсэн манай судлаачдын судалгааны үр дүнгээс товч дурдъя.

Онолын хувьд: Энергир ялгах рентген-флуоресценцийн шинжилгээ хийхэд зайлшгүй шаардлагатай физик параметруудийг тодотгох, үүсгүүрээс гарсан цацраг судалгааны дээж, бүртгэх тоолуур-детектор, спектрометрийн эд ангиудтай харилцан үйлчлэх процессыг нарийвчлан тайлбарлах математик загваруудыг боловсруулан, тэдгээрийн хамаарлыг илэрхийлсэн онолын томъёонууд гаргах, рентген спектрийн бага энергийн мужид фон

үүсэх физик зүй тогтлыг илрүүлж тайлбарлах чиглэлээр судалгааны гүйцэтгэсэн байна[10-16].

Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний олон асуудлыг шийдэхэд рентген бүл шугамуудын эрчмийн харьцааг мэдэх явдал чухал байдаг бөгөөд [10] ажилд хэд хэдэн элементийн флуоресценцийн спектрийн К-, L-бүлийн аналитик шугамуудын харьцангуй эрчмийн туршлагын болон тооцооны утгыг жишиж, 3-12 кэВ энергийн мужид харьцуулж буй шугамын энерги ойролцоо үед К-шугамын эрчим L-шугамынхаас 3-5дахин их байгааг тогтоож, рентген спектрийн L- бүлийн шугамуудын хувьд флуоресценцийн эрчмийг тооцоолохдоо Костер-Кронигийн шилжилтийг тооцох засвар боловсруулан дэвшүүлж хэрэглэснээр онол, туршлагын үр дүнгүүдийн тохироцыг сайжруулж, химийн нийлмэл найрлага бүхий дээжинд тооцоо хийхэд хүрэлцэхүйц нарийвчлалд хүрч байгааг харуулжээ.

Өдөөгч цацраг нь дээжээс гадна спектрометрийн эд ангиудтай үйлчлэлцсэний улмаас нэмэлт фон үүсгэх бөгөөд ялангуяа цацраг идэвхт үүсгүүр (^{241}Am , ^{109}Cd) хэрэглэх үед рентген спектрийн бага энергийн мужид ихээхэн фон үүсдэг нь тэр хэсэгт орших рентген шугам бүхий элементүүдийг тодорхойлоход бэрхшээл учруулдаг. РФШ-нд фоныг тооцоолох нь аналитик дохионы ялгацыг хамгийн сайн байлгах, ажлын тохиромжтой горим сонгох, улмаар дээж дэх элементүүдийн хувьд мэдрэцийг дээшлүүлэхэд зайлшгүй шаардлагатай. Энэ чухал асуудлын талаар олон [11-14] бүтээл хэвлэгджээ.

П.Зузаан, А.Ю.Портной, Б.Эрдэмчимэг нар [11,12] рентген спектрийн бага энергийн мужид үүсч буй фон дээж дотор үүссэн тийрэгдсэн электроны тоормосын цацрагтай холбоотойг онолын үүднээс тайлбарлаж, Комптоны сарнилд өртсөн электроны тоормослох үеийн спектрийн түгэлт флуоресценц үүсгэгч материалын элементийн найрлагаас хамаарах хамаарлын онолын илэрхийлэл гаргаж, ^{241}Am , ^{109}Cd цацраг идэвхт үүсгүүрүүдийн монохроматик цацрагийн хувьд авч үзжээ. Тухайлбал, 59.6 кэВ энергитэй (^{241}Am -үүсгүүр) фотон чөлөөт электрон дээрээс комптон сарнихад тийрэгдсэн электроны энерги нь 11.5 кэВ хүрэх бөгөөд түүний тоормосын цацраг нь $Z \leq 32$ дугаартай элементүүдийн К-шугамын мужид үүсч байжээ.

Цацраг идэвхт ^{241}Am үүсгүүрийн цацрагаар флуоресценци үүсгэх үед рентген спектрийн харьцангуй урт долгионы мужид фон үүсэх шалтгааныг [13] авч үзсэн бөгөөд өдөөгч цацраг

хагас дамжуулагч Si(Li) детектор болон дээжийн бодистой харилцан үйлчлэх процессын математик загварыг дэвшүүлжээ. Энергийн тухайн муж дахь аналитик фоныг тооцоолох болон тайлбарлахад Si(Li) детектор дотор явагдаж байгаа процессыг тооцоохын зайлшгүйг үзүүлсэн бөгөөд тооцооны дүн туршлагын дүнтэй тохирсон байна.

Детектор дотор явагдах электрон зөөлт, дээж ба детекторт болох радиацийн шилжилтийн процессыг задлан шинжлэхэд үндэслэсэн энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн спектрометрийн математик загварыг [14] ажилд авч үзсэн. Дохио-фоны харьцаанд детекторын зузаан болон анхдагч цацралын үүсгүүрийн параметруудын нөлөөг тооцоолсноор сигнал-фоны харьцаа детекторын зузаан ба анхдагч цацрагийн үүсгүүрийн төрлөөс хамаарч бараг эрэмбээр өөрчлөгддөгийг тогтоожээ.

О.Болормаагийн [15] ажилд шүүлтүүрийн цаасан дээр түрхсэн уусмалын химийн найрлагаас рентген фон хамаарах үзэгдлийг рентген цацралын 0.06-0.15 нм долгионы мужид судалж, энэ мужид фоны үндсэн бүрдүүлэгч нь рентген хоолойн тоормосын цацраг дээжээс сарних болон дээжийн элементүүдийн характеристик цацрагийн диффузийн сарнил гэдгийг баталжээ. Бүрэн ойлтын рентген-флуоресценцийн спектрометр ашиглан ханаагүй уусмалыг шинжлэхэд рентген спектрийн өдөөгдөх онцлог ба үүсч буй цацрагаас хамааруулан элементүүдийн хоорондох нөлөөллийг тооцсон флуоресценцийн эрчмийн илэрхийллийг боловсронгуй болгожээ [16].

Ц.Амартайван нарын [17,18] ажилд 70 МэВ энергитэй нүүрстөрөгчийн ион ашигласан рентген цацаргалтын (PIXE) анализын онцлог болон энэ анализын үед гэдрэг сарнисан протоныг хэрхэн ашиглах талаар судалгааг хийсэн байна.

Аргазүйн хувьд: 1976 оноос эхлэн эдүгэ эх орныхоо эрдэс баялаг, түүхий эдэд химийн элементийн агуулгыг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн шинжилгээний өвөрмөц олон аргыг боловсруулан амжилттай хэрэглэж иржээ.

Тухайлбал, Н.Содном нарын [3,19] тодорхойлох элементүүдийн хувийн харьцангуй эрчмийг ашиглахад үндэслэсэн ванадийгаас молибден хүртэлх элементийг нэгэн зэрэг тодорхойлох дотоод стандартын аргын нэгэн шинэ хувилбар; П.Зузаан нарын [20] өдөөх үүсгүүрийн цацраг судалгааны объекттой үйлчлэхэд үүссэн когерент ба когерент бус сарнисан цацрагийн эрчмээр засвар хийхэд үндэслэсэн стандарт-фоны аргын нэгэн

хувилбар; Н.Гансүх нарын [21] сарнилын шугамыг ашигласан тулгуур параметрын арга; П.Зузаан нарын [21,23] рентген шугамын давхцал, элемент хоорондын нөлөөг тооцсон, фоныг загварчилсан, америци болон кадми изотопон үүсгүүр ашигласан ховор шорооны элементүүд болон тэдгээрийн нийлбэр хэмжээг тодорхойлох арга; Ш.Гэрбиш нарын [24] зэсийн баяжмалд мөнгө тодорхойлох арга; П.Зузаан нарын [25,26] геологийн дээжинд ниобий болон олон элемент нэгэн зэрэг тодорхойлох стандарт-фоны аргын нэг хувилбар; А.Карибай [27] холимог металл, уран, цагаан тугалгын хүдэрт үндсэн болон дагалдах элементүүдийг тодорхойлох рентген-флуоресценцийн хурдавчилсан арга; Б.Эрдэнэбаяр нарын [28,29] геологийн дээжид үндсэн ба дагалдах элемент тодорхойлох долгионы уртаар ялгах РФА-ын арга; мөн долгионы уртаар ялгах спектрометрээр хүдэрт силикат шинжилгээ хийх иж бүрэн арга; Д.Болортуяа [30,31] нарын нүүрсний үнслэг, илчлэг мөн геологийн дээжид уран тодорхойлох шугаман тэгшитгэлийн аргууд; Б.Далхсүрэн [32] нарын агаарт зарим элементийг тодорхойлох РФА; Ш.Гэрбиш [33] нарын хүнсний бүтээгдэхүүнд нэмж байгаа химийн зарим элементүүдийг тодорхойлох цөмийн физикийн аргууд зэрэг олон арга боловсруулсан байна.

