

Улаанбаатар хотын агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын харьцуулсан судалгаа (2017, 2020 оны өвөл)

Н.Төвжаргал¹, П.Зузаан², Ү.Баянжаргал², Л.Энхцэцэг³,
Д.Шагжжамба², Д.Болортуяа², Ц.Амартайван^{1,2*}

¹ Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх ухааны сургуулийн
Физикийн тэнхим, Улаанбаатар хот 14210, Монгол улс

² Цөмийн физикийн судалгааны төв, Монгол Улсын Их Сургууль,
Энхтайвны өргөн чөлөө-122, Улаанбаатар хот, Монгол улс

³ Цөмийн энергийн комиссын ажлын алба, Улаанбаатар хот, Монгол улс

Бид энэ ажлаар Улаанбаатар хотод түүхий нүүрс хэрэглэж байсан 2017 оны өвөл болон сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэж байгаа 2020 оны өвлийн тодорхой саруудын Улаанбаатар хотын агаар дахь нарийн ширхэгт $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын хэмжээ, морфологийн түгэлт болон хар нүүрстөрөгчийн агуулгыг харьцуулан судалсан судалгааны үр дүнг танилцуулж байна. Судалгааны дүнд 2020 оны өвлийн улиралд агаар дахь тоосонцорт агуулагдах хар нүүрстөрөгчийн хэмжээ ойролцоогоор 2 дахин буурсан болохыг үзүүлэв. Мөн 2017 болон 2020 оны өвлийн улирлын дээжүүдийн хувьд $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтэд онцлох өөрчлөлт гараагүй бол хэмжээний түгэлтийн хувьд 0.4 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор нийт тоосонцрын бохирдолд эзлэх хувь 15-49% болж нэмэгдсэн бол 0.4 мкм-ээс дээш том хэмжээтэй тоосонцрын эзлэх хувь төдий хэмжээгээр буурсан үр дүн харагдаж байна. Энэ нь сайжруулсан шахмал түлшний шаталт сайн, дэгдэмхий чанар бага бөгөөд түүнийг хийхэд угаасан коксжих нүүрс ашиглаж байгаатай холбоотой.

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

I. УДИРТГАЛ

Дэлхий даяар өдөр ирэх тусам хотжилт эрчимтэй явагдаж, хот суурин газруудын хүн амын төвлөрөл нэмэгдэж байгаагаас хүний өдөр тутмын үйл ажиллагаа, амьдрах орчны нөхцөлөөс үүдэлтэй агаарын бохирдлын асуудал буурахгүй байна. Хүмүүсийн амьдрах орчин, амьсгалах агаар муудахын хэрээр хүний эрүүл мэндийн байдал өөрчлөгдөж, өвчлөл ихсэж байгааг Дэлхийн эрүүл мэндийн байгууллагаас гаргадаг тайлан мэдээнээс харж болно [1].

Агаарын бохирдлын үндсэн бүрэлдэхүүн хэсэг 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 хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөллийг үүсгэдэг [2]. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдол нь сүүлийн 20 гаруй жилийн хугацаанд манай улсын тулгамдаж буй асуудлын нэг болсон. Агаарын бохирдлыг бууруулах талаар төр засаг, олон улсын байгууллагуудаас олон төсөл, арга хэмжээ авч хэрэгжүүлж ирсэн. Хамгийн сүүлд хэрэгжүүлсэн нэг томоохон арга хэмжээний нэг бол Улсын Их хурал 2018 онд “Агаарын бохирдлыг бууруулахтай холбогдуулан авах арга хэмжээний

тухай” 02-р тогтоолыг баталж, үүний дагуу Засгийн газрын 2018 оны “Түүхий нүүрс хэрэглэхийг хориглох тухай” 62-р тогтоолоор 2019 оны 5 дугаар сарын 15-ны өдрөөс эхлэн Улаанбаатар хотод түүхий нүүрс хэрэглэхийг хориглосон шийдвэр гарсан [3, 4]. Энэхүү шийдвэрийн дагуу 2019 оны өвлөөс эхлэн Улаанбаатар хотод зөвхөн сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэж байна. Хүснэгт I-т 2019 оноос өмнө Улаанбаатар хотод түгээмэл ашиглаж байсан түүхий нүүрс болон сайжруулсан шахмал түлшний зарим шинж чанарын тоон мэдээллийг Монгол улсын сайжруулсан хатуу түлшний MNS5679:2019 стандарт утгатай харьцуулан харууллаа.

