

# Улаанбаатар хотын аэрозолын оптик үзүүлэлтүүдийн судалгаа (2013-2021)

Ц.Баатарчулуун<sup>1\*</sup>, Б.Түвшинжаргал<sup>1,2</sup>, Т.Нарангарав<sup>1</sup>, Б.Даариймаа<sup>1</sup>, Б.Жавзандолгор<sup>1</sup>,  
Г.Батсүх<sup>1</sup>

<sup>1</sup> МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим

<sup>2</sup> ШУА, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн

Агаар мандлын оптикийн хэмжилтийн Улаанбаатар станцад 2013 оны 9 дүгээр сараас 2021 оны 3 дугаар сарын хооронд олон улсын SKYNET сүлжээний Скайрадиометр багаж ашиглан хийсэн хэмжилтийн үр дүнгээр аэрозолын спектраль оптик зузаан ( $\tau_{a,\lambda}$ ) болон Ангстромын экспонент ( $\alpha$ ) –ийн утгыг тодорхойлж, тэдгээрийн жилийн явцыг судлаж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг байгаль, цаг уур, нийгмийн хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлах оролдлого хийлээ.

PACS number: 92.60.Mt

Түлхүүр үг: Агаарын бохирдол, Аэрозол, Оптик зузаан, Ангстромын экспонент

## I. ОРШИЛ

Агаар мандалд орших аэрозол нь дэлхийн цацрагийн балансад нөлөөлөх замаар уур амьсгалын өөрчлөлтөнд голлох нөлөө үзүүлдэг [1-3]. Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт, дулаарал ажиглагдан цөлжилт хүрээгээ тэлж байгаа өнөө үед агаар мандлын үе давхрагуудад явагдах физик үзэгдлийн зүй тогтол, шинж чанарт гарч буй өөрчлөлт хувьслыг тухайн бүс нутгуудад судлан тогтоох нь онцгой ач холбогдолтой юм. Хүн амын хэт суурьшил, үйлдвэржилтээс болж үүссэн антропоген гаралтай аэрозол нь агаарын бохирдлын тэргүүлэх шалтгааны нэг бөгөөд хүн амын эрүүл мэндэд сөрөг нөлөө үзүүлсээр байна.

Улаанбаатар хот нь дэлхийн агаарын бохирдолт ихтэй хотуудын нэг юм. Ялангуяа хүйтэн, сэрүүний улиралд гэр хорооллын айл өрхүүд биомасс (түүхий нүүрс, мод г.м) шатаасны улмаас үүссэн агаарын бохирдол болон дулааны цахилгаан станц, тээврийн хэрэгсэл, уурын зуух, бусад үйлдвэрлэлээс үүдсэн агаарын бохирдлын хэмжээ ихээр нэмэгддэг. Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг үнэлэх, бохирдлыг илэрхийлэгч оптик параметруудийн өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг тодорхойлох зорилготой судалгааны ажил МУИС-ийн геофизикийн салбарт олон жилийн турш хийгдэж байна [4-7]. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 2013 оны 9 дүгээр сараас 2021 оны 3 дугаар сарын хооронд Монгол Улсын Их Сургуульд байрлах агаар

мандлын оптикийн хэмжилтийн Улаанбаатар станцад ( $\varphi=47.923N$ ,  $\lambda=106.921E$ ,  $h=1334.0m$ ) скайрадиометр РОМ-01 багаж ашиглан 10 минут тутамд хийсэн нарны шулуун цацрагийн болон альмункантратын хэмжилтийн өгөгдлөөр агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч гол оптик параметрууд болох аэрозолын спектраль оптик зузаан  $\tau_{a,\lambda}$  болон Ангстромын илтгэгч  $\alpha$  – ийн утгыг тодорхойлж, тэдгээрийн хугацааны өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг байгаль, цаг уур, нийгмийн хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлах зорилт тавин ажиллав.

## II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Судалгааны ажилд Голланд улсын Kipp&Zonen фирмд үйлдвэрлэсэн РОМ-1 скайрадиометр багажийг ашигласан ба уг багаж нь нарны шулуун цацрагийг  $\lambda=315$  нм, 400 нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 940 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад хэмжих боломжтой юм. Мөн тэнгэрийн мандаас сарнисан гэрлийн эрчмийг сонгож авсан сарнилын өнцгийн утгуудад хэмжиж (альмункантратын хэмжилт) сарнилын индикатрисийг тодорхойлсноор агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтүүд болох Ангстромын экспонент, аэрозолын хугарлын илтгэгч ( $m_r$ - $i m_i$ ) нэг сарнилын алbedo ( $\omega$ ), аэрозолын эзэлхүүний түгэлт (VSD), ассимметрийн параметр ( $g$ ) зэргийг үнэлэх боломжийг олгодог [8, 9].

\* Electronic address: baataarchuluun@num.edu.mn

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд авч үзсэн агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч гол үзүүлэлтүүд болох аэрозолын оптик зузаан (АОЗ) болон Ангстромын экспонентийн талаарх товч ойлголтыг дараах дэд бүлгүүдэд авч үзлээ.

### II.(a). Аэрозолын оптик зузаан

Дэлхийн агаар мандлыг нэвтлэн ирж буй нарны шулуун цацрагийн эрчим агаар мандал дахь аэрозолын улмаас сулрах хэмжээг аэрозолын оптик зузаан илэрхийлнэ. АОЗ нь гэрлийн долгионы уртаас хамаарах ба спектрийн тухайн мужид тодорхойлсон утгыг аэрозолын спектрал оптик зузаан хэмээн нэрлэдэг. АОЗ-ы утга нь орон зай болон цаг хугацааны хувьд өөрчлөгдөн хувьсаж байдаг хэмжигдэхүүн бөгөөд агаар мандал дахь байгалийн болон хүний үйл ажиллагааны гаралтай аэрозолын хэмжээг үнэлэх гол параметр юм.

Агаар мандал дахь нарны цацрагийн эрчмийн сулралын хууль буюу Бугер-Ламбертийн хуулиас агаар мандлын ерөнