

Академич Н.Содномын мэндэлсний 100 жилийн ойд зориулсан “Рентген шинжилгээ” олон улсын эрдэм шинжилгээний зургаадугаар хурал

Д.Болортуяа*, П.Зузаан

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

Цөмийн физикийн судалгааны төв “Рентген шинжилгээ” олон улсын эрдэм шинжилгээний зургаадугаар хурлыг 2023 оны 8 дугаар сарын 28-30-ны өдрүүдэд зохион байгууллаа. Энэ удаагийн хурал танхим-цахим хосолмол хэлбэрээр явагдсан бөгөөд Монгол, ОХУ, Япон, АНУ, Испани, Итали, Энэтхэг, Аргентин улсын 60 гаруй эрдэмтэн судлаачид оролцов. Хуралд рентген шинжилгээний салбарын сүүлийн үеийн дэвшил, өнөөгийн чиг хандлага, онол аргазүйн тооцоолол болон хүрээлэн буй орчин, геологи уул уурхай, бодисын бүтэц, цацрагийн боловсруулалт зэрэг төрөл бүрийн салбарыг хамарсан суурь болон хэрэглээний судалгааны 24 аман илтгэл, 14 ханын илтгэл хэлэлцүүлэв. Энэхүү өгүүлэлд тус хуралд тавьсан ач холбогдол бүхий сонирхолтой илтгэлүүдийн агуулгыг тоймлон оруулав.

PACS number: 01.10.Fv & 01.10.Hx

I. УДИРТГАЛ

МУИС-ийн харьяа Цөмийн физикийн судалгааны төв (ЦФСТ) нь “Рентген шинжилгээ” олон улсын эрдэм шинжилгээний зургаадугаар (The 6th International Hybrid Conference on X-ray Analysis, ICXRA-VI) хурлыг 2023 оны 8 дугаар сарын 28-30-ны өдрүүдэд амжилттай зохион байгууллаа. Энэхүү эрдэм шинжилгээний хурлыг Монгол Улсад рентген шинжилгээний онол, аргазүйг хөгжүүлэх, өргөжүүлэх, салбарын судлаачдыг дэмжих, сүүлийн үеийн дэвшлийг түгээн дэлгэрүүлэх, олон улсын эрдэмтэдтэй харилцан туршлага солилцох зорилгоор хийсэн бөгөөд профессор П.Зузааны санаачилгаар анх 2006 онд зохион байгуулснаас хойш өдгөө 6 дахь цуврал нь болж байна [1-6]. Энэ удаагийн хурлыг ЦФСТ-ийг үүсгэн байгуулагч, МУИС-ийн захирал, ШУА-ийн ерөнхийлөгч, Дубна хот дахь Цөмийн Шинжилгээний Нэгдсэн Институт (ЦШНИ)-ийн дэд захирал асан, төр нийгмийн нэрт зүтгэлтэн, Монгол Улсын физик-математикийн ухааны анхны эрдэмтэн, гавьяат багш, академич Намсрайн Содномын мэндэлсний 100 жилийн ойг хүндэтгэн зохион байгуулсан юм.

Хурлын нээлтэд БШУЯ-ны Шинжлэх ухаан, технологийн бодлого, инновацын хөгжүүлэлт, хэрэгжилтийг зохицуулах газрын дарга Д.Баттогтох, Цөмийн энергийн комиссын нарийн бичгийн дарга бөгөөд Ажлын албаны дарга Г.Манлайжав, ОХУ-ын Дэлхийн царцдас судлалын хүрээлэнгийн эрдэмтэн, МУИС-ийн хүндэт профессор А.Г.Ревенко нар хүрэлцэн ирж зочид, төлөөлөгч, эрдэмтэн судлаачдад амжилт

хүсэн мэндчилгээ дэвшүүлэв. Энэ үеэр Д.Баттогтох Монгол Улсад цөмийн физикийн шинжлэх ухааныг хөгжүүлэхэд үнэтэй хувь нэмэр оруулсан академич Н.Содномын мэндэлсний 100 жилийн ойг тэмдэглэх Засгийн газрын шийдвэрийг танилцуулж, мөн Г.Манлайжав Монгол Улс Олон Улсын Атомын Энергийн Агентлаг (ОУАЭА)-т гишүүнээр элссэнээс хойш эдүгээ 50 жил болж байгааг дурдан, тус байгууллагын техникийн хамтын ажиллагааны дэмжлэгээр рентген флуоресценцийн спектрометрийг Монголд суурилуулсан анхны төслийн зохицуулагч нь академич Н.Содном байсныг, А.Г.Ревенко Монгол Улсад рентген флуоресценцийн шинжилгээ (РФШ) хөгжихөд МУИС ба Эрхүүгийн Их Сургууль хэрхэн хамтран ажиллаж байсан, энэ чиглэлд Н.Содномын гүйцэтгэсэн үүрэг оролцооны талаар дурсан яриу.

Академич Намсрайн Содномын Монгол Улсад рентген флуоресценцийн судалгаа, шинжилгээ үүсэж хөгжихөд оруулсан хувь нэмрийн талаар дээрх хүмүүсээс гадна хурлын модиратор болон ЦФСТ-ийн захирлын хэлсэн үгэнд шигтгэгдэн орж, дурсагдсаны зэрэгцээ хурлын илтгэлийн хураангуйд хэвлэгдсэн.

ICXRA-VI хурал танхимын ба цахим хосолмол хэлбэрээр явагдсан нь өмнөх хурлуудаас онцлог байсан бөгөөд Монгол, ОХУ, Япон, АНУ, Испани, Итали, Энэтхэг, Аргентин болон ЦШНИ зэрэг 8 улсын 60 гаруй эрдэмтэн

* Э-шуудан: bolortuya_d9@num.edu.mn

судлаачид рентген шинжилгээний салбарын сүүлийн үеийн дэвшил, суурь болон хэрэглээний судалгааны ажлын үр дүн, шинэ арга зүй, технологийн талаарх ололт амжилтаа хуваалцсан 24 аман илтгэл, 14 ханын илтгэл хэлэлцүүлсэн юм [7-8]. Энэхүү өгүүлэлд “Рентген шинжилгээ-VI” олон улсын хуралд тавигдсан илтгэлүүдийн агуулгыг товч тоймлон хүргэхийг зорилоо.