Хүснэгт I: Түүхий нүүрс болон шахмал түлшний шинж чанар

Нэр	Чийглэг, %, ихгүй	Үнслэг, %, ихгүй	Дэгдэмхий бодис, %, ихгүй	Хүхэр, %, ихгүй	Илчлэг, ккал/кг, багагүй
MNS 5679:2019	≤ 10	≤ 29	≤ 22	≤ 1.0	≥ 4200
Багануур нүүрс	32.7	17.00	45.37	0.42	3300
Шинвээ овоо нүүрс	47.00	6.10	41.60	0.53	3006
Шахмал түлш	1.90	22.70	19.80	0.87	6983

Сайжруулсан шахмал түлшний үндсэн түүхий эдээр коксжих нүүрс ба барьцалдах чадвараар сайн органик барьцалдуулагч, урвалд орох идэвх сайтай кокс үүсгэж чадах нүүрсний холимгийг ашигладаг.

Эндээс харахад сайжруулсан шахмал түлш нь

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

илчлэг ихтэй, чийглэг бага, дэгдэмхий чанар багатай зэрэг түүхий нүүрснээс илүү давуу талтай болох нь харагдаж байна. Харин хүхэр болон үнсний хэмжээ түүхий нүүрснээс их байна [5].

Улаанбаатар хотод сайжруулсан шахмал түлшийг хэрэглэж эхэлснээр 2019 оноос өмнөх жилүүдтэй харьцуулахад агаарын бохирдлын хэмжээ тодорхой үзүүлэлтүүдээр буурч эхэлсэн үр дүнтэй байна. Тухайлбал PM_{10} , $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээ буурсан, азотын давхар ислийн хэмжээ өмнөх онуудын хэмжээтэй ойролцоо байсаар байгаа ба хүхэрлэг хийн ялгаралтын хэмжээ өмнөх жилүүдээс ихэссэн үзүүлэлттэй байна [6]. Иймээс Улаанбаатар хотын агаарын тоосонцрын бохирдлын хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг тогтооход шаардлагатай өгөгдлийн сан үүсгэх, агаарын чанарыг үнэлэх, агаарын бохирдлын эсрэг авч хэрэгжүүлж байгаа арга хэмжээний үр дүнг нарийвчлан тодорхойлох зорилгоор $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи, химийн найрлагын судалгааг бид тогтмол хийж байна [7–9].

Агаар дахь нарийн ширхэгт тоосонцрын хэмжээ ба хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлсноор хүний эрүүл мэндэд үзүүлэх нөлөөллийг судалж, үүсэх эрсдэлийг үнэлж урьдчилан сэргийлэх чухал ач холбогдолтой юм. Улаанбаатар хотын хувьд агаарын бохирдол нь сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэж эхэлснээр хүйтний улиралд багассан үзүүлэлттэй байгаа боловч хүлцэх стандарт хэмжээнээс их хэвээр байна [6].

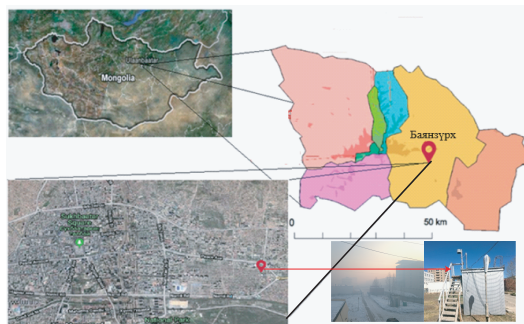
Түүнчлэн агаарын тоосонцрын бохирдлын нэг бүрэлдэхүүн хэсэг нь хар нүүрстөрөгч (Black Carbon) буюу хөө тортог юм. Хар нүүрстөрөгч нь хатуу түлш нүүрс, мод шатаах, шатахуун болон бусад түлшний бүрэн бус шаталтын дүнд үүсэж агаарт дэгддэг анхдагч бохирдуулагч юм. Хар нүүрстөрөгч нь ахуйн зуух болон тээврийн хэрэгслээс хамгийн ихээр ялгардаг байна [10]. Агаар дахь хар нүүрстөрөгчийн хэмжээг тодорхойлох нь агаарын тоосонцрын бохирдлыг үнэлэх, гарал үүслийг тодорхойлох нэг чухал хэмжигдэхүүн болгон ашигладаг [11].

