

Агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн харьцуулсан судалгаа (2011, 2018 он)

Л.Энхцэцэг¹, Н.Төвжаргал^{2*}, Д.Шагжжамба¹, Ц.Амартайван^{1,2}, П.Зузаан¹

¹ Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол Улсын Их Сургууль,

Энхтайвны өргөн чөлөө-122, Улаанбаатар хот, Монгол улс

² Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн

Физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 14210, Монгол улс

Энэ ажлаар Улаанбаатар хотын агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын хэлбэр хэмжээний тархалтын өөрчлөлтийг 2011 болон 2017, 2018 оны өвөл, зуны дээжүүдэд электрон микроскопын аргаар харьцуулан судлав.

Тоосонцрын морфологийн судалгааны 2011 оны үр дүнг, 2017, 2018 оны үр дүнтэй харьцуулан үзвэл өвлийн улиралд 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 13%-иар нэмэгдсэн бол зуны улиралд 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 27.7%-иар нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан байна. Хэлбэрийн тархалтын хувьд зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцор 39%-иар буурч, тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцор 41.1%-иар нэмэгдсэн бол өвлийн улиралд бөөрөнхий хэлбэртэй тоосонцор 4.2%-иар нэмэгдэж, тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцор 5.2%-иар буурсныг үзүүлэв.

PACS numbers: 68.37.-d, 81.10.Aj, 78.70.En

I. УДИРТГАЛ

Хүн ам ихээр төвлөрсөн хот суурингуудын тулгамдаад буй асуудал болох тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судлахад тоосонцрын морфологи, химийн найрлагын судалгаа чухал үүрэгтэй. Бохирдуулагч хүчин зүйлсийн нөлөөгөөр агаарт дэгдсэн бодисууд нь амьсгалын замаар хүний биед орж физик болон химийн нөлөөллийг үүсгэдэг[1–3]. Нэвтрэн орсон бодис химийн нэгдэл үүсгэх замаар өөрчлөлт үзүүлэхийг хими нөлөөлөл гэнэ. Тухайлбал, нүүрстөрөгчийн дутуу исэл эсэд хүчилтөрөгч зөвөрлөдөг гемоглобинтой урвалд орж “карбосигемоглобин”-ийг үүсгэснээр бие махбод хүчилтөрөгчийн дутагдалд ордог[4]. Харин ийм химийн найрлага бүхий бодис хүний биед нэвтрэн орох нь тэдгээрийн хэлбэр, хэмжээнээс хамаардаг. Мөхлөгийн хэмжээ бага байх тусмаа хамрын салстад шүүгдэлгүй, залгиур, мөгөөрсөн хоолойд хүрч, цаашлаад уушгинд хуримтлагдсаар амьсгал авах эзлэхүүнийг багасган бронхит, астма зэрэг өвчний шалтгаан болж дархлааны системийг дарангуйлдаг. Үүнийг бодисын физик нөлөөлөл гэх ба цаашлаад зүрх судас, тархины үйл ажиллагаанд нөлөөлж байгаа талаар судалгаа хийгдсээр байна[6]. Манай орны хувьд агаар дахь бохирдуулагч бодисуудын химийн найрлага, хэлбэр хэмжээг тогтмол судлах нь хүн амын эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судлах, агаарын чанараа үнэлэх, агаарын бохирдлын эсрэг авч хэрэгжүүлж байгаа арга хэмжээнүүдийн үр дүнг хянах зэрэгт чухал ач холбогдолтой.

Монгол улсын засгийн газраас Улаанбаатар хо-

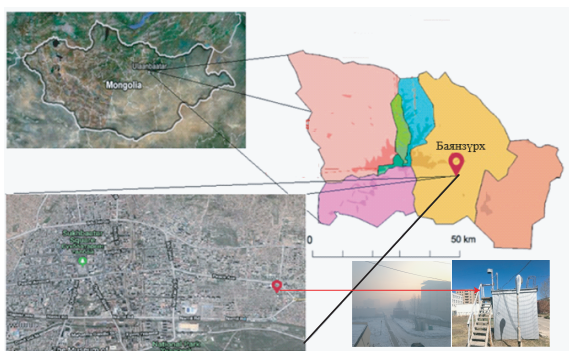
тын агаарын бохирдлыг бууруулах арга хэмжээнд 2008-2018 онуудад улсын төсвөөс 147.3 тэрбум төгрөг, 60.7 сая ам.доллартой тэнцэхүйц гадаадын буцалтгүй тусламжийг зарцуулсан байдаг. Эдгээрээс хамгийн өргөн хүрээг хамарсан ажил нь 2011-2016 оны хооронд гэр хорооллын өрхүүдэд 175,6 мянган сайжруулсан зуух суурилуулах төсөл бөгөөд хотын хийт гэр хорооллын нийт өрхийн 97,6 хувь нь сайжруулсан зуухтай болсон. Энэ хугацаанд $PM_{2.5}$ тоосонцрын жилийн дундаж агуулга 2011 онд $136\text{мкг}/\text{м}^3$ буюу МУ-ын стандартад заасан зөвшөөрөгдөх дундаж утгаас 5.2 дахин их байсан нь 2018 онд $70\text{мкг}/\text{м}^3$ болж буурсан хэдий ч зөвшөөрөгдөх дундаж утгаас 2.8 дахин их байсаар байна. Түүнчлэн хотын агаарын бохирдлын 80%-ийг гэр хорооллын айл өрхүүд үүсгэдэг гэсэн тоо баримт хэвээрээ[5] бөгөөд хөдөөнөөс хотыг чиглэсэн шилжилт хөдөлгөөн тасралтгүй үргэлжилж хотын хүн амын 58% нь буюу хагасаас илүү хувь гэр хорооллын бүсэд оршин суусаар байна[7, 8].

Иймээс бид Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг тогтооход шаардлагатай өгөгдлийн сан үүсгэх, агаарын чанарыг үнэлэх зорилгоор $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн найрлагыг судалгааг тогтмол хийж байна[9–11]. Энэ ажлаар электрон микроскоп (SEM)-ын аргыг ашиглан Улаанбаатар хотын 2011 оны агаарын $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийг судалсан үр дүнг, 2017, 2018 онуудын судалгааны үр дүнтэй харьцуулан судалж, энэ хугацаанд тоосонцрын морфологид гарсан өөрчлөлтийг судлах зорилго тавилаа.

*E-mail: tuvjargal@num.edu.mn

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн 13 хорооны гэр хороолол дунд байрладаг МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн хэмжилтийн цэг дээр (зураг.1) агаарын тоосонцрын дээжийг авсан. Баянзүрх дүүрэг нь нийслэлийн хүн амын 24.4% оршин суудаг, 2018 оны жилийн эцсийн байдлаар дүүргийн нийт өрхийн 59.7% буюу 50556 өрх гэр хороололд амьдарч байна. 13-р хороо нь агаарын бохирдлын түвшингээр 2 дугаар бүсчлэлд харьяалагддаг, хөрсний элэгдэл болон түлш шаталтын процессоос үүсэлтэй агаарын бохирдол өндөртэй хороо юм.



Зураг 1: Дээж авсан хэмжилтийн цэгийн байршил

Энэхүү судалгаанд ашигласан агаарын нарийн ширхэгт тоосонцрын дээжийг 10мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоос шорооны хаалт, PM_{10-2.5} фракцын тоосонцрыг шүүх 8мкм нүх бүхий шүүлтүүрээр шүүгээд, эцэст нь PM_{2.5} фракцын тоосонцрын дээжийг 0.4мкм нүхтэй поликарбонат материалтай, 47 мм диаметр хэмжээтэй шүүлтүүр дээр дээж авагч GENT төхөөрөмжөөр 7 хоногт 2 удаа, 24 цаг хүртэлх хугацаагаар дунджаар 14л/мин хурдтайгаар соруулж авдаг. Энэхүү судалгаанд 2017 оны 1, 8, 12 сарууд болон 2018 оны 8 сарын дээжийг ашигласан бөгөөд дээж авсан өдөр, бусад шаардлагатай мэдээллийг хүснэгт.1-д үзүүлэв.