Ийнхүү РФА-ын дээжийн химийн найрлагын нөлөөг тооцох сонгодог арга болох гадаад/дотоод стандартын, стандарт-фоны, регрессийн тэгшитгэлийн, суурь параметрийн зэрэг аргын талаар олон шинэ санаа дэвшүүлэн, эдгээрийг боловсронгуй болгон сайжруулах болон хэрэглэх хязгаарыг үнэлэхэд ихээхэн анхаарч тодорхой хувь нэмэр оруулжээ.

С. Хэрэглээ ба үр дүн

Энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн шинжилгээний боловсруулсан арга болон судалгааны тухайн объектод тохирсон өвөрмөц аргазүйг практикт хэрэглэхэд чиглэсэн туршилт, судалгааны маш олон тооны ажил хийгдсэн байна [3,34-106]. Эдгээрийг дараах хэдэн чиглэлд ангилан авч үзэв.

Уулын чулууллаг, хүдрийн судалгаа (Геологи, уул уурхай)

РФШ нь геологийн дээжийн шинжилгээнд хэрэглэгддэг уламжлалт аргуудын нэг билээ. Монголын судлаачид геологийн судалгааны энэ аналитик зорилтыг шийдвэрлэхэд чухал хувь нэмэр оруулсаар ирсэн, оруулж байна. Энэ нь хэрэглэгдэж байгаа шинжилгээний аргуудын тодорхой хувилбарууд ба хэрэглээг [34-64] ажлуудад тусгагдсан байна.

Энергиэр болон долгионы уртаар ялгах РФШ-ний аргаар уулын чулууллаг, хүдрийн дээжинд олон элемент нэгэн зэрэг тодорхойлох боломжийг [3,34-39] ажилд авч үзсэн бөгөөд Эрдэнэтийн овооны зэс-молибдены орд газрын уулын чулууллаг, хүдэр болон баяжмалд үндсэн ба зарим дагалдах 10 гаруй элемент [40-42,53], Мушгиа худгийн ховор шорооны хүдэрт зарим үндсэн болон дагалдах элемент [22,49,56], Жанчивлангийн цагаан тугалга, Модот, Баянмод зэрэг гянтболдын [43] олон орд газрын дээжид үндсэн элементүүдийг тодорхойлон, үр дүнг зохих газруудад шилжүүлсэн нь уг орд газрын үүсэл, зүй тогтлыг тайлбарлах, нөөцийг тогтоох, тэсэлгээний ашигтай горимыг сонгоход ашиглагдаж, тухайн судалгааны эрдэм шинжилгээний бүтээл, тайлангуудад тусгагдсан байна [43,111,112]. А.Каривай нар [49] ховор шорооны элементийн нийлбэр агуулга ба цацраг идэвхт торийн хооронд шугаман хамаарал байгааг тогтоож, цацраг идэвхт торийн тусламжтай ХШЭ-ийн орд газрыг илрүүлэх боломжтойг харуулсан, Н.Гансүх нарын [22] ажилд ХШЭ-ийн хүдрийн олон мянган дээжид хийсэн шинжилгээний дүнгээр лантан, цери, неодим, прозедиум зэрэг ХШЭ-ийн хооронд корреляци байгааг илрүүлж, аль нэг элементийн хэмжээг мэдсэнээр нөлөөг нь олж болохыг үзүүлснээр цөөн эталон хэрэглэх боломжтойг харуулсан зэрэг практик ач холбогдолтой болжээ.

Нүүрсний дээжид элементийн шинжилгээ хийх хэмжилтийн зохимжтой нөхцлийг сонгож, Шивээ-Овоо, Багануурын нүүрсний уурхайн дээжид кальци, төмөр, рубиди, стронци зэрэг элементийн шинжилгээ хийж, эдгээр уурхайн нүүрсний үнслэгийг рентген-флуоресценцийн аргаар тодорхойлж, нүүрсний чанарын үзүүлэлтүүдийн хамаарлыг нарийвчлан судалсан талаар [44-46,50] ажлуудад, харин БОРФС-ний аргыг нүүрсний судалгаанд хэрэглэх, нүүрсний "мөр" төдий элементийг атом-цөмийн аналитик аргаар тодорхойлох аргагүйг [61,62] ажилд авч үзжээ.

Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэрийн технологийн процессын явцыг хянах зориулалттай рентген спектрийн шинжилгээний төхөөрөмжүүд ашиглан хийх шинжилгээний аргагүйг шинэчлэх, боловсронгуй болгон сайжруулах асуудлыг [47] ажилд авч үзсэн бөгөөд судалгааны дээжид агуулагдаж буй элемент хоорондын харилцан нөлөө ба нунтаглалтын хэмжээ зэрэг шинжилгээний дүнд нөлөөлж болох үзүүлэлтүүдийг нарийн судалсны эцэст бүтээгдэхүүн бүрт тохирсон зэс, молибден, төмөр ба нягт тодорхойлох

регрессийн тэгшитгэлийн арга болон спектрометрүүдийг удирдах программ хангамж боловсруулан үйлдвэрлэлд нэвтрүүлсэн талаар [48,51] ажилд өгүүлжээ.

Хөрс, ургамал.

Б.Батжаргал, П.Зузаан нарын [65-68] ажилд Хөвсгөл нуур орчмын тундрын, ойн, ойт талын, нугын хөрсний дээж дэх элементүүдийн агуулгыг энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн шинжилгээгээр тодорхойлсон үр дүнг үзүүлсэн бөгөөд хөрсний дээжийг шинжилгээнд бэлтгэх нийтлэг арга зүйн үнэлгээг Хөвсгөл нуураас зүүн хойд зүгт орших Чулуут голын баруун эргээс авсан хөрсний дээжинд хийсэн шинжилгээний жишээгээр харуулжээ [66]. Хөрс, уулын чулуулгын энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн аргын хэмжилзүйн үзүүлэлтийн үнэлгээг [68] ажилд хийж, хагас дамжуулагч детектортой, изотопон үүсгүүр бүхий рентген спектрометрээр боловсруулсан дотоод стандартын аргын нэгэн хувилбарыг ашиглан практикийн олон асуудал шийдэж болохыг үзүүлжээ. Б.Далхсүрэн нар [70,71] Баян-Өлгий, Говь-Алтай, Увс аймгийн 20 орчим сумын, Улаанбаатар хотын авто замын дагуух хөрсний элементийн судалгаа хийж, хөрсний дээжид хортой, хүнд 10 гаруй элемент тодорхойлжээ.