II. РЕНТГЕН ШИНЖИЛГЭЭ

Тус хурлын илтгэлүүд нь рентген шинжилгээний өнөөгийн чиг хандлага, онол аргазүйн тооцоолол болон хүрээлэн буй орчин, геологи уул уурхай, бодисын бүтэц, цацрагийн боловсруулалт зэрэг төрөл бүрийн салбарыг хамарч байв.

Рентген шинжилгээний хөгжлийн чиг хандлага

Хурлын зочин илтгэгч, Япон Улсын Киото их сургуулийн профессор Ж.Кавай 2022 онд Springer хэвлэлийн газраас эрхлэн гаргасан өөрийн бүтээл "Химийн төлөв байдлын шинжилгээнд зориулсан рентген спектроскоп" [9] номын агуулгыг танилцуулж, сүүлийн үеийн рентген спектроскопын ололт болон шинэ санаануудыг хэрхэн нээн хөгжүүлсэн талаар сонирхолтой илтгэл тавьсан юм.

Материал судлалын салбарт РФШ амжилттай хэрэглэгдэж байна. Зочин илтгэгч А.Г.Ревенко эрчимтэй хөгжиж буй нано-технологийн салбарт нэвтэрсэн рентген шинжилгээний арга технологиудын талаар дурдаж, нано технологийн үндсэн материал синтезжүүлсэн нано бөөмсийг судлахад Фурье хувиргалтын нил ягаан (UV) болон хэт улаан (infrared) туяаны спектроскоп (FTIR), рентген дифракц (XRD), динамик гэрлийн сарнил, сканинг электрон микроскоп (SEM), энергиэр ялгах рентген спектроскоп (EDXRF & EDXS), бүрэн ойлтын (TXRF) болон синхротрон цацрагт рентген флуоресценц (SXRF) зэрэг олон аргыг ашигладаг талаар мэдээлж, сүүлийн үед өндөр хөгжилтэй орнуудад хийгдэж байгаа биетийн элементийн найрлага ба байрлал аль алиныг нь бүртгэн тодорхойлох боломжтой рентген флуоресценцийн компьютерт томографи (XRF-CT) хөгжүүлэлт болон материал судлалд нэвтрүүлэх боломжтой шинэ аргуудын талаар тойм илтгэл тавив.

ОХУ-ын Новосибирск хотод байрлах Г.И.Будкерийн нэрэмжит Цөмийн физикийн институтийн судлаач Ф.Дарин тус хотод байрлах VEPP-3 электроны цикл хурдасгуурт тулгуурласан синхротрон цацрагийн төвд ашиглаж буй рентген шинжилгээний аргазүй,

өнөөгийн байдал, цаашдын чиг хандлагын талаар танилцуулав. Энэхүү төвд бодисын бүтэц, мэдээллийг судлахдаа ердийн, скан, конфокаль РФШ-ний аргууд, мөн конфокаль рентген микроскоп ашигласан рентген шингээлтийн нарийн бүтцийн (XAFS) спектроскопын аргыг боловсруулан ашиглаж байгаа болон цаашид XRF-CT, ердийн дифракцийн аргуудыг хөгжүүлэхээр ажиллаж байгаа талаар дурдав. Мөн энэхүү хурдасгуурыг түшиглэн бодисын химийн элементийн 1 мг/кг хүртэлх агуулга, элементийн валентын төлөв, байрлалыг тодорхойлох зэргээр өргөн хүрээнд ашиглаж байгаа тухай сонирхууллаа.

Онолын тооцоолол, математик загварчлал, ухаалаг технологи

Шинжилгээний үр дүнг нарийвчлал сайтай, үнэн бодит гаргахад рентген спектрийг зөв боловсруулах, дээж бэлтгэх, түүний нөлөөг нарийн зөв тооцоолох нь маш чухал байдаг. М.В.Ломоносовын нэрэмжит Москвагийн улсын их сургуулийн судлаач А.В.Гармай нар рентген спектрийг тооцоолох үеийн алдааг багасгахын тулд Монте-Карлогийн аргаар спектрийг загварчилж асуудлыг шийдсэн суурь судалгааны үр дүнг танилцуулав. Энэ удаад долгионы уртаар ялгах рентген флуоресценцийн (WDXRF) спектрометрийн хувьд Монте-Карлогийн алгоритмыг ашигласан бөгөөд тус тооцоолсон симуляци, хэмжсэн спектрууд хоорондоо сайн тохирч байгааг харуулж, уг аргачлалыг спектр боловсруулах, РФШ-ний нарийвчлалыг сайжруулах, нөлөөлж буй бусад хүчин зүйлсийг таамаглахад ашиглаж болох тухай үнэтэй саналуудыг дэвшүүлж байлаа.

Хурлын зочин илтгэгч, А.П.Виноградовын нэрэмжит Геохимийн институтийн эрдэмтэн А.Л.Финкельштейн нар Пуассоны статистикт үндэслэн маш бага хэмжээтэй дээжийн массыг тооцоолох нэгэн шинэ аргачлалыг санал болгов. Геохими, археологи, шүүх эмнэлэг, түүхийн судалгаанд 100 мг ба түүнээс бага хэмжээтэй нунтагласан дээжийг шинжлэх шаардлагатай болдог ч энэхүү хэмжээ нь дисперсийн шинжилгээнд суурилсан ердийн практикт хэрэглэх боломжгүй байдаг. Пуассоны статистикт үндэслэн бага хэмжээтэй дээжийн массыг нарийн тооцоолсноор РФШ-ний үр дүнг сайжруулахад үнэтэй хувь нэмэр оруулах нь дамжиггүй юм.