Өмнөх судалгааны ажлаар боловсруулсан тоосонцрын ширхгийн морфологи, химийн найрлагыг судлах аргагүйн[10] дагуу тоосонцрын дээж бүхий поликарбонат шүүлтүүр тус бүрээс 5 жижиг хэсгийн зүслэг авч Hitachi, SU-8010 сканнин электрон микроскоп(SEM) ашиглан тоосонцрын ширхгийн хэмжээ, хэлбэрийг тодорхойлохдоо зүслэг тус бүр дээр 15 ширхэг 5000 дахин өсгөлттэй зураг авсан.

Зургийн тоон анализын Image-J® программыг ашиглан нэг дээжид 200-300 ширхэг тоосонцрын морфологийн параметр(хэлбэр, хэмжээ)-үүдийг тодорхойлов. Программ зургийн боловсруулалт

Хүснэгт I: Дээжийн мэдээлэл

Дээж	F914	F938	F971	F1010
Огноо	17.01.30	17.08.10	17.12.21	18.08.09
Агуулга [μг/м ²]	209.7	59.9	107.7	60.4
Температур [°C]	-31	23	-26	24
Агаарын чанарын индекс	Маш муу	Дунд	Муу	Дунд

хийхдээ тоосонцрын ширхгийн талбайг түүний хэлбэр хэмжээнээс үл хамааран түүнд агуулагдах пикселийн тоогоор шууд тодорхойлодог бөгөөд бид тоосонцрын хэмжээг эквивалент бөмбөрцгийн диаметр(ESD) гэх тэгш.(1)-ээр тодорхойлогдох хэмжигдэхүүнээр илэрхийлсэн[12].

$$ESD = 2\sqrt{\frac{\text{Талбай}}{\pi}} \quad (1)$$

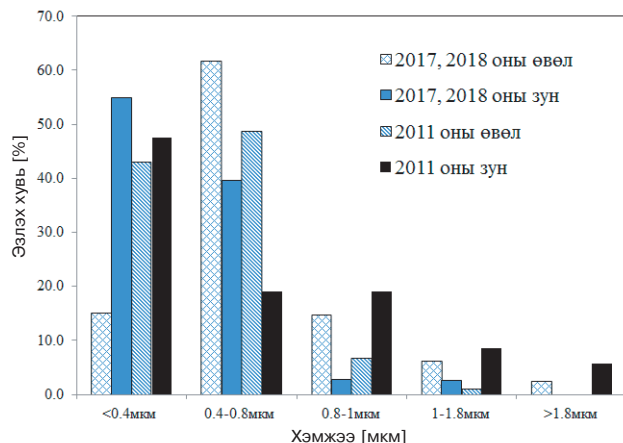
Тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтийг гаргахдаа бөөрөнхий, өнцөгтэй гэсэн үндсэн хоёр ангиллыг авч үзээд үлдсэн геометрийн зөв биш хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрыг тодорхойгүй гэсэн ангилалд оруулан хамгийн ерөнхий 3 ангилалд хуваан авч үзсэн[10].

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Агаарын PM_{2.5} тоосонцрын дээжийг авхын өмнөх болон дараах шүүлтүүрийн жингийн зөрүүгээр агаарын тоосонцрын агуулгыг тодорхойлно[9]. Энэхүү судалгаанд ашигласан зуны өдрийн дээжийн PM_{2.5} тоосонцрын агуулга ~60.1мкг/м³ байсан бол өвлийн улирлын дээжийн хувьд ~158.7мкг/м³ байсан бөгөөд манай улсын PM_{2.5} тоосонцрын зөвшөөрөгдөх дундаж утга нь 50мкг/м³ байдаг[13].