[72-75] ажилд ургамлын дээж дэх атомын дугаар $Z > 12$ -оос их элементүүдийн агуулгыг тодорхойлоход РФШ-ний арга хэрэглэх, дээжийг шинжилгээнд бэлтгэх туршилт явуулж, Хөвсгөл орчмын шилмүүс, хар модны холтос ба мөчир, үетнүүд, буурцаг болон алаг өвс шинжлэхэд хэрэглэсэн талаар, мөн Хөвсгөл нуурын алгана, зэвэг, улаан нүдэн, хадар загасны маханд элементийн шинжилгээ хийсэн тухай [76] ажилд гарна. Ийм объектийн шинжилгээний онцлог нь маш бага агуулагатай хэсэг элементийг ихэнх тохиолдолд эталон хэрэглэхгүйгээр тодорхойлох шаардлагатай байдаг явдал юм. Энэ нь дотоод стандартын ба стандарт-фоны аргуудын хувилбарыг хэрэглэх үндэс болсон бөгөөд уг аргуудаар Хөвсгөл орчмын төрөл бүрийн 500 гаруй ургамалын үнсэнд, хэдэн зуун хөрсний дээжид элементийн шинжилгээ хийжээ [4].

Ус, хүнсний бүтээгдэхүүн

Цацраг идэвхт изотопон үүсгүүр бүхий өдөөгчтэй энергиэр ялгах рентген-флуоресценцийн аргаар байгалийн усанд ион солилцолын давирхай ашиглан урьдчилан баяжуулах замаар төмөр, зэс, цайр, стронци зэрэг элемент тодорхойлох боломжийн талаар [78] ажилд авч үзсэн байна. Баруун бүсийн

зарим аймгуудын болон Хар ус нуурын усны хүнд металл, зарим микроэлементийн хэмжээг БОРФШ-ний аргаар тодорхойлон судалж хэвийн гэсэн дүгнэлт хийжээ [79,81].

Сэлэнгэ голын сав газрын байгалийн усан дахь хүнд элементийн тархалтыг 4 бүс болгон БОРФШ-ний аргаар судалсан бөгөөд эталон дээжтэй харьцуулахад төмөр ба хар тугалаганы бүлгийн элементийн дундаж агуулга зарим бүсэд ихэссэнийг тогтоожээ [80]. Ундны усны чанарын зарим үзүүлэлтийн талаар [82] ажилд тодорхой авч үзсэн бөгөөд [83-87] ажлуудад протоноор өдөөгдсөн рентген цацаргалтын аргаар (PIXE) голын усан дахь хүнд металлын түвшин тодорхойлох, PIXE арга дээр суурилан усны бохирдлын мониторинг хийх систем зохион бүтээх болон протон болон хүнд ионоор өдөөгдсөн рентген цацаргалтын аргаар дээж дэх элементүүдийн химийн нэгдлийг тодорхойлох боломжийг судалжээ. Үүнээс гадна БОРФШ-ний аргаар хортой хүнд металл тодорхойлох стандартуудыг боловсруулан батлуулжээ [88,89].

Агаар орчны судалгаа

Байгаль орчны бохирдолтыг судлахад ЭЯРФ-ийн болон БОРФШ-ний аргыг хэрэглэх боломжийг [90,91,95], янз бүрийн объектийн судалгаанд ашигласан тухай [92-102] ажлуудад авч үзжээ.

Тухайлбал, Эрдэнэтийн овооны тэсэлгээний тоосонцорын тархалтыг УБҮ-ийн орчимд тогтвортой цасан бүрхүүл тогтсоны дараа ил уурхайгаас бүх чиглэлд 5 км зайтайгаар 50 км хүртэл зайнд дээж авч хийсэн ЭЯРФШ-ний дүн салхины зонхилох чиглэлд тоосонцор 100 км хүртэл хол тархаж буйг тогтоожээ [92]. [93]-т Туул гол, Хөвсөл нуурын усанд БОРФШ-ний аргаар хортой, хүнд металл тодорхойлоход хэвийн байгааг үзүүлжээ.

Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын судалгаагаар С.Лодойсамба, Д.Шагжамба нарын [95-102]-д агаарын тоосонцрыг аэродинамик диаметрээр нь ялган PM_{2.5} ба PM_{10-2.5} хоёр фракцын дээжийг авч, РФШ-гээр 20 гаруй элемент тодорхойлж, уг элементийн шинжилгээний дүнг ашиглан факторын шинжилгээний аргаар хотын агаарын бохирдлын эх үүсвэрийг тогтоон тэдгээрийн бохирдолд өгөх хувь хэмжээг тодорхойлж байгаа талаар тодорхой авч үзсэн байна.

Биологи, эмнэлэг

Эмнэлэг ба биологийн зарим асуудлыг шийдэхэд РФА хэрэглэх тухай мэдээлэл [103-107] ажилд гарчээ. Энэ хугацаанд хүний үс, цус ба цусны ийлдэс, бөөр ба цөсний чулуунд гол

микроэлемент тодорхойлох судалгааны үр дүнгүүд хэвлэгджээ. Биологийн дээжийн материалын төрлөөс хамааран судалгааны аргыг тусгайлан боловсруулдаг болохыг тэмдэглэсэн байна. Манай судлаачдын ажилд биологийн материалыг судлахад БОРФС, долгионы уртаар ялгах РФС, солигддог байтай рентген хоолой бүхий өдөөгчтэй энергиэр ялгах РФС, түүнчлэн бөөмөөр өдөөгдөх РФА ашиглажээ.

Хүний толгойн үсэнд агуулагдах микроэлементийг тодорхойлох нь практик чухал ач холбогдолтой. Тухайлбал, толгойн үсний кальцийн агуулга хүний бодисын солилцооны өөрчлөлтийг үзүүлдэг. Иймээс толгойн үс нь хүний кальцийн солилцоотой холбоотой үйл ажиллагааны хяналтанд чухал үүрэг гүйцэтгэж болох юм. Энэ талаар манай судлаачид багагүй ажил хийжээ [103-106].

[106] ажилд ЭЯРФА-аар 600 гаруй монгол хүний үсний кальцийн агуулгыг тодорхойлоход кальцийн агуулгын ердийн логарифм түгэлт нь нэг төвтэй гарчээ. Түгэлтээс толгойн үсний кальцийн хэмжээ нь зүрхний шигдээс мэтийн кальцийн солилцооны өөрчлөлттэй шууд холбоотой өвчнөөс урьдчилан сэргийлэх арга хэмжээний нэг үзүүлэлт болох талтайг харуулжээ.

О.Болормаа [104] нар хүний толгойн үсэнд цайр тодорхойлох рентген-флуоресценцийн хурдавчилсан ба химийн урьдчилсан боловсруулалттай аргачлалууд боловсруулж сүрьеэ өвчтэй хүүхдүүдийн үсэнд шинжилгээ хийж, хэмжилзүйн үнэлгээ өгч, эмнэлэгийн практикт нэвтрүүлжээ. Мөн БОРФА-ын аргаар хүний үсэнд олон элементийн шинжилгээ хийх аргачлал боловсруулж, зүрх судасны өвчтэй хүмүүсийн үсэнд элементийн шинжилгээ хийж өвчлөлийн шатлалыг тогтоох талаар [105,110] ажилд авч үзсэн байна.

Тодорхой багаж төхөөрөмж ашиглан боловсруулсан тухайн аргазүйн үнэмшлийг шалган баталгаажуулахад харьцуулах шинжилгээ чухал байдаг. Монгол улс, ЗХУ болон ЭЗХТЗ-ийн орнуудад боловсруулсан хөрс, уулын чулууллаг, зэс-молибдены баяжмал, хүдэр зэрэг хэдэн арван стандарт загварын аттестатчилах шинжилгээ хийсэн дүнгүүд манай судлаачдын боловсруулсан аргын хэр үнэмшилтэй болсныг харуулна. Нэгэн жишээ дурдахад боржингийн дээжийг Монгол улсын стандарт загвар болгоход химийн зарим элемент тодорхойлон аттестачлах шинжилгээнд оролцсон дүнг [77] ажилд үзүүлсэн байна.