Дээжтэй харьцах үед гарч болох нийтлэг асуудалд дээж алдагдах, бохирдохоос гадна химийн хорт бодис ашиглах үед хүн болон хүрээлэн буй орчинд аюул учирч болно. Тэгвэл тус хуралд Италийн Брешиа их сургуулийн

(University of Brescia) докторант P.Cirelli нар дээж бэлтгэх Smart Store® гэгдэх нэгэн шинэ ухаалаг технологийг танилцуулсан юм. Бүх төрлийн РФШ-ний аргачлалтай зохицох уян хатан зохицуулалттай тус төхөөрөмжийг элементийн шинжилгээнд ашиглах нь тус салбарын хэтийн төлөв болохыг онцолж байлаа.

Хүрээлэн буй орчны судалгаа

Агаар: Хүрээлэн буй орчны судалгаанд рентген шинжилгээний аргыг өргөн ашигладаг. Энэ удаагийн хуралд агаар, ургамал, цас, хөрсний бохирдлын судалгааны сонирхолтой үр дүнгүүд тавигдсан юм. Тухайлбал, Монгол-Германы хамтарсан ашигт малтмал, технологийн их сургуулийн профессор С.Лодойсамба Улаанбаатар хотын нэгэн адил Налайх дүүрэг өвлийн улиралд маш их бохирдолтой байгааг онцолж, Налайхын төвд PM2.5-ын жилийн дундаж агуулга 60-352 мкг/м3 байгаа нь Монгол Улсын стандартаас 2.4-14 дахин, ДЭМБ-ын заавраас 6-35 дахин их, харин хүнд, хортой элементүүдийг РФШ-ний аргаар тодорхойлоход Монгол Улсын болон олон улсын стандартаас доогуур гарсан байна. Тус дүүргийн салхины дээр байрлах хогийн цэг нь агаарыг бохирдуулагч аюултай эх үүсвэр болж байгаа тул тус цэгийг нүүлгэн шилжүүлэх, агаарын чанарыг хянах арга хэмжээ авах талаар дүүргийн удирдлагуудад зөвлөмж гаргах нь зүйтэй гэж илтгэлдээ дурдлаа.

Мөн ЦФСТ-ийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Д.Шагжамба нарын судалгаанд Улаанбаатар хотод шахмал түлш хэрэглэхээс өмнөх 2016-2019 он болон шахмал түлш хэрэглэснээс хойших 2019-2022 оны агаарын бохирдлыг харьцуулан судалж, гэр хорооллын суурьшлын бүсээс ялгарч буй PM2.5 бохирдлын хэмжээ шахмал түлш хэрэглэснээс хойш хоёр дахин буурсан боловч бусад эх үүсвэрээс ялгарах уг тоосонцрын бохирдол 2-3 дахин нэмэгдсэн байна. Үүнийг хотжилт, тээврийн тэлэлт, үйлдвэрлэлийн үйл ажиллагаа, хүн амын өсөлт зэрэг хүчин зүйлсээр тайлбарлаж болно гэж үзсэн байна.

Ургамал: Орчны бохирдлыг судлахад тухайн газрын ургамлыг биоиндикатор болгож, ямар төрлийн ургамал, модыг хүрээлэн буй орчны шинжилгээнд ашиглахад тохиромжтой талаар эрэл хайгуул хийн, жишиж судалсан сонирхолтой илтгэлүүд мөн тавигдлаа. Тухайлбал, АНУ-ын Чикагогийн Лойола их сургуулийн (LUC) дэд профессор M. Schmeling Чикаго дахь аж үйлдвэрийн төвүүдийн ойролцоох үйлдвэрлэлээс шалтгаалах бохирдлыг тодорхойлохын тулд хэд хэдэн газраас хоёр өөр

төрлийн өвслөг ургамлын (*Daucus Carota* - зэрлэг лууван, нөгөө нь *Artemisia Vulgaris* - үнэрт шарилж) дээжийг цуглуулж бүрэн ойлтын рентген флуоресценцийн аргаар шинжилсэн судалгааны дүнг танилцуулсан юм. Эдгээр өвслөг ургамал нь маш хурдан ургадаг тул биоиндикаторын хувьд ургамлыг бүхэлд нь хураан авч шинжилж болох давуу талтай. Дээжүүдийг хүнд металлын бохирдол гарч болзошгүй, мөн олон нийтийн газарт нөлөөлж болохыг тодорхойлох зорилгоор төмөр замын талбай, асфальтын үйлдвэр, үр тариа хадгалах агуулах, цэцэрлэгт хүрээлэн гэх харилцан адилгүй үйл ажиллагаа явуулж буй газрын ойролцоогоос цуглуулсан байна. Судалгааны дүнд хүнд металлын бохирдол аж үйлдвэрээс хамаарч өөр өөр байсан ч төмөр замын ойролцоо хамгийн их байгааг тогтоосноос гадна ургамалжилт, ялангуяа хурдан ургадаг өвслөг ургамлууд нь хүнд металлын бохирдлыг судлахад тохиромжтой индикатор болж чадахыг харуулж байна гэж онцолж байлаа.