Иймээс бид энэхүү судалгааны ажлаар Улаанбаатар хотын 2017 оны түүхий нүүрс хэрэглэж байсан үе болон сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэж байгаа 2020 оны өвлийн тодорхой саруудын хувьд агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын бохирдлын морфологи болон хар нүүрстөрөгчийн агуулгыг харьцуулан судлах зорилго тавив.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Судалгаанд ашиглах агаарын тоосонцрын дээжийг Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн 13 хороонд байрлах МУИС-ийн Цөмийн физикийн судалгааны төвийн хэмжилтийн цэг дээр (зураг 1) авсан. Дээж авсан байрлал нь гэр хороолол, байр холилдсон бүсэд гол зам дагуу байрлах хөрс-

ний элэгдэл болон түлш шаталтын процессоос үүсэлтэй агаарын бохирдол өндөртэй байршил юм. Энэхүү судалгаанд ашигласан агаарын нарийн ширхэгт тоосонцрын дээжийг поликарбонат материаллаар хийсэн 47 мм диаметр хэмжээтэй шүүлтүүр дээр дээж авагч GENT [12] төхөөрөмжөөр дунджаар 16л/мин хурдтайгаар соруулж авсан.



Зураг 1: Дээж авсан хэмжилтийн цэгийн байршил

Энэхүү судалгаанд түүхий нүүрс хэрэглэж байсан 2017 оны 1, 12 сарын дээж [9] болон 2020 оны 1, 2-р сарын дээжүүдийг сонгон авч ашигласан бөгөөд дээж авсан өдрийн агаарын чанар, агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээ зэрэг бусад шаардлагатай мэдээллийг хүснэгт II-т үзүүлэв.

Хүснэгт II: Дээж авсан өдрийн болон агаарын чанарын мэдээлэл

Огноо	17.01.30	17.12.21	20.01.13	20.02.17
Тоосонцрын агуулга [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	250	236	119	67.0
Агаарын температур [$^{\circ}\text{C}$]	-20	-16.7	-19.1	-13.4
Агаарын чанар	Дунд	Дунд	Бага	Хэвийн

Өмнөх судалгааны ажлаар боловсруулсан тоосонцрын ширхгийн морфологийг тодорхойлох аргагүйн [7] дагуу тоосонцрын дээж бүхий поликарбонат шүүлтүүр тус бүрээс 5 жижиг хэсгийн зүслэг авч ШУТИС-ийн ХҮТХүрээлэнгийн JEOL, JSM-60000 сканнин электрон микроскоп [13] ашиглан зүслэг бүр дээр 5000 өсгөлттэй зураг авч тоосонцрын ширхгийн хэмжээ, хэлбэрийг тодорхойлов. SEM зургийн тоон анализын ImageJ® программыг ашиглан тоосонцрын морфологийн параметр(хэлбэр, хэмжээ)-үүдийг тодорхойлов [8, 14].

Тоосонцрын дээжид хар нүүрстөрөгч (BC)-ийн агуулгыг тодорхойлохдоо үзэгдэх гэрлийн сарнил, шингээлтийн аргад суурилсан M43D рефлектометрийг ашигласан [11, 15].

III. ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулгыг тодорхойлоходоо тоосонцрын дээжийг авахын өмнөх болон дараах шүүлтүүрийн жингийн зөрөөгөөр тодорхойлдог [7].