Д. Хүний нөөцийн хөгжил

Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний шинэ тоног төхөөрөмж, аргазүйг Монголд улсад нэвтрүүлэн хэрэглэх явцад энэ чиглэлийн мэргэжлийн хүний нөөц бэлтгэгдсэн нь чухал үр дүн юм. Судалгааны үр дүнгээр 6 докторын, 20-иод магистрын зэрэг хамгаалж 50 орчим оюутан дипломын ажил бичжээ.

РФШ-ний чиглэлээр ОУАЭА-ийн болон бусад хамтын ажиллагааны шугамаар Ш.Гэрбиш, Н.Гансүх, С.Лодойсамба, Д.Жаргалсайхан, Ц.Амартайван, Ж.Баярмаа, Д.Болортуяа, А.Каривай, Б.Эрдэнэбаяр, Г.Гэрэлмаа нарын хориод хүн гадаадын лабораторид мэргэжил дээшлүүлсэн байна.

Рентген-флуоресценцийн аргазүйн асуудал нь МУИС-ийн цөмийн технологийн сургалтын хөтөлбөрт судлах хичээл болон заагдаж байгаагаас гадна РФШ-ний аргыг ашигладаг үйлдвэр аж ахуйн мэргэжилтнүүдэд зориулсан мэргэжил дээшлүүлэх сургалтын үндсэн агуулга болдог юм. Жишээлбэл, олон арван оюутан суралцагчид курсын болон дипломын ажил, магистр, докторын диссертаци бичиж, мэргэшин Геологийн төв лаборатори, “Эрдэнэт” уулын баяжуулах үйлдвэр, Оюу-Толгой, ШУА-ийн Физик-технологийн хүрээлэн, МУИС, Австрали зэрэг дотоод, гадаадын ижил төстэй багаж төхөөрөмж ашигладаг судалгаа, шинжилгээний болон үйлдвэрлэлийн газруудад амжилттай ажиллаж байгаагаас гадна Эрдэнэт уулын баяжуулах үйлдвэрийн 50-аад ажилтан (давхардсан тоогоор) энэ чиглэлийн сургалтад хамрагдсан байна.

Рентген-флуоресценцийн шинжилгээний шинэ тоног төхөөрөмжийг ашиглалтанд оруулах, аргазүй эзэмших, боловсруулан хэрэглэхэд ОУАЭА-ийн шинжээчид, ОХУ-ын ялангуяа Эрхүүгийн их сургуулийн мэргэжилтнүүд үнэтэй хувь нэмэр оруулсныг тэмдэглэж байна. Энэ хугацаанд ЦФСТ-д ОУАЭА-ийн шугамаар Я.Ухрин (1976, Унгар), З.Худкова (1982, Чехословак.), П.Кумп (1985, Югослав), Ё.Бачо (1987, Унгар), П.Вображек (1994, Польш), П.Крегсамер (1995, Австри), Чарбусински (2002, Австрали), П.Урбанский

(2002, 2003, Польш), хамтын ажиллагааны шугамаар ОХУ-аас А.Г.Ревенко, А.Н.Смагунова, Л.А.Берковиц, Г.В.Павлинский нарын олон мэргэжилтэн ирж ажиллан мэргэжлийн туслалцаа үзүүлж, хамтран ажилласныг тэмдэглэж байна.

МУИС-ийн ЦФСТ-өөс санаачлан 2006, 2009, 2012 онуудад Улаанбаатар хотод зохион байгуулсан “X-Ray Analysis” олон улсын эрдэм шинжилгээний хуралд ЦШНИ, Япон, Бельги, ОХУ-ын их дээд сургууль, эрдэм шинжилгээний байгууллагын 20 гаруй, манай орны 30-аад эрдэмтэн судлаачид оролцож бүтээлээ хэлэлцүүлж, 3 удаагийн хурлын материал хэвлэгдэж нийтийн хүртээл болсон юм [108,113-115]. Тус хуралд олон улсын “X-Ray Spectrometry” сэтгүүлийн ерөнхий редактор бөгөөд дарга Бельгийн их сургуулийн профессор R. Van Grieken, редакцийн зөвлөлийн орлогч дарга Японы Киотогийн их сургуулийн профессор J.Kawai, редакцийн зөвлөлийн гишүүн ОХУ-ын эрдэмтэн, МУИС-ийн хүндэт профессор А.Г.Ревенко, Эрхүүгийн их сургуулийн профессор Г.В.Павлинский нарын зэрэг нэртэй эрдэмтэд оролцсон юм. Энэ 2015 онд манай улсад рентген-флуоресценцийн судалгааны чиглэл үүсч хөгжсөний 40 жил, ЦФСТ байгуулагдсаны 50 жилийн ойг тохиолдуулан “X-Ray Analysis” олон улсын эрдэм шинжилгээний хурлыг 4 дэх удаагаа зохион байгуулан хийв [109]. Энэ хуралд ОХУ, Япон, Энэтхэг, Австрали улс болон Дубнагийн олон улсын Цөмийн шинжилгээний нэгдсэн институт зэрэг гадаадын эрдэм шинжилгээний байгуулга, их сургуулиудын хориод эрдэмтэн судлаачид хүрэлцэн ирж судалгааны ажлын үр дүнгээ танилцуулж, харилцан мэдээлэл солилцов.

II. ДҮГНЭЛТ

Монгол улсад рентген-флуоресценцийн судалгааны онол, аргазүй амжилттай хөгжиж, судалгаа шинжилгээ, үйлдвэрлэлийн практикт тууштай нэвтэрч, хүний нөөц бэлтгэгдэж, аргазүй, багаж төхөөрөмж улам боловсронгуй болон сайжирсаар байна.

- [1] П.Зузаан. Рентген-флуоресценцийн шинжилгээ Монголд хөгжсөн нь //”Рентген спектрийн шинжилгээ” эрдэм шинжилгээний хурлын илтгэлийн эмхэтгэл, 2006, УБ, х.7-15.
- [2] Н.Содном, Б.Далхсүрэн, А.Г.Ревенко, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа. Об одном варианте внутреннего стандарта

- определения содержания многоэлементных руд рентгено-флуоресцентным анализом// В кн: Тез. докл., “IY Всесоюзное совещание по активационному анализу”. 1-3 июня 1977 г. Тбилиси
- [3] Н.Содном, Б.Далхсүрэн, А.Г.Ревенко, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа. Рентгено-флуоресцентный экспрессный метод