Зураг.2-т 2011, 2017 болон 2018 оны PM_{2.5} тоосонцрын дээжүүдэд ширхгийн хэмжээний түгэлтийг тэгш.(1)-ийг ашиглан тодорхойлсон дүнг өвөл, зуны улирлаар ялган харьцуулан үзүүлэв. Эндээс үзэхэд 2017, 2018 онуудын өвөл, зуны улирлын дээжид хэмжээний түгэлтийг тодорхойлсон дүнгээр өвлийн улирлын дээжид тоологдсон нийт 420 тоосонцрын 15% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 61.7% нь 0.4-0.8мкм, 14.8% нь 0.8-1мкм, 6.2% нь 1-1.8мкм, 2.4% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй байна. Харин зуны улирлын дээжид тоологдсон нийт 564 тоосонцрын 55% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 39.5% нь 0.4-0.8мкм, 2.8% нь 0.8-1мкм, 2.7% нь 1-1.8мкм хэмжээтэй байсан бол 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг бараг бүртгэгдээгүй байна. 2017, 2018 онуудын

хувьд улирлаас үл хамааран 0.8мкм ба түүнээс бага хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг 76-94%ийг эзэлж байна. Өвлийн улиралд 0.4мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг зуны улирлаас 3.6 дахин бага бүртгэгдсэн дүн гарч байна.



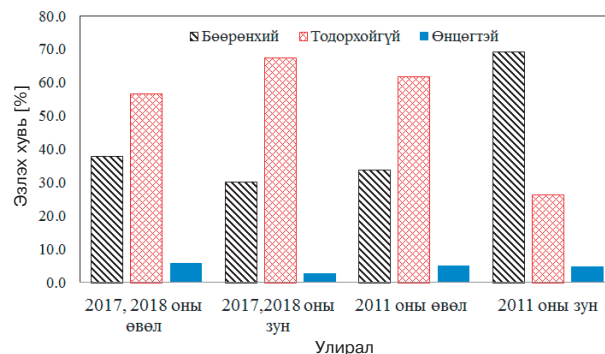
Зураг 2: 2011, 2017, 2018 онуудын PM_{2.5} тоосонцрын хэмжээний түгэлт, улирлын хамаарал

2011 оны дээжид хийсэн судалгааны дүнгээр тоосонцрын хэмжээ улирлын хамааралгүйгээр 45.2% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 34.2% нь 0.4-0.8мкм, 12.9% нь 0.8-1мкм, 4.8% нь 1-1.8мкм, 3% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй байгаа бол 2017-2018 оны судалгааны дүнгээр 35% нь 0.4мкм ба түүнээс бага, 50.6% нь 0.4-0.8мкм, 8.8% нь 0.8-1мкм, 4.4% нь 1-1.8мкм, 1.2% нь 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тус тус тодорхойлогдсон. Энэхүү үр дүнг 2011 оны тоосонцрын дээжүүдийн хэмжилтийн үр дүнтэй[10] харьцуулан үзвэл 0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг 2011 онд 92% байсан нь 76.7% болж буурсан өөрчлөлт харагдаж байна.

Өвлийн улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 48.8%, 2017, 2018 онуудын өвлийн дээжид 61.7%-ийг эзэлж байна. Эндээс түлш шаталтын дүнд агаарт дэгдэх тоосонцрын бохирдолд 0.4-0.8мкм хэмжээ тоосонцор зонхилдог болох нь харагдаж байна. Зуны улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 66.8% эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад 94.5% хүртэл нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан дүн гарлаа. Түүнчлэн 1.8мкм-ээс дээш хэмжээтэй тоосонцрын ширхэг бүртгэгдээгүй байгаа нь зуны улиралд хотын агаарт дэгдэх тоосонцор илүү нарийн ширхэгт болж байгааг илтгэж байна.

Зураг.3-т 2011, 2017, 2018 онуудын тоосонцрын дээжид хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлсон дүнг харьцуулан үзүүлэв. Хэлбэрийн түгэлтийн дүнгээр зуны улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 69%-ийг бөөрөнхий, 26.3%-ийг

тодорхойгүй, 4.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 30%-ийг бөөрөнхий, 67.4%-ийг тодорхойгүй, 2.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор болж өөрчлөгдсөн байна.