Ургамлын болон биологийн баталгаажсан стандарт материалын жагсаалт нэмэгдэж, хамрах хүрээ нь өргөжиж байгаа ч тохиромжтой найрлага бүхий стандарт материал хангалтгүй байдаг. Тухайн дээжийн элементийн агуулгыг тооцоолохын тулд тулгуур параметрийн зэрэг харьцуулах стандартгүй аргуудыг ашиглаж болох ч судлагдсан дээжийн химийн найрлагын мэдээллээр хязгаарлагддаг байна. ОХУ-ын Виноградовын нэрэмжит Геохимийн институтийн эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан Е.В. Чупарина нар Байгаль нуурын усны бохирдлыг судлахад нуурын хөвөн (sponge)-г индикатор болгон ашиглах боломжийг туршсан дүнг танилцуулав. Учир нь тус хөвөнгийн гаднах бүрхүүлийн өргөс(spicules)-ийн үндсэн бүрэлдэхүүн нь аморф цахиурын өндөр агуулгатай ч бусад элементийн агуулга бага байдаг. Энэ удаад Байгаль нуурын хөвөнд Ti, Mn, Cu, Zn, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Pb элементүүдийн агуулгыг тодорхойлохдоо бэлэн стандарт материал дээр тодорхойлох химийн элементүүдийг хольж бэлдсэн синтетик тохируулгын дээжүүдийг бүрэн ойлтын болон долгионы уртаар ялгах РФШ-ний аргуудаар харьцуулан судалж аргазүйгээ баталгаажуулсан байна.

Модлог ургамал нь тодорхой хэмжээний химийн элементүүдийг хуримтлуулах чадвартай бөгөөд хорт нэгдлүүдийг хүрээлэн буй орчинд тархахаас сэргийлдэг байна. ОХУ-ын Дэлхийн царцдас судлалын хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний ажилтан С.И.Штельмах нар Эрхүү хотын техногенийн нөхцөлд ургаж буй гацуур (*Picea Canadensis Conica*) болон хөх

өргөст гацуур (*Picea Pungens Glauca*)-ын өргөсөнд агуулагдах хорт элементүүд болох Al, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Sr, Ba-ийн агуулгыг долгионы уртаар ялгах РФШ-ээр тодорхойлж, улирлын динамикийг загварчилж харуулсан сонирхолтой судалгааны дүнг хэлэлцүүлээ. Харин З.Батсүрэн, П.Зузаан, О.Энхтуяа нарын ШУА-ийн Ботаникийн цэцэрлэгт хүрээлэн болон МУИС-ийн ЦФСТ-ийн хамтарсан судлаачид Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрээс цуглуулсан хаг, хөвдийн дээжүүд дэх элементийн агуулгыг судлахад хүний үйл ажиллагаатай холбоотой Ni, Cu, Zn, Pb зэрэг элементийн агуулга бусад газрынхаас Богд уул, Налайх, Улиастай уулын бэл орчмын дээжид өндөр гарсан байна. Энэ нь цахилгаан станцын үнсний хог хаягдал, суурьшлын бүсийн яндангийн утаа, машин техниктэй холбоотой байх магадлалтай бөгөөд судалгааны үр дүн нь цаашид мониторинг хийх замаар бохирдлын түвшинг тогтоох нэгэн үндэслэл болно гэж үзэж байв.

Цас: Цасан бүрхүүл хоёроос дээш сар тогтдог бүс нутгуудын хувьд цас нь агаар мандлын хур тунадас дахь бохирдлыг судлахад хамгийн мэдээлэл сайтай индикатор болдог байна. Цасны дээжийг шүүн тунгааж, тунадасжуулахад масс нь 200 мг-аас хэтрэхгүй багасдаг бөгөөд матрицад тохирох стандартчилсан материал байдаггүйгээс элементийн шинжилгээний ердийн аргуудыг ашиглахад хязгаарлагдмал байдаг. Виноградовын нэрэмжит Геохимийн институтын эрдэм шинжилгээний ахлах ажилтан А.Амасова, В.Чубаров нар цасан бүрхүүлийн хатуу фазын дээжийг шинжлэх хоёр аргыг санал болгосон юм. Үүнд эхнийх нь ширхэглэгийн хэмжээ болон минерологийн нөлөөг багасгах зорилгоор дээжийг 110 мг литийн метаборагтай хайлуулж үндсэн элементүүдийг долгионы уртаар ялгах рентген флуоресценцийн аргаар тодорхойлох; нөгөө нь 20 мг дээжээр бэлтгэсэн уусмалд дотоод стандарт ашиглан бүрэн ойлтын рентген флуоресценцийн аргаар тоон шинжилгээ хийх. Хоёр аргыг хослуулан бохирдсон цасны дээжид үндсэн бүрэлдэхүүн (Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, Fe) болон хортой байж болзошгүй микроэлементүүд (As, Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, V, Mn, Sr)-ийг тодорхойлж хүрээлэн буй орчны бохирдлыг үнэлэхэд ашигласан судалгааны дүнг танилцуулсан юм.

Хөрс: Рентген шинжилгээний аргаар хөрсний химийн элементийн найрлага, хортой, хүнд металлын бохирдлыг судалсан илтгэлүүдээс дурдвал Геологийн судалгаа-шинжилгээний төвийн судлаачид Дундговь аймгийн нутаг дэвсгэрт орших Хараатын цацраг идэвхт хүдрийн ордын талбайд анх удаа хөрсний

химийн элементүүдийн тархалтыг цогцоор нь судалсан дүнг танилцуулсан хоёр илтгэл хэлэлцүүлээ. Тус лабораторийн судлаач Н.Балжинням, ЦШНИ-ийн Флеровын нэрэмжит Цөмийн урвалын лабораторийн судлаач М.В.Густова нарын баг энергиэр болон долгионы уртаар ялгах РФШ-ний аргуудаар тус ордын нөлөөллийн бүсээс авсан хөрсний дээжид химийн элементийн агуулгыг тодорхойлсон дүнг харуулсан бол А.Каривай, С.Шинэхүү нар тус орд орчмын хөрсний ховор шорооны элементийн агуулга кларкаас хэтрээгүй, торийн (Th) агуулга нь ураны (U) агуулгаас өндөр, харин ургамал дахь ховор шорооны элемент (ХШЭ)-ийн агуулга хөрснийхөөс өндөр гарсан болохыг илтгэлдээ дурдсан юм. Мөн тус талбай орчмын өргөст бутны харганад стронцийн (Sr) агуулга өөрчлөлттэй, нас ахисан харганад 938 мг/кг-аас 4714 мг/кг хооронд хэлбэлзэж байгааг тогтоож, өргөст бут сөөг нь бусад холбогдох элементүүдтэй харьцуулахад стронцийг сонгон шингээх магадлал өндөр байж болохыг онцолж байлаа.

Тувагийн их сургуулийн дэд профессор Урана Ондар нар Тувагийн баруун өмнөд хэсэгт орших Межегей нүүрсний уурхай орчмын хөрс, өвсний дээжийг судлан хөрсөнд Mn, Cu, Zn, өвсөнд Mn-ийн агуулга зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс хэтэрсэн болохыг, энэ нь голчлон уурхайн үйлдвэрлэлийн ойролцоох усны дээжид ажиглагдаж байгаа нь нүүрс олборлогч аж ахуйн нэгжийн тухайн орчинд үзүүлэх нөлөөлөл байж болзошгүйг харуулж байна гэж илтгэлдээ дүгнэж байв.

Автомашинны батареины эд ангиудыг задлах, дахин боловсруулах үед төрөл бүрийн хортой, хүнд элементүүд алдагддаг тул байгаль орчинд үзүүлэх нөлөөллийг үнэлж, хянаж байх нь маш чухал юм. ЦФСТ-ийн эрдэмтэн П.Зузаан, Д.Болортуяа нар Улаанбаатар хотоос 20 км орчимд байрлах автомашины батареийг задалдаг байгууламжийн ойролцоох хөрсний хүнд металлын бохирдлыг рентген флуоресценцийн болон нейтрон идэвхжилийн шинжилгээний аргуудаар харьцуулан судалсан байна. 2018 онд авсан дээжид Pb-ын агуулга Монгол Улсын хөрсөнд зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 10.7 дахин их, харин бусад металл V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ba, As хүлцэх хэмжээнд байсан бол 2023 онд тус хэсгээс дахин дээж авч судлахад тухайн газрын хар тугалганы агуулга зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс 1.5 дахин өндөр бөгөөд 2018 оны дүнтэй харьцуулахад 6 дахин буурсан байсан нь хүрээлэн буй орчны мониторингийн судалгааны хувьд сонирхолтой үр дүн байлаа.

Геологи, уул уурхайн салбарт

Геологи, уул уурхайн салбарт рентген шинжилгээг ордын үндсэн ба дагалдах элементийн агуулгыг тодорхойлох, нөөцийг тогтоох, үйлдвэрлэлийн процессыг хянах зэрэг олон зорилгоор ашигладаг. Хуралд А.Г.Ревенко, Г.В.Пашкова нар нүүрс болон нүүрсний үнсний химийн найрлагын талаарх тойм илтгэлдээ рентген флуоресценцийн багаж төхөөрөмжийн хөгжүүлэлт, дээж бэлтгэх арга, матрицын нөлөөллийг арилгах талаар товч өгүүлж нүүрс, үнсний элементийн найрлагыг тодорхойлоход РФШ-ний аргыг ашигласан сүүлийн үеийн хэд хэдэн жишээг толилуулсан юм. ОХУ-д хуримтлагдсан нүүрсний үнс, шаарны хаягдлын хэмжээ 2 тэрбум тонн дөхөж, 22 мянга гаруй га нутаг дэвсгэрийг хамраад байгааг дурдаж, үнс, шааранд цагаан алтны бүлгийн элементүүд, үнэт метал, ховор шорооны элементүүдийн эх үүсвэр болж байгааг үзүүлэв. Тухайлбал, Эрхүүгийн сав газрын нүүрснээс Y, Ni, Ge зэрэг үнэ цэнтэй элементүүдийг олборлох боломжтой гэдгийг РФШ-ээр тогтоосон байна. Иттрий (Y)-ийн сул баяжуулалт илэрсэн бөгөөд дэлхийн дунджаас 2-3 дахин их, Арансахойн ордын нүүрсний никель (Ni)-ийн агуулга дэлхийн дундаж үзүүлэлтээс 15 дахин их, германи (Ge)-ийн агуулга дэлхийн дунджаас бараг хоёр дахин их байгааг илрүүлсэн талаар сонирхуулаа.

Виноградовын нэрэмжит Геохимийн хүрээлэнгийн судлаач, доктор В.Чубаров нар газрын тосны бензиний фракцын катализаторын шинэчлэл нь орчин үеийн газрын тос боловсруулах үндсэн үйл явц бөгөөд катализаторын идэвхтэй элементүүдийн агуулгыг тодорхойлоход рентген флуоресценцийн аргыг өргөн ашиглаж байгааг илтгэлдээ дурдаад элементийн агуулга, валентын төлөвийг нэгэн зэрэг тодорхойлоход РФШ-ний арга өндөр чадамжтай хэдий ч цагаан алтны хувьд энэ төрлийн судалгаа ховор тул рентген спектрийн L ба M цувралын шугамын эрчмийг ашиглан Al₂O₃-д суурилсан катализатор дахь цагаан алтны валентын төлөвийг тооцоолох нэгэн шинэ аргыг санал болгов.

Тус хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний ажилтан О.Белозерова нар SEM болон EPMA аргыг ашиглан хадархаг хэлбэрийн боржин, пегматит, метасоматитын чулуулаг дахь бага агуулгатай минералуудыг шинжлэх нэгэн аргачлалыг боловсруулж, Дундговь аймгийн нутагт байрлах Бага газрын чулуу цогцолбор газрын ховор металл бүхий чулуулгуудыг судлахад ашигласан үр дүнг толилуулав. Рентген шинжилгээний арга зүй боловсруулалтын туршлагатай эрдэмтэн, Добрецовын нэрэмжит Геологийн хүрээлэнгийн судлаач Б.Ж.Жалсараев нар тархмал дээжийн РФШ-ний өгөгдлийг

ашиглан сульфидын хүдэр болон бусад чулуулгийн эрдсийн фазын найрлагыг тооцоолох аргачлалыг, В.И.Вернадскийн нэрэмжит Геохими, аналитик химийн хүрээлэнгийн судлаач Т.Кузмина нар РФШ-ний хувьд тодорхойлоход хамгийн асуудалтай элементүүдийн нэг болох фтор тодорхойлох матрицын эффектийг тооцсон нэгэн шинэ аргазүйг санал болгосон бол Дэлхийн царцдас судлалын хүрээлэнгийн судлаач А.Малцев нар апатитын бичил талстуудад тоон шинжилгээ хийхэд бүрэн ойлтын рентген флуоресценцийн аргыг ашиглах аргазүйн судалгааны үр дүнг танилцуулсан юм. Энэхүү ажил нь апатитын элементийн шинжилгээг LA-ICP-MS-ээс өөр аналитик аргаар хийж болохыг харуулснаас гадна хурд, хэмнэлтэй байдлаараа давуу талтай болохыг онцолж байлаа.