- определения содержания многоэлементных руд //В кн: Труды Монголо-Советской Керуленской геологической экспедиции “Вопросы геологии и металлогении восточной Монголии”, г.Улан-Батор, 1979, с.33-47
- [4] П.Зузаан, Б.Далхсүрэн, Н.Содном, А.Г.Ревенко. Применение полупроводниковых детекторов в РФА // МУИС, ЭШБ, №1,2; 1982, с.103-117
- [5] Ш.Гэрбиш, П.Зузаан,Н.Содном, Ж.Сэрээтэр, С.Лодойсамба. Цөмийн физикийн аргуудыг элементийн анализад хэрэглэсэн нь //МУИС, ЭШБ, №4(84), 1983, с.15-31
- [6] Sh.Gerbish, J.Bayarmaa. Some development and improvement of ED-XRF techniques in Mongolia//МУИС, Эрдэм Шинжилгээний Бичиг, № 167, (9), 2002, хх.59-61
- [7] Sh.Gerbish, J.Bayarmaa, Т.Ринчинжугдер. In-Situ applications of XRF techniques in Erdenet mining corporation //“Эрдэс баялгийн цогцолбор шинжлэх ухаан технологийн дэвшил-2002” pp.126-129
- [8] В.Erdenebayar, А.Каривай. Application of X-ray Fluorescence Spectrometry to the Elemental Analysis of Geological Samples in the Central Geological Laboratory //Mongolian Geoscientist .№6, p. 8-11, January, 1998, Ulaanbaatar, Mongolia
- [9] В.Erdenebayar, А.Каривай, Sh.Batkhuu. Application of Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry to the Elemental Analysis of Geological Samples in the Central Geological Laboratory. //Mongolian Geoscientist, No. 17, p.13-15, December, 2002, UB, Mongolia
- [10] А.Г.Ревенко, П.Зузаан, С.М.Паздников. Сопоставление интенсивностей рентгеновской флуоресценции для линий К и L серий. //Журнал “Заводская лаборатория” 1985, т.51, вып.12, с.16-20
- [11] А.Ю.Портной, П.Зузаан, Г.В.Павлинский, А.Ю.Духанин, Б.Эрдэмчимэг. Расчет тормозного спектра электронов отдачи, возникающего при возбуждении рентгеновской флуоресценции излучением радиоизотопных источников. //Журнал “Аналитика и контроль” Россия, т.6, №4, 2002, с.390-394
- [12] Б.Эрдэмчимэг, П.Зузаан, А.Ю.Портной, Г.В.Павлинский. Изотопон үүсгүүртэй рентген-флуоресценцийн анализын үед бага энергийн мужид үүсэх тийрэгдсэн электроны тормозын спектрын тооцоо //МУИС, ЭШБ. №167(9), Улаанбаатар, 2002, х.29-38
- [13] А.Ю.Портной, Г.В.Павлинский, А.Ю.Духанин, П.Зузаан, Б.Эрдэмчимэг. Формирование аналитического сигнала и фона в EDXRF при возбуждении рентгеновской флуоресценции излучением радиоизотопного источника ^{241}Am и использовании Si(Li) детектора. //Журнал аналитической химии, том 59, №11, с.1171-1180, 2004
- [14] А.Ю.Портной, Г.В.Павлинский, М.С.Горбунов, Е.О.Баранов, П.Зузаан. Об оптимизации соотношения аналитического сигнал/фон в энергодисперсионном рентгено-флуоресцентном анализе при использовании Si(Li) детектора //Журнал аналитической химии, том 64, №5, с.511-520, 2009
- [15] О.Болормаа Автореф. дис. ...канд.хим. наук. Иркутск: ИГУ,2001.21 с.
- [16] Smagunova.A.N., Bolormaa.O., Panikov.S.D. Determination of Optimum Conditions for X-ray Fluorescence Analysis Using Coupling Equations //Journal of Analytical Sciences, Methods and Instrumentation, JASMI, Vol.14 No 2, 2012, pp.81-86
- [17] Ts.Amartaivan, K.Ishii, H.Yamazaki, S.Matsuyama, A.Suzuki, T.Yamaguchi, S.Abe, K.Inomata, Y.Watanabe. PIXE analysis using 70 MeV carbon ions. //International Journal of PIXE, 16(2005) 52-58
- [18] Т. Satoh, K.Ishii, S.Matsuyama, H.Yamazaki, Ts. Amartaivan, А. Tanaka, S.Sugihara, Y.Komori, K.Katoh Т.Kamiya, T.Sakai and K.Arakawa. Investigations on the Influence of Back-Scattered Protons in PIXE Spectrum. //International Journal of PIXE, 11 (2001) 49-55
- [19] В.Я.Выропаев, А.Г.Белов, Н.Содном, Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа. Рентген-флуоресцентное определение малых содержания элементов от ванадия до молибдена с применением нового варианта эталонирования на спектрометре с полупроводниковым детектором. //Препринт ОИЯИ 18-2279, Дубна. 1979, Атомная энергия 1980, Том.49, вып.2, с.90-94
- [20] П.Зузаан. Автореферат диссертации, УБ, 1985, 22с.
- [21] Н.Гансүх, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн. Сарнилын пикийг ашигласан тулгуур

- параметрийн арга //МУИС, ЭШБ, №3(132), 1997, УБ, х.159-169
- [22] P.Zuzaan, D.Bolortuya, N.Gansukh. 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 spectrometry Nov. 3,2010, p. 52-56,
- [23] P.Zuzaan, Z.Damdinsuren, D.Bolortuya, V.Enkhtsetseg, B.Erdenebayar. X-ray Fluorescence Technique for Determination of Some Rare Earth Elements //Proc. Intern. School on Contemp. Phys. ISCP-III, p.249-252, 2005, UB, Mongolia
- [24] Ш.Гэрбиш, С.Энхбат, М.Энхтуяа. Экспрессная методика определения содержания серебра в концентратах меди // МУИС, ЭШБ, №4/57/1982, с.155-158
- [25] П.Зузаан, Н.Содном. Олон элементийг энергиэр ялгах РФА арга //Оновчтой санал, №9888, 1985
- [26] 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 1982, с.135-141
- [27] А. Каривай, Ш. Батхүү, Б. Даваасүрэн, А. Жаргалсайхан, Б. Эрдэнэбаяр. Холимог металл, уран, цагаан тугалгын хүдэрт үндсэн болон дагалдах элементүүдийг тодорхойлох рентген- флуоресценцийн хурдавчилсан арга // Геологи, эрдэсийн түүхий эдийн шинжилгээ судалгаа сэдэвт эрдэм шинжилгээний хурлын илтгэлүүдийн түүвэр, УБ, 1997,
- [28] B.Erdenebayar, P.Zuzaan. Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Method for Determination of Major and Minor Elements in Geological Samples //Физик Технологийн Хүрээлэнгийн Бүтээл №38, 2012, УБ,
- [29] B.Erdenebayar, P.Zuzaan. Calibration and Regression of the Complete Analytical Method of Silicate Rocks by Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry //Proc. Intern. Conf. on Contemp. Phys.ICCP-IV, p. 90-93, 2007, UB, Mongolia
- [30] D.Bolortuya, Z.Damdinsuren, S.Lodoysamba, P.Zuzaan. X-Ray Fluorescence Technique for Coal Ash Determination //Proceedings of the“ Conference on X-Ray Analysis”, 2006, p.79-88
- [31] Д.Болортуяа, П.Зузаан. Уран тодорхойлох рентген-флуоресценцийн шинжилгээний арга. //“Монгол улсад цөмийн энергийг ашиглах нь” ЭШХ-ийн эмхтгэл, УБ, 2010, х.98-104
- [32] Б.Далхсүрэн, П.Зузаан, Б.Эрдэв. Рентген-офлуоресцентный метод определения некоторых элементов в атмосферном воздухе //МУИС, ЭШБ, №5(103), 1990, х.172-174
- [33] Ш.Гэрбиш, Ж.Баярмаа, Н.Балжинням нар. Хүнсний бүтээгдэхүүнд нэмж байгаа химийн зарим элементүүдийг тодорхойлох цөмийн физикийн аргууд //МУИС ЭШБ №179(10), 2003. х.242-246
- [34] П.Зузаан, Н.Содном, Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Ж.Ганзориг, Б.Эрдэв. Рентген-флуоресценцийн анализын аргыг задлан шинжлэх практикт хэрэглэх // ШУА-ийн мэдээ, №4, 1984, х.22-33
- [35] А. Каривай, Е. П. Вязников, Л. А. Самсонов, Применение ядерно-физических методов анализа при изучении геологических проб., //ГТЛ-ийн 30- ийн ойд зориулсан эш-ний хурлын илтгэлийн түүвэр., 1987, Улаанбаатар.
- [36] Каривай, Б. Эрдэнэбаяр, Рентген флуоресценцийн шинжилгээний аргыг чулуулаг, хүдрийн элементийн найралгын шинжилгээнд хэрэглэх нь. //Геологи сэтгүүл No 2,3, х. 376-383 , УБ хот, 2001
- [37] B.Erdenebayar, A.Karivai, P.Zuzaan. Application of Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry for Elemental Analysis of Geological Samples //Proc. Intern. School on Contemporary Physics ISCP-III, p.291-296, 2005, UB, Mongolia
- [38] Н.Содном, Б.Далхсүрэн, А.Г.Ревенко, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Даваа. Применение рентгено-флуоресцентного спектрометра с полипроводниковым детектором для определения содержания элементов в рудах //В кн: Тез. докл. первой научной междунар. конф. “Геология и ползные ископаемые восточной Монголии и сопредельно территории” Уланбатор, 1977, с.11-13.
- [39] Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, Н.Содном, Ж.Сэрээтэр, С.Лодойсамба. Исследование по разработке ядерно-физических методов анализа в Лаборатории ядерныхисследований МонГУ //В кн: Труды IV совещания “Применение новых ядернофизических методов анализа в науке, технике и народном хозяйстве” Дубна ОИЯИ, p18-82-117, 1982, с.267-269.