M43D рефрактометр ашиглан дээж дэх хар нүүрстөрөгчийн агуулгыг тодорхойлохын тулд цэвэр болон тоосонцрын бохирдол шүүсэн шүүлтүүр тус бүр дээрх гэрлийн ойлтын утгыг тэмдэглэн авч тэгшитгэл (1) ашиглан тооцоолсон.

$$BC(\mu\text{г}/\text{см}^3) = [1000 \times \log(R_{\text{Ц}}/R_{\text{T}}) + 2.39] / 45.8 \quad (1)$$

Энд $R_{\text{Ц}}$ нь цэвэр шүүлтүүрийн дундаж ойлтын утга (энэ нь ойролцоогоор 100-тай тэнцүү, R_{T} нь тоосонцор шүүсэн шүүлтүүрийн ойлтын утга бол 2.39 ба 45.8 нь тогтмол коэффициент ба дээжийг авч буй шүүлтүүрийн хувьд тогтмол хэмжигдэхүүн болно.

Хүснэгт III-г судалж буй дээжүүдийн хувьд хэмжсэн $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга болон хар нүүрстөрөгчийн хэмжээг тооцоолсон үр дүнг үзүүлэв.

Хүснэгт III: Дээж дэх $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга болон хар нүүрс төрөгчийн агуулга

Дээж	F914	F971	F1088	F1098
Огноо	17.01.30	17.12.21	20.01.13	20.02.17
Тоосонцрын агуулга [$\mu\text{г}/\text{м}^3$]	209.7	107.7	93.9	63.0
Хар нүүрстөрөгчийн агуулга [$\mu\text{г}/\text{м}^3$]	16.4	12.7	6.4	7

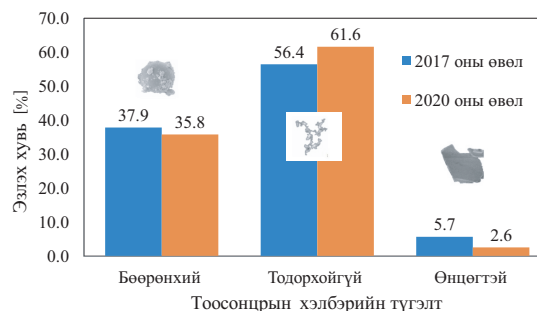
Эндээс үзэхэд 2020 онд тоосонцрын хэмжээ өмнөх жилүүдийнхээс ойролцоогоор 2 дахин багассан боловч өвлийн бохирдол ихтэй байдаг саруудад хүлцэх хэмжээнээс өндөр хэвээр байна. Энэхүү хэмжилтийн үр дүн Улаанбаатар хотын агаарын чанарын тайлан мэдээнээс авсан мэдээлэлтэй дүйж байгаа нь бидний сонгон авсан дээжүүд тухайн улирлын агаарын нарийн ширхэгт тоосонцрын бохирдлын төлөв байдлыг төлөөлж чадаж байгааг илтгэж байна [6].

Мөн 2020 оны өвөл 2017 оны өвлийн улиралтай харьцуулахад Улаанбаатар хотын тоосонцрын бохирдол дахь хар нүүрстөрөгчийн агуулга буурсан байгааг харж болно. Энэ нь агаарт ил харагдах хөө тортог багассаныг илтгэх бөгөөд сайжруулсан шахмал түлшний шаталт сайн байгаагаас шалтгаалан тортог бага үүсэж байгаа болон нийт тоосонцрын бохирдол төдий хэмжээгээр багассан болохыг харуулж байна.

Бид $PM_{2.5}$ тоосонцрын морфологийн параметруудийг тодорхойлох зорилгоор нийт 2020 оны өвлийн 2 өдрийн нарийн ширхэгт тоосонцрын дээж дээр 41 SEM зураг авч, түүнээс 5953 тоосон-

цор тоолж 2017 оны өвлийн нарийн ширхэгт тоосонцрын дээжийн SEM зургийг боловсруулсан арга зүйтэй адил арга зүйгээр боловсруулан $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэр, хэмжээний түгэлтийг тодорхойлж, харьцуулан судлав [9].