Сүүлийн жилүүдэд ховор шорооны элемент (мөн газрын ховор элемент гэдэг)-ийн эрэлт хэрэгцээ өсөн нэмэгдэж тус ашигт малтмалын ордыг хайн илрүүлэх, нөөцийг шинжлэн тогтоох, олборлох сонирхол өссөөр байна. Хуралд тус ашигт малтмалыг тодорхойлох шинэ арга аргачлалуудын тухай илтгэлүүд мөн тавигдсан юм. Япон Улсын Тохоку их сургуулийн дэд профессор С.Имашуку хүдэр дэх ХШЭ агуулсан эрдсийг хурдан тодорхойлох катод-люминесценц (CL) дүрслэлийн ирээдүйтэй нэгэн шинэ аргыг сонирхуулав. Тус аргаар 1300°C-т ашигт малтмалын хүдрийг задлах үед түүний ХШЭ агуулсан минералуудыг тодорхойлох боломжтой байна. Үүнээс гадна Европт цэвэр эрчим хүч ашиглахын тулд 2050 онд одоогийнхоос 26 дахин их ХШЭ шаардлагатай болно гэж илтгэлдээ дурдсан Энэтхэг Улсын Манипалийн технологийн институтээс тус хуралд оролцож буй П.В.Ханукрута Хойд Энэтхэгийн тунамал чулуун сав газрын уул уурхайн хаягдлаас ХШЭ-ийг ялган авах процессыг рентген дифрактометрийн аргаар хянасан талаар сонирхолтой судалгааны ажлын үр дүнг танилцууллаа.

Төрөл бүрийн салбар дахь рентген шинжилгээ

Төрөл бүрийн салбарт ашиглагддаг рентген шинжилгээний онол аргазүйн судалгаа хийсэн илтгэлүүд мөн тавигдлаа. Үүнд, МУИС-ийн профессор Ц.Амартайван нар Cr, As, Pb, Cd зэрэг хортой, хүнд элементийн шинжилгээ нь хүнс, хүрээлэн буй орчны мониторинг хийхэд чухал ач холбогдолтойг дурдан манай улсад жил бүр олон тонн амтлагч орж ирдэг бөгөөд саяхны судалгааны үр дүнгээс харахад импортын турмерик, саримсны дээжид бага хэмжээний Pb,

Cd илэрсэн байна. Тухайн элементүүдийг тодорхойлох өндөр мэдрэмжтэй хэмжилтийн үр дүнд хүрэхийн тулд дээжид байгаа зарим элементийн K ба L шугамын рентген туяа үүсэх хөндлөн огтлолыг хэмжиж, өмнөх судалгааны үр дүнтэй харьцуулан судалсан дүнг танилцуулав.

ОХУ-ын Өмнөд федерацийн их сургуулийн профессор А.Л.Цветянский нар сүүлийн үед соёлын өвийн алт, мөнгөн үнэт эдлэлийг судлах асуудал ихээхэн анхаарал татаж байгааг, Au, Ag, Pt, бусад үнэт металаар хийсэн биетүүдийг судлахад рентген спектрийн шинжилгээ нь хамгийн оновчтой аргуудын нэг болохыг онцолж байв. Илтгэлд α - болон β -шугамын эрчмийн харьцааг ашиглан олдворын гадаргуу дээрх бүрхүүлийн зузаан, химийн найрлагыг тодорхойлох рентген флуоресценцийн талаар тойм илтгэл тавив.

Рентген шинжилгээний өөр нэг чухал хэрэглээ бол ахуйн бүтээгдэхүүн дэх хортой, хүнд элементийг хянах явдал юм. Будаг, эм, шүдний оо, гоо сайхны, хүнсний, барилгын материалын зэрэг олон төрлийн бүтээгдэхүүн үйлдвэрлэхэд титаны давхар исэл (TiO₂) нь пигментийн болон фотокатализаторын гэсэн хоёр үндсэн зорилгоор ашиглагддаг. Энэ төрлийн бүтээгдэхүүнийг үйлдвэрлэх явцад түүхий эдээс нь хортой, хүнд металлууд хуримтлагддаг тул хүний эрүүл мэнд, аюулгүй байдалд нөлөөлөхөөс сэргийлж европын холбогдох байгууллагууд онцгой анхаарал хандуулдаг байна. Испани Улсын Керамик технологийн институтийн профессор M.F.Gazulla, M.Orduña нарын илтгэлд долгионы ургаар ялгах рентген флуоресценцийн спектрометрээр TiO₂-т ул мөр төдий агуулагдах As, Ba, Cd, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb, Se-ийг тодорхойлох арга боловсруулсан судалгааны үр дүнг хэлэлцүүлсэн юм.