- [40] Ш.Гэрбиш, Н.Содном. Зэс-молибдены хүдрийн үндсэн ба дагалдах элементийг РФА-ын аргаар тодорхойлох аргазүйн судалгаа //МУИС, Эрдэм шинжилгээний сонгол мэдээ №1/54/, УБ, 1978, 24х.
- [41] Б.Ишмэнд, П.Зузаан, Г.Хүүхэнхүү, Ш.Ганчимэг, Некоторые вопросы разрушения взрывом медно-молибденовых руд //В сб: докл. научно-практической конф. "Проблемы ускорения научно-технического прогресса в горной промышленности МНР", 1985, УБ, х.26- 28
- [42] Ш.Гэрбиш и др. Ядерно-физические методы определения основных и сопутствующих элементов медно-молибденовых руд и концентратов //МУИС, ЭШБ, №3/132/, УБ, 1997, х.301-311.
- [43] С.Дандар, С.Дашдаваа, В.И.Сизых, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн. Некоторые особенности состава вольфрамитов модотинского рудного узла // В кн: Тез. докл. III научной международ. конф. "Вопросы геологии и полезных ископаемых центральной и восточной Монголии", г.Уланбатор, 1982, с.31-32
- [44] П.Зузаан, Д.Болортуяа, З.Дамдинсүрэн. Рор Тор детектортой спектрометрийн хэмжилтийн оптималь нөхцлийг сонгох //МУИС, ЭШ-ний сэтгүүл ФИЗИК, №225(12), 2005, УБ, х.50-54
- [45] П.Зузаан, З.Дамдинсүрэн, Д.Болортуяа, С.Лодойсамба. Шивээ-Овоо, Багануурын уурхайн нүүрсний элементийн найрлагыг РФА- аар тодорхойлсон нь. //МУИС, Эрдэм шинжилгээний сэтгүүл, ФИЗИК, ¹ 225 (12), 2005, х.55-57
- [46] P.Zuzaan, S.Lodoysamba, Z.Damdinsuren, D.Bolortuya, D.Ichinkhorloo. Some results of study to determine coal quality and elemental content //Proc. of the 3-nd Intern. School "In contemp.physics ISCP-III", 2005, p.100-103
- [47] П.Зузаан, Н.Гансүх, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн, Б.Батжаргал, Л.Дэлгэрбат, Т.Ринчинжүгдэр. Уулын баяжуулах "Эрдэнэт" үйлдвэрийн технологийн процессыг хянадаг рентген спектр анализын аргыг боловсронгуй болгох асуудалд // МУИС, Эрдэм шинжилгээний бичиг, ¹ 7 (159), 2000, х.168-176
- [48] П.Зузаан, Н.Гансүх, Л.Батаа, С.Даваа, З.Дамдинсүрэн. РФА пульпообразных продуктов ГОК "Эрдэнэт" //Proc. of the Conf. on "X-Ray Analysis", 2006, p.158-163
- [49] А.Каривай, П.Зузаан, М.В.Густова. Метод рентгенофлуоресцентного определения некоторых редкоземельных элементов и их корреляция с торием. //журнал "Письма ЭЧАЯ" 2011, т.8, №6(169), с.959-967
- [50] D.Bolortuya, P.Zuzaan, M.V.Gustova, O.D.Maslov. Study of the correlation between the coal calorific value and coal ash content using x-ray fluorescence analysis //JINR Preprint№E12-2013-33, "Письмо в ЭЧАЯ", 2013, Т.10, №7(184), с.1184-1189
- [51] П.Зузаан, Н.Гансүх, С.Даваа и др. Разрабаотка и внедрение методико-математического обеспечения для контроля технологических продуктов ГОК "Эрдэнэт" на порошковых анализаторах СРМ-25. //Үйлдвэрт шилжсэн ажлын тайлан, 1999 он, Эрдэнэт, 28х.
- [52] P.Zuzaan, D.Bolortuya, S.Davaa, A.G.Revenko. Estimation of Applicability of Scattered Radiation for XRF //Журнал"Аналитика и контроль", 2013, Том 17, №4, Россия, с.376-381
- [53] Ж.Ганзориг, Ш.Ганчимэг, П.Зузаан, Б.Ишмэнд, Н.Содном, Г.Хүүхэнхүү. Изыскание эффективных методов разрушения взрывом с целью улучшения рудоподготовки медно-молибденовых руд //ПДС-ийн ЭШБ, №1, 1987, с.110-118
- [54] А.Каривай, П.Зузаан Возможность поиска месторождений РЗЭ и нерадиоактивных элементов с помощью радиоактивных элементов // Радиоактивность и радиоактив-ные элементы в среде обитания человека, материалы 3-ой международной конференции, стр 712-714, г. Томск, 2009
- [55] Д.Пүрэвхайдав, Ж.Галбаатар. Геометрия измерения для радиоизотопного РФА с использованием тонкого ППД // Научные труды ИФТ АН МНР, 1977, № 15, с.109-118
- [56] Р.Байгалмаа, Г.Бурмаа, А.Каривай. Синхизитийн исэлдсэн хүдрээс химийн боловсруулалтаар гаргаж авсан дээжүүдийн шинжилгээний дүн. //Хими,хими-технологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл(5), ¹31, хх.101-106,УБ, 2004.
- [57] P.Baigalmaa, G.Burmaa, A.Karivai, B.Erdene-bayar, B.Davaasuren. Results of Technological Experiments on separation of Cerium, and Yttrium Group Elements from Synchisite Concentrate. //ШУА. Хими, хими-технологийн хүрээлэнгийн эрдэм