Зураг 3: 2017, 2018 ба 2011 онуудын агаар дахь PM_{2.5} тоосонцрын хэлбэрийн түгэлт, улирлын хамаарал

Харин өвлийн улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 33.6%-ийг бөөрөнхий, 61.6%-ийг тодорхойгүй, 4.8%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 37.86%-ийг бөөрөнхий, 56.43%-ийг тодорхойгүй, 5.7%-ийг өнцөгт хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрын ширхэг эзэлж байна. 2011 онд өвлийн улиралд тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор, зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор зонхилох хувийг эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад улирал харгалзахгүй тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор дийлэнх хувийг эзэлж байна.

Сүүлийн жилүүдэд Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын бууруулах олон арга хэмжээ авч хэрэгжүүлж байгаа хэдий ч төдийлөн сайн үр дүнд хүрэхгүй байгаа нь энэхүү судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Мөн түлш шаталтын үр дүнд үүсэж байгаа өвлийн улирлын агаарын бохирдлоос гадна зуны улиралд тоосонцрын бохирдол тогтмол өндөр байгааг харж болно.

2018 оны статистикийн мэдээгээр 470,5мян.га талбай бүхий нийслэлийн нутаг дэвсгэрийн 55,136мян.га талбайг гэр хорооллын бүс эзэлж, тэнд ойролцоогоор 217,000 өрх амьдарч байна[13]. Өөрөөр хэлбэл, ийм хэмжээний яндан, хучилтгүй шороон зам бий гэсэн үг юм. 2011 онд Улаанбаатар хотод 10892мян.м² талбайг цэцэрлэгжүүлж, зүлгэжүүлсэн бол 2018 оны байдлаар 12352мян.м² болж нэмэгдсэн боловч нэг хүнд дунджаар 4-6м² ногоон байгууламж оногдож байгаа нь олон улсын дундаж стандартаас 6 дахин бага үзүүлэлт юм. Мөн сүүлийн 5 жилийн статистик мэдээгээр нийслэлийн автомашины тоо 2 дахин нэмэгдэж 410 мянга болсон нь тээврийн хэрэгслийн

хөдөлгөөнөөр хучилтгүй шороон зам нидрэгдэн, өнгөн хөрсийг эвдэлж сул шороо, тоосжилт нэмэгдэх гол хүчин зүйл болж байна. Үүнээс гадна 2016 онд хийгдсэн судалгаагаар Улаанбаатар хотын хөрсний 80-90% нянгийн бохирдолтой гэж тогтоогджээ[15]

Хүн ам ихээр төвлөрсөн, дэлхийн өндөр хөгжилтэй хотууд цэцэрлэгжүүлэлт, зүлэгжүүлэлт хийх, хатуу хучилттай зам, талбайн хэмжээг нэмэгдүүлэн сайжруулах арга хэмжээг ихээр авч хэрэгжүүлдэг. Иймд Улаанбаатар хотод энэ төрлийн арга хэмжээг өргөн авч хэрэгжүүлэхгүй бол агаарын чанар, тэр дундаа тоосонцрын бохирдлын хөнөөл утааны нэгэн адил тулгамдсан асуудал болсон байгаа нь харагдаж байна.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэ ажилд Улаанбаатар хотын агаарын PM_{2.5} тоосонцрын бохирдлын хэлбэр хэмжээний тархалтын өөрчлөлтийг 2011, 2017 болон 2018 оны өвөл, зуны дээжүүдэд электрон микроскопын аргаар харьцуулан судласан үр дүнг үзүүлэв.

Судалгааны дүнгээр PM_{2.5} тоосонцрын бохирдлын хэмжээ өвлийн улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.4-0.8мкм хүртэлх хэмжээтэй тоосонцор 48.8%, 2017, 2018 онуудын дээжид 61.7%-ийг эзэлж байна. Эндээс түлш шаталтын дүнд агаарт дэгдэх тоосонцрын бохирдолд 0.4-0.8мкм хэмжээ тоосонцор зонхилдог болох нь харагдаж байна. Зуны улирлын 2011 оны тоосонцрын дээжид 0.8мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор 66.8% эзэлж байсан бол 2017, 2018 онуудад 94.5% хүртэл нэмэгдэж, 0.8-1мкм хэмжээтэй тоосонцор 6 дахин, 1-1.8мкм хэмжээтэй тоосонцор 3 дахин буурсан

байна.

Хэлбэрийн хувьд зуны улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 69%-ийг бөөрөнхий, 26.3%-ийг тодорхойгүй, 4.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж байсан бол 2017, 2018 оны хувьд 30%-ийг бөөрөнхий, 67.4%-ийг тодорхойгүй, 2.7%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор болж өөрчлөгдсөн бол өвлийн улирлын 2011 оны дээжид нийт тоологдсон дүрсийн 33.6%-ийг бөөрөнхий, 61.6%-ийг тодорхойгүй, 4.8%-ийг хурц өнцөгт хэлбэртэй тоосонцор эзэлж, 2017, 2018 оны хувьд 37.86%-ийг бөөрөнхий, 56.43%-ийг тодорхойгүй, 5.7%-ийг өнцөгт хэлбэр дүрс бүхий тоосонцрын ширхэг эзэлж байна. Харин 2011 оны хувьд өвлийн улиралд тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор, зуны улиралд бөөрөнхий хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор зонхилох хувийг эзэлж байгаа бол 2017, 2018 дээжид улирал харгалзахгүй тодорхойгүй хэлбэр дүрс бүхий тоосонцор дийлэнх хувийг эзэлж байгааг үзүүлэв.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд дэмжлэг үзүүлсэн “Хотын агаарын тоосонцрын агаарын чанарт үзүүлэх нөлөөг үнэлэх” RAS7029 судалгааны төслийг хэрэгжүүлж буй ОУАЭА, Ази-Номхон дахайн бүсийн хэлэлцээрийн байгууллага, “Хүрээлэн буй орчин, биологийн объектыг шинжлэх цөмийн физикийн аргазүйн судалгаа” суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТС, БСШУС яам, SEM-ийн хэмжилт хийх боломж олгосон БНХАУ-ийн ӨМӨЗО-ны Багшийн их сургуулийн Функционал материалын физик, химийн төв лабораторийн хамт олонд гүн талархал илэрхийлье.

- [1] Schwartz, J., 1994, Environmental Research, 64, 36-52.
- [2] Brüning, Thomas et al., BG Research Institute for Occupational Medicine. 2006, pp.
- [3] Dockery, D.W. and Pope., 1994, 15, 107-132, C.A.
- [4] Эрүүл мэндийн яам, Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв, Баримтын цомог: Агаарын бохирдол хүний эрүүл мэндэд, 2018 он
- [5] Дэлхийн банк, "Улаанбаатарын агаарын чанарын дүн шинжилгээ" хэлэлцүүлгийн баримт бичиг, 2011 он
- [6] НҮБ-ийн хүүхдийн сангийн "Аюулын харанга" агаарын бохирдол ба хүүхдийн эрүүл мэнд тайлан, <https://www.unicef.org/mongolia/mn>
- [7] Үндэсний статистикийн хороо, Улаанбаатар хотын гадаад орчны агаарын бохирдол ба эрүүл мэнд, 2019 он
- [8] Зориг сан, Агаарын бохирдлын тухай товчхон, 2019 он
- [9] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, П.Зузаан., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 478, ФИЗИК сэтгүүл (25), х133, 2017
- [10] Л. Энхцэцэг, Н. Төвжаргал, П. Зузаан, Д. Шагжжамба, Ц.Амартайван., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 510, ФИЗИК сэтгүүл (28), х62, 2019
- [11] N Tuvjargal, L Enkhtsetseg, D Shagjjamba, P Zuzaan., 2019 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 704 012012
- [12] P. G. Satsangi, S. Yadav., Int. J. Environ. Sci. Technol. (2014) 11:217-232
- [13] Стандартчилал хэмжилзүйн газар, Агаарын чанар, Техникийн ерөнхий шаардлага-Монгол Улсын стандарт MNS 4585:2016, 2016 он
- [14] Нийслэлийн статистикийн газар, <http://ubstat.mn>
- [15] Ч.Сономдагва, Ч.Бямбацэрэн, Д.Даваадорж., Шинжлэх Ухааны Академийн Мэдээ, №01 (217), 2016