Үүнээс гадна криминалистикийн салбарт, ялангуяа галт зэвсгийн үлдэгдлийг шинжлэхэд электрон микроскопод рентген флуоресценци (SEM-EDX)-ийн аргыг түгээмэл ашигладаг. Дотоод хэргийн их сургуулийн багш, хурандаа Х.Түвшин-Эрдэнэ галт зэвсгийн үлдэгдлийг SEM-EDX-ээр шинжлэхдээ рентген спектр дэх зэсийн K шугам болон бари, хар тугалганы L шугамтай харгалзах эрчмийн харьцааг хувьсагч болгон ашиглаж, хүний гарын арьсанд буусан дарийн үлдэгдлийг тус аргаар илрүүлэхэд сайн тохирч байгааг харуулсан судалгааны дүнг танилцуулав.

Мөн Аргентин Улсын Кордобагийн үндэсний их сургуулийн профессор Héctor Sánchez, Шинжлэх ухаан, техникийн судалгааны үндэсний консул (CONICET)-ын судлаач, доктор

Juan José Leani нар энергиэр ялгах рентген туяаны харимхай бус сарнилын (EDIXS) болон өргөтгөсөн рентген шингээлтийн нарийн бүтцийн (EXAFS) аргуудыг ашиглан ванадийн янз бүрийн нэгдлүүдийн исэлдэлтийн төлөвийг тодорхойлж, хурдан Фурье хувиргалт (Fast Fourier Transform)-ын процедурыг EXAFS-д хэрэглэх нь хэвшмэл байдаг бол энэ аргыг EDIXS-д анх удаа хэрэглэсэн талаар, мөн нэгэн шинэ EDIXS багажаар ижил элементийн холимгуудын исэлдэлтийн төлөвийг өндөр мэдрэмжтэй ялгаж, тодорхойлох боломжтой болохыг харуулсан ханын илтгэлүүдийг илгээж оролцсон юм.

Рентген дифрактометрийн онол, туршлагын судалгаа

Хуралд рентген дифрактометрийн онол, туршлагын судалгаа, бодисын кристал бүтэц, соронзон шинж чанарыг судалсан олон сонирхолтой илтгэлүүд тавигдсан юм. Материалын бүтэц, физик шинж чанарын харилцан нөлөөллийг судлах нь физикийн үндсэн асуудлын нэг байдаг. ЦШНИ-ийн эрдэм шинжилгээний ажилтан О.Н.Лиз, Д.П.Козленко нар хоёр хэмжээстэд соронзон шинж чанарууд нь саяхан нээгдсэнээр хатуу биеийн физикийн судалгааны хамгийн сонирхолтой объектуудын нэг болоод байгаа Ван дер Ваальсын нэгдлүүдийн (CrBr₃ and Fe₃GeTe₂) кристал, соронзон бүтэц, чичиргээний горимд үзүүлэх өндөр даралтын нөлөөг тус институтийн ИБР-2 реакторын DN-6 дифрактометр ашиглан судалсан ажлын үр дүнгээ хуваалцсан юм. Энэхүү үр дүн нь төстэй хоёр хэмжээст системийн физик процесс, үзэгдлийн талаарх үндсэн ойлголтыг өгөхөөс гадна микроэлектрон төхөөрөмжийн дараагийн загварыг бүтээхэд чухал ач холбогдолтой болохыг тэмдэглэж байв. Мөн тус институтийн эрдэм шинжилгээний ажилтан В.Руткаускас нар тогтмол соронз, электрон төхөөрөмжийн элемент, хөргөлтийн технологийг бий болгоход ашиглагддаг ирээдүйтэй материал болох хагас-Хайслер соронзон интерметалл нэгдлүүд MnNiSb ба MnNi_{0.9}M_{0.1}Sb (M = Ti, V, Cr, Fe, Co, Zn)-ийн кристал болон соронзон бүтцийг 10-300 K температурын мужид нейтрон дифракцаар, тасалгааны температурт 0-30 ГПа даралтын мужид рентген дифракцийн аргаар судалж гарган авсан сонирхолтой үр дүнгээ хуваалцав.

ЦШНИ-ийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Н.М.Белозерова, С.Е.Кичанов нарын судлаачид перовскит бүтэцтэй MCoO₃, (M = Pr, Nd, Y) кобальтуудыг өндөр даралтын нөлөөнд рентген дифракцийн аргаар судалж Pbnm бүлгийн орторомб бүтэцтэй PrCoO₃ ба NdCoO₃

кобальтитийн кристал бүтэц нь судлагдсан бүх даралтад тогтвортой хэвээр байсан бол харин $YCoO_3$ кобальтит нь 11 ГПа-аас дээш даралттай үед $Pbnm$ фазаас өндөр даралтын $Pbn21$ руу фазын шилжилт болж байгааг илрүүлсэн талаар сонирхуулав.

МУИС-ийн профессор Л.Энхтөр поликристал $Mg-10$ ат.% In дээр сарнисан цацрагийн тархалтыг рентген дифрактометр ашиглан хэмжиж, тус $Mg-10$ ат.% In –ийн эхний 8 бүрхүүлийн ойрын эрэмбийн параметруудийн статик шилжилтийг псевдопотенциалын аргаар тооцоолсон атом хоорондын хүчний тогтмолуудыг ашиглан тодорхойлсон үр дүнг танилцуулав. ШУТИС-ийн багш, доктор Д.Наранчимэг никель орлуулсан $MgFe_2O_4$ -ийн кристал бүтцийн шинж чанарыг XRD болон раман спектроскопоор шинжилж, тус бүтэц дэх Ni допингийн нөлөөг судалсан талаар, мөн ШУА-ийн Физик, технологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Б.Энхмэнд нар $Y_3Fe_5O_{12}$ химийн тэмдэглэлтэй иттрий төмрийн гранат (YIG - Yttrium iron garnet)-ийн бүтцийг хөнгөн цагаан суулгасан материалын ($YAIG$) хувьд судалсан талаар илтгэл хэлэлцүүлээ. Ингэхдээ XRD болон SEM ашиглан дээжийн кристал бүтэц, морфологийн судалгааг хийж, $YAIG$ материалын цахилгаан-соронзон интерференцийн хамгаалах шинж чанар онцгой анхаарал татаж байгааг тэмдэглэж байв.