- шинжилгээний бүтээл 4(30), хх.84-88, УБ, 2003
- [58] Ts.Amartaivan. The study of possibility of chemical analysis for Cr and Pb compounds using heavy ion PIXE //2005, PhD thesis, Sendai, Japan (in Japanese)
- [59] Каривай, Ө.Доржханд, Т.Ариунаа, Д.Балжид., Газрын ховор элементийг нэг бүрчилэн тодорхойлох атом-эмиссийн спектр, рентген-флуоресценцийн тоон шинжилгээний аргын үр дүнгийн харьцуулалт, //ГТЛ-ийн 40 жилийн ойд зориулсан “Геологи, эрдэсийн түүхий эдийн шинжилгээ судалгаа” ЭШ-ний бага хурлын бүтээлийн эмхэтгэл, УБ, 1997
- [60] А.Каривай, Р.Байгалмаа, Б.Эрдэнэбаяр, Г.Бурмаа. Рентгено-флуоресцентный анализ химический обработанных проб полученных из окисленных руд синхезита //Proc. of the Intern.l School on Contemp. Phys. ISCP-III, p.297-300, 2005, Ulaanbaatar, Mongolia
- [61] Ts.Amartaivan, E.D.Greaves, G.Bernasconi, P.Wobruschek. Total reflection X-Ray fluorescence analysis of Mongolian coals// J.Radioanal. Nucl. Chem. 220 2 (1997) 249-254
- [62] Ts.Amartaivan, R.Erdenechimeg, Sh.Gerbish, “Determination of trace elements in coal using nuclear analytical techniques”// Mongolian Geoscientist, 10 (1998) 56-59
- [63] R.Erdenechimeg, Ts.Amartaivan, Toxic elements in coals of Eastern Mongolian province.// Mongolian Geoscientist, 10 (1998) 58-62
- [64] Ts.Amartaivan, Kh.Orkhon. In-situ analysis for geological samples //Эрдэс баялаг-найрлагын стандартчилсан загвар, олон улсын эрдэм шинжилгээний хурал, Улаанбаатар, Монгол улс, 2007 оны 12 сарын 10-11,
- [65] Б.Батжаргал, П.Зузаан, Ш.Гэрбиш, В.П.Мартынов, А.С.Мартынова, А.Г.Ревенко. Геохимия некоторых элементов в тундровых почвах прихубсугулья //В кн: Тезисы докладов, Международной конференции, “Природные условия и ресурсов некоторых районов МНР” г.Улан-Батор,1980, с.54-55
- [66] П.Зузаан, Н.Содном, Б.Батжаргал. К вопросу о подготовке почвенных образцов для валового анализа //В кн: Тез. докл. XIII междунар. конф. по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции, 1984, УБ, с.93
- [67] Б.Батжаргал, В.П.Мартынов, П.Зузаан, Н.Содном. Некоторые почвенно-геохимические характеристики элементарных почвенных ареалов в северном Прихубсугулье //там же 1984, УБ, с.94
- [68] П.Зузаан, А.Г.Ревенко, Н.Содном. Хөрс, уулын чулуулгын энерго-дисперсийн рентген-флуоресценцийн аргын хэмжил зүйн үзүүлэлтийн үнэлгээ //МУИС ЭШБ №5(103) 1990 х.129-143
- [69] 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 международный научной конференции по результатам работы МСКХ экспедиции, УБ, с.62-64
- [70] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, П.Зузаан, С.Билал, Б.Эрдэмчимэг, Ц.Цэрэнгомбо. Хөрсний элементийн агуулгыг РФА-ийн аргаар судалсан дүнгээс //“Бүс нутгийн тогтвортой хөгжил, мэдээллийн технологи-2002” эрдэм шинжилгээ, онол практикийн бага хурал, х.74-77
- [71] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Ц.Намчинсүрэн, О.Отгонсүрэн, Б.Эрдэмчимэг. Улаанбаатар хотын авто замын дагуух хөрсний элементийн судалгаа //“МУИС, Эрдэм Шинжилгээний Бичиг” № 167 (9), 2000,
- [72] А.Г.Ревенко, А.А.Батраева, П.Зузаан, Б.Далхсүрэн. Рентгеноспектральное определение содержания элементов в растениях Прихубсугулья. //В кн: Природные условия и ресурсов некоторых районов МНР (тез. докл.Междунар. конф. по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции), 1978, с.34-36
- [73] А.А.Батраева, В.И.Ивельская, Г.П.Петрова, А.Г.Ревенко, П.Зузаан. Химический состав растений некоторых видов в прихубсугулье //В кн: Тез. докл. XIII междунар. конф. по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции, г.Иркутск, 1979, с.38-40
- [74] А.А.Батраева, В.А.Барицкая, Ц.Жамсран, П.Зузаан. Некоторые сведения о содержания тяжелых металлов в золе растений Прихубсугулья. //В кн: Природные условия и ресурсов некоторых районов МНР (тез. докл.международный

- конференции по результатам работы Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции), 1986, с.58-59
- [75] А.Г.Ревенко, П.Зузаан, Ш.Гэрбиш. Разработка методик анализа природных материалов для рентгеновского спектрометра с ППД. //В кн: Тез. докл., II всесоюз.конф. по автоматизации анализа химического состава вещества, г.Москва, 1980, с.30.
- [76] П.Зузаан, Г.П.Петрова, Б.Далхсүрэн, Е.А.Грачева, Ш.Гэрбиш. Применение рентгено-спектрального метода для химического анализа состава природных материалов Прихубсугуля //В кн: Природные условия и ресурсов некоторых районов МНР (тез. докл. IXмеждународ. конф., посвященная 10 летию Монголо-Советской комплексной Хубсугульской экспедиции), 1980, с.63-64
- [77] Ц.Цэрэндулам, П.Зузаан. Рентген-флуоресценцийн анализаар найрлагын стандарт загварт хийсэн шинжилгээний дүн //”Хүрэл тогоотын семинар 2008” эрдэм шинжилгээний бага хурлын материал, 2008, х.131-133
- [78] 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: Тез. докл.междунар. конф. “Природное условия и ресурсы некоторых районов в МНР” г. Иркутск, 1981 с.56-57
- [79] Б.Далхсүрэн, Ш.Гэрбиш, Б.Эрдэв, Ц.Цэрэнгомбо, Ж.Баярмаа. Хар ус нуурын усны зарим микроэлементийг судалсан дүнгээс //“XXI зуун, бүс нутгийн тогтвортой хөгжил-мэдээллийн технологи” сэдэвт эрдэм шинжилгээ, онол практикийн бага хурал, Увс, Хархираа 2001, хх.105-108
- [80] Г.Ганболд, .Ганчимэг, Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, Ж.Баярмаа, О.Д.Маслов, Д.В.Севастьянов, Исследование распределения элементов в природных водах бассейна реки Селенги //Препринт18-2001-141,ОИЯИ, Дубна, 2001, 8с.
- [81] Ж.Баярмаа, Б.Далхсүрэн, Ц.Цэрэнгомбо. Баруун бүсийн зарим аймгуудын усны хүнд металлыг БОРФШ-ний аргаар судалсан нь //МУИС ЭШБ №167(9), 2002. х.45
- [82] 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, 1998, х.19
- [83] Н.Yamazaki, K.Ishii, Y.Takahashi, S.Matsuyama, Ts.Amartaivan, S.Abe, K.Inomata, Y.Watanabe, A.Ishizaki. Quantitative Analysis for Cr(III) and Cr(VI) Ions in Environmental Water Samples by using PIXE // International Journal of PIXE 15 (1&2) (2005)73-83
- [84] Ts.Amartaivan, K.Ishii, H.Yamazaki, Y.Takahashi, S.Matsuyama, T.Satoh, S.Sugihara K.Katoh Y.Komori and H.Orihara. PIXE analysis of trace heavy metals in river and tap waters using an ion-exchange cellulose filter paper //Intern. Journ of PIXE, 12 (2002) 217-223
- [85] Н.Yamazaki, K.Ishii, Y.Takahashi, Ts.Amartaivan, S.Matsuyama, T.Sato, S.Sugihara, K.Sera and G.C.Jon. PIXE elemental analysis of drinking water supplies // Intern. Journal of PIXE, 12 (2002) 209-215
- [86] Н.Yamazaki, K.Ishii, Ts.Amartaivan, Y.Takahashi, S.Matsuyama, T. Sato, S.Sugihara, H.Orihara and C.G.Jon. PIXE Analysis of Trace Heavy Metals in River Waters Using an Ion-Exchange Cellulose Filter Paper //International Journal of PIXE, 11 (2001) 79-86
- [87] Н.Yamazaki, K.Ishii, Y.Takahashi, S.Matsuyama, Y.Kikuchi, Ts. Amartaivan, T.Yamaguchi, G.Momose, S.Abe, K.Inomata, Y.Watanabe, A.Ishizaki. Identification of Oxidation States of Trace-Level Arsenic in Environmental Water Samples Using PIXE // International Journal of PIXE 15 (3&4) (2005) 241-248
- [88] Ж.Баярмаа, Х.Жамбалмаа, Ч.Чимэддулам. Импортын хүнсний бүтээгдэхүүний хүнд металлын бохирдолтын эрүүл ахуйн үнэлгээ //“Хүн ба хүнс” сэтгүүл №4, Улаанбаатар, 1998, х.25-28
- [89] Ж.Баярмаа, Ш.Гэрбиш. Хүнсний бүтээгдэхүүнд цацраг идэвхт элемент, хортой хүнд металл тодорхойлох //Бүс нутгийн хөгжил, мэдээллийн технологи-2000, Илтгэлийн хураангуй, Завхан, 2000, х.148-161
- [90] Н.Содном, Х.Сиражет, Ж.Ганзориг, П.Зузаан нар. Байгаль орчны бохирдолтыг судлахад цөмийн физикийн арга хэрэглэх нь //ШУА-ийн мэдээ, №4, 1984, х.14-21
- [91] Ш.Гэрбиш, А.Н.Смагунова, Д.Дорж, О.Болормаа. Использование спектрометра с полным внешним отражением при РФА