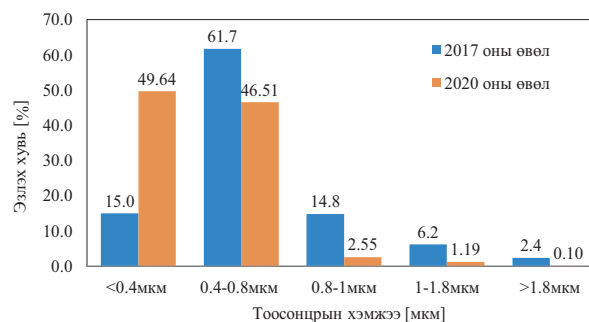
$PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтийг тодорхойлж харьцуулсан үр дүнг зураг 2-т үзүүлэв.



Зураг 2: 2017, 2020 оны өвлийн улирал дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн харьцуулсан түгэлт

Зургаас харахад тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтэд их хэмжээний өсөлт ба бууралт ажиглагдаагүй ба тодорхойгүй хэлбэртэй тоосонцрын эзлэх хувь бага хэмжээгээр ихэссэн бол бөөрөнхий болон өнцөгтэй тоосонцрууд нь эзлэх хувь бага хэмжээгээр багассан харагдаж байна. Энэ нь агаар дахь тоосонцрын бохирдлын үүсгүүр болох шаталтын бүтээгдэхүүн болон тоосжилтын үүсгүүрийн харьцаанд тодорхой өөрчлөлт ороогүйтэй холбоотой байж болно.

Тоосонцрын хэмжээний түгэлтийн харьцуулсан үр дүнг зураг 3-т үзүүлэв.



Зураг 3: 2017, 2020 оны өвлийн улирал дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээний харьцуулсан түгэлт

Энэхүү үр дүнгээс $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээний түгэлтийн хувьд 0.4 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцрын нийт тоосонцорт эзлэх хувь 34%-иар болж нэмэгдсэн бол 0.4 мкм-0.8мкм хэмжээтэй тоосонцрын эзлэх хувь 15%-иар багассан бөгөөд 0.8 мкм-ээс дээш том хэмжээтэй тоосонцрын эзлэх хувь төдий хэмжээгээр буурсан үр дүн харагдаж байна. Агаар дахь тоосонцрын хэлбэр, хэмжээний түгэлт тухайн хэрэглэж буй түлшний ша-

талт, найрлага, орц болон хэрэглэж буй зуухаас хамааран харилцан адилгүй байдаг.

Мөн 2019 оны хавраас хэрэгжиж эхэлсэн Улаанбаатар хотод түүхий нүүрс хэрэглэхийг хориглож, сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэх шийдвэр нь агаар дахь тоосонцрын бохирдол, хар нүүрстөрөгчийг хэмжээг бууруулахад тодорхой сайн үр дүнд хүрсэн болох нь судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Сайжруулсан шахмал түлшийг бүрэн шаталтад зуухтай хослуулан хэрэглэсний үр дүнд үүсэж байгаа тоосонцрын хэмжээ, морфологийн өөрчлөлтийг цаашид нарийвчлан судлах шаардлагатай бөгөөд энэхүү судалгааны ажил энэ чиглэлд үргэлжлэн хийгдэх болно.

IV. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар сайжруулсан шахмал түлш хэрэглэж эхэлсэн 2020 оны Улаанбаатар хотын агаар дахь $PM_{2.5}$ тоосонцрын агуулга, морфологийн параметрууд болох хэлбэр, хэмжээний түгэлт болон хар нүүрстөрөгчийн хэмжээг түүхий нүүрс хэрэглэж байсан 2017 оны өвлийн улиралд авсан дээжүүдийн хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулан судалсан. Судалгааны үр дүнгүүдээс дараах дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

- 2020 оны өвлийн улиралд агаар дахь тоосонцрын агуулга, түүн дэх хар нүүрстөрөгчийн хэмжээ ойролцоогоор 2 дахин буурсан болохыг үзүүлэв.
- 2017 болон 2020 оны өвлийн улирлын дээжүүдийн хувьд $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэлбэрийн түгэлтэд онцлох өөрчлөлт гараагүй нь агаар дахь тоосонцрын үүсгүүрийн бүтцэд

мэдэгдэхүйц өөрчлөлт ороогүйтэй холбоотой.