Цацрагийн боловсруулалт

Рентген цацрагаар бодисыг шарж, бүтэц шинж чанарын өөрчлөлтийг судалсан ажлууд нэлээн сонирхол татаж байлаа. Тухайлбал, МУИС-ийн докторант А.Төрсүх, Г.Манлайжав нар хорхой ааруулыг рентген цацрагийн 1 кГр, 3 кГр, 5 кГр тунгаар шарж микробын болон физик-химийн шинж чанарыг судалж, тэжээллэг чанараа алдалгүйгээр хадгалах хугацааг уртасгах боломжтой тунг урьдчилсан байдлаар тодорхойлсон судалгааны дүнг танилцуулав.

ШУА-ийн Физик, технологийн хүрээлэнгийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Б.Даваасүрэн нар 160 кэВ хүртэл энергитэй рентген цацрагийн тун болон плазмидын ДНХ-ийн гинжин хэлхээний гэмтлийн хамаарлыг судалж, "Их тайга" зэрлэг ургамлын цайны антиоксидант нэгдлүүд нь ДНХ-ийн гэмтлээс хамгаалахад хэрхэн нөлөөлж байгааг үнэлсэн судалгааны үр дүнг хэлэлцүүлсэн юм. 2 кГр тунгаар шарахад плазмидын ДНХ-ийн бүтцүүдийн хэмжээ $SC=0.08$ болтол буурсан бол харин тус плазмидад 300 мкг/мл концентрацитай цайны ханд нэмж рентген цацрагаар үйлчлэхэд ДНХ-ийн хэт ороомгийн хэмжээ $SC=0.19$ болсон

байна. Тус ургамлын цай нь цацрагийн нөлөөгөөр ДНХ-ийн хэлхээ тасрахаас хамгаалах үйлчилгээтэй байж болохыг харуулж байна хэмээн онцолсон нь сонирхолтой байлаа.

III. ДҮГНЭЛТ

Монгол Улсад рентген шинжилгээний онол, аргазүйг хөгжүүлэх, сүүлийн үеийн дэвшлийг түгээн дэлгэрүүлэх, олон улсын эрдэмтэдтэй харилцан мэдлэг, мэдээллээ солилцох зорилготой Рентген шинжилгээний олон улсын эрдэм шинжилгээний зургаадугаар хурлыг Монгол Улсын гавьяат багш, академич Намсрайн Содномын мэндэлсний 100 жилийн ойн хүрээнд 2023 оны 08 дугаар сарын 28-30-ны өдрүүдэд Улаанбаатар хотод танхим-цахим хосолсон хэлбэрээр амжилттай зохион байгуулж, суурь болон хэрэглээний судалгааны 24 аман илтгэл, 14 ханын илтгэл хэлэлцүүлэв.

Хурлын төгсгөлд, шинэ үр дүнгээ хэлэлцүүлсэн өндөр түвшний илтгэлүүдийг эмхэтгэн Web of Science санд бүртгэлтэй өндөр зэрэглэл бүхий "X-Ray Spectrometry" сэтгүүлийн тусгай дугаар болгон гаргахаар болов.

Хуралд хэлэлцүүлсэн илтгэлүүдтэй дэлгэрэнгүй танилцахыг хүсвэл хурлын албан ёсны цахим хуудас [8]-т байршуулсан болохыг дуулгахад таатай байна.

IV. ТАЛАРХАЛ

Тус хурлыг амжилттай зохион байгуулсан Цөмийн физикийн судалгааны төвийн хамт олон, ивээн тэтгэсэн Боловсрол Шинжлэх Ухааны Яам, Шинжлэх Ухаан Технологийн Сан, дэмжиж хамтран ажилласан Монгол Улсын Их Сургууль, Цөмийн энергийн комиссын Ажлын алба, ШУА-ийн Физик, технологийн хүрээлэн, Геологийн судалгаа-шинжилгээний төв, ШУТИС-ийн Хэрэглээний шинжлэх ухааны сургууль болон судалгааны үр дүнгээрээ сонирхолтой илтгэл хэлэлцүүлсэн болон оролцсон бүгдэд гүн талархал илэрхийлье.

ИШЛЭЛ

1. Proceedings of Conference on X-Ray Analysis, 29-30 September 2006 in Ulaanbaatar, Mongolia. S. Davaa, P. Zuzaan (Eds.). (2006), Ulaanbaatar: NUM Press.
2. Proceedings of the 2nd International Conference on X-ray Analysis, 23-26 September 2009 in Ulaanbaatar, Mongolia. Ulaanbaatar: NUM Press.
3. Proceedings of the 3rd International Conference on X-ray Analysis, 20-24 August 2012 in Ulaanbaatar, Mongolia. Ulaanbaatar: NUM Press.

4. Abstracts book of the 4th International Conference on X-ray Analysis, 8-12 June 2015 in Ulaanbaatar, Mongolia. S. Davaa, P. Zuzaan (Eds.). (2015), NUM Press, Ulaanbaatar, 2015.
5. Z. Purev, A. Revenko and B. Damdinsuren, Report on the Fourth Conference on X-Ray Analysis in Mongolia, X-Ray Spectrom. 45 (2016) 194–196.
6. Abstracts book of the 5th International Conference on X-ray Analysis, 12-14 September 2018 in Ulaanbaatar, Mongolia, NUM Press, Ulaanbaatar, 2018.
7. Abstracts book of the 6th International Hybrid Conference on X-ray Analysis, 28-30 August 2023 in Ulaanbaatar, Mongolia. D. Bolortuya, Ts. Amartaivan, P. Zuzaan (Eds.). (2023), Ulaanbaatar: NUM Press.
8. ICXRA-VI conference official website <https://sites.google.com/view/icxra6/abstract-book-and-presentations>
9. Jun KAWAI (2022), X-Ray Spectroscopy for Chemical State Analysis, Springer Singapore, <https://doi.org/10.1007/978-981-19-7361-1>