- объектов окружающей среды //В кн: Тез. докл.У конф. Аналитика Сибири и дальнего востока, 1996 г. Новосибирск, с.174.
- [92] П.Зузаан, Н.Содном, Ш.Ганчимэг, Д.Цогтбаяр. Эрдэнэтийн уурхайн тоосны тархалтыг судалсан дүн //МУИС, ЭШБ, №5(103), 1990, х.79-84
- [93] Ш.Гэрбиш, Б.Далхсүрэн, П.Зузаан, Б.Эрдэв. Цөмийн физикийн аргаар Улаанбаатар хотын агаарын дээжинд хийсэн шинжилгээний дүн //“Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол” номонд, 1998, х.100-108
- [94] S.Gerbish, G.Ganchimeg, J.Bayarmaa and B.Dalkhsuren. Determination of radionuclides, toxic heavy metals and trace elements in environmental samples //“Radionuclides and Heavy Metals in Environment” IV Earth and Environmental Sciences-Vol.5 pp.273-282
- [95] С.Лодойсамба, Д.Шагжжамба. Цөмийн физикийн аргыг Агаарын бохирдлын судалгаанд хэрэглэх //Цөмийн энергийн комисс 50 жил эмхэтгэл. Улаанбаатар. 2013.Хуудас 116-119
- [96] П.Зузаан, С.Лодойсамба, Д.Шагжжамба. Применение РФА для определения источников загрязнения PM2.5 в атмосфере г.Улаанбаатора Монголии. //Тез. докл. конф. VIII Всеросс.конф. по рентгеноспектрально-ному Анализу. 2014, Иркутск. с.81. 2014.
- [97] Amgalan N. Shagjjamba D. Assessmens of elemental concentrations of particle matter in Ulaanbaatar, Mongolia //Best:International journals of management, Information technology and engineering (Best Umite) ISSN(print):2348-0513; ISSN(Online): 2454-471X; Vol. 3, Issue 10, Oct 2015, 15-24
- [98] S.Lodoysamba, D.Shagjjamba, G.Gerelmaa. Determination of PM2.5 and PM10-2.5 concentration and air pollution source apportionment Ulaanbaatar city, using PIXE analysis. //Proc. 2nd Intern. Conf. on X-Ray analysis (2009), pp 109-122.
- [99] S.Lodoysamba, D.Shagjjamba, C.A.Hasenkopf, G.Gerelmaa, B.Bulgansaikhan. Results of source apportionment by receptor modelling of APM in Ulaanbaatar city //Physics Science Journal, National University of Mongolia, N 397(18)(2014), pp. 121-125.
- [100] G.Gerelmaa, S.Lodoysamba, D.Shagjjamba, Ts.Amartaivan, Perry K. Davy, Andreas Markwitz, William J.Trompetter. Air particulate matter pollution in Ulaanbaatar city Mongolia. //International Journal of PIXE22, 165 (2012). DOI: 10.1142/S0129083512400062
- [101] Perry K. Davy, Gerelmaa Gunchin, Andreas Markwitz, William J. Trompetter, Bernard J. Barry, Dagva Shagjjamba, Sereeter Lodoysamba. Air particulate matter pollution in Ulaanbaatar, Mongolia: determination of composition, source contributions and source locations. //Atmospheric Pollution Research 2 (2011), pp.126-137.
- [102] S.Lodoysamba, D.Shagjjamba, G.Gerelmaa. Characterization PM2.5-0 and PM10-2.5 Air Pollution of Ulaanbaatar City. //Physics Science Journal, National University of Mongolia, N 309(15)(2009), pp. 1-4.
- [103] О.Болормаа, О.М.Карпукова, А.Н.Смагунова, Д.Дорж, Ш.Гэрбиш. Разработка методики РФА-а волос с помощью спектрометра с полным внешним отражением первичного излучения. //Аналитика и контроль, 1999, №3 с.27-31
- [104] Bolormaa O., Karpukova O.M., Rozova O.F. et.al. Determination of zinc in Hair by X- Ray spectrometry //J.Anal. Chem, 1998.vol.53, No7, pp.772- 775.
- [105] Pavlinskii G.V., Smagunova A.N., Karpukova O.M., Bolormaa O., Dorj D. “Sources of Error in Total Reflection X – ray Fluorescence Analysis and Error Correction Using the Internal Standard Method //J.Anal. Chem. 2002, vol.57, No3, pp.231- 239
- [106] П.Зузаан нар. РФА-ын аргаар хүний үсэнд кальци тодорхойлох. ЦШЛ-ийн Эрдэм шинжилгээний тайлан. 1986-1990, х. 491-493
- [107] Ts.Javzandolgor, Ch.Buyantogtokh, Ts.Amartaivan. Results of analysis in blood serum and tissue of goats in the vicinity of mining // Mongolian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 56-59
- [108] A.G. Revenko, Z.Puzaan, S.Davaa. Report on the Third International Conference on X-Ray analysis, 20-24 August 2012, Ulaanbaatar, Mongolia //X-Ray Spectrometry, 2013, 42, 409-411
- [109] Д.Болортуяа. “Рентген шинжилгээ – IV” олон улсын эрдэм шинжилгээний хурал //Физикийн боловсрол сэтгүүл, № 203, 2015, х.57-59
- [110] O.Bolormaa, S.Narantsetseg, B.Burmaa, P.Oyukhuu, Ts.Amartaivan. Human hair elemental analysis of patients with viral hepatitis and liver cirrhosis by XRF method

- //Вестник Бурятского государственного университета, 2012. 3, 98-101
<http://cyberleninka.ru/article/n/human-hair-elemental-analysis-of-patients-with-viral-hepatitis-and-liver-cirrhosis-by-x-ray-fluorescence-method>
- [111] Ж.Ганзориг, Ш.Ганчимэг, П.Зузаан, Б.Ишмэнд Н.Содном Г.Хүүхэнхүү. Изыскание эффективных методов разрушения взрывом с целью улучшения рудоподготовки медно-молибденовых руд. //ПДС-ийн ЭШБ, №1, 1987, с.110-118
- [112] Б.Ишмэнд, П.Зузаан, Г.Хүүхэнхүү и др. Совершенствование разработки “Эрдэнэтийн овоо”. //Научный отчёт, Улан-Батор,1988
- [113] Proceedings of Conference on X-ray Analysis, September 29-30, Ulaanbaatar, 2006, 209 pages, Edited by S.Davaa, P.Zuzaan
- [114] Proceedings of the 2nd International Conference on X-ray Analysis, September 23-26, Ulaanbaatar, Mongolia, 2009, 232 pages, Edited by P.Zuzaan, S.Lodoysamba
- [115] Proceedings of the 3rd International Conference on X-ray Analysis, September 20-24, Ulaanbaatar, 2012, 199 pages, Compiled by D.Bolortuya, G.Damdinsuren