- $PM_{2.5}$ тоосонцрын хэмжээний түгэлтийн хувьд 0.4 мкм-ээс бага хэмжээтэй тоосонцор нийт тоосонцорт эзлэх хувь 15-49%-иар болж нэмэгдсэн бол 0.4 мкм-0.8 мкм хэмжээтэй тоосонцрын эзлэх хувь 15%-иар багассан бөгөөд 0.8 мкм-ээс дээш том хэмжээтэй тоосонцрын эзлэх хувь төдий хэмжээгээр буурсан харагдаж байна. Тоосонцрын хэмжээний түгэлтийн өөрчлөлт нь мөн ашиглаж байгаа түлшний шинж чанар, шаталтын зэрэг зэргээс шалтгаан гарч байгаа өөрчлөлт болно.

Цаашид Улаанбаатар хотод агаарын бохирдлыг бууруулах талаар авч хэрэгжүүлж байгаа арга хэмжээнүүд агаар дахь тоосонцрын бохирдлын хэмжээ, морфологи болон химийн найрлагад хэрхэн нөлөөлж байгааг харьцуулан судлах, нарийн болон бүдүүн ширхэгт тоосонцрын улирлаас хамаарсан өөрчлөлт, ашиглаж байгаа түлшний төрлөөс хэрхэн хамаарах судалгааг системтэйгээр хийж, тоосонцрын ширхгийн хэлбэр, хэмжээ, элементийн агуулга нь хүний эрүүл мэндэд хэрхэн нөлөөлөхийг нарийвчлан судлах шаардлагатай.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд дэмжлэг үзүүлсэн МУИС-ийн ЦФСТ, “Хүрээлэн буй орчин, биологийн объектыг шинжлэх цөмийн физикийн аргазүйн судалгаа” суурь судалгааны төслийг санхүүжүүлсэн ШУТ Санд гүн талархал илэрхийлье.

-
- [1] <https://www.who.int/health-topics/air-pollution/>
 - [2] Эрүүл мэндийн яам, Нийгмийн эрүүл мэндийн үндэсний төв, Баримтын цомог: Агаарын бохирдол хүний эрүүл мэндэд, 2018 он
 - [3] <https://legalinfo.mn/mn/detail/13094>
 - [4] <https://legalinfo.mn/mn/detail/15415>
 - [5] <https://standard.gov.mn/standard/reader/1463>
 - [6] <http://agaar.mn/index>
 - [7] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, П.Зузаан., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 478, ФИЗИК сэтгүүл (25), х133, 2017
 - [8] Л. Энхцэцэг, Н. Төвжаргал, П. Зузаан, Д. Шагжжамба, Ц.Амартайван.,МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 510, ФИЗИК сэтгүүл (28), х62, 2019
 - [9] Л.Энхцэцэг, Н.Төвжаргал, Д.Шагжжамба, Ц.Амартайван, П.Зузаан., МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний бичиг 527, ФИЗИК сэтгүүл (30), х65, 2020
 - [10] <https://www.ccacoalition.org/en/slcp/black-carbon>
 - [11] Adeti, P.J., Ahiamadje, H., 2012, Pollution 52, 11258–11260.
 - [12] Philip K. Hopke, Ying Xie, Taisto Raunemaa, Steven Biegalski, Sheldon Landsberger, Willy Maenhaut, Paulo Artaxo, David Cohen (1997), Aerosol Science and Technology, 27:6, 726-735
 - [13] <https://www.jeol.co.jp/en/news/detail/20120420.132.html>
 - [14] P. G. Satsangi, S. Yadav., Int. J. Environ. Sci. Technol. (2014) 11:217–232
 - [15] <https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/empire/smkman/sch7.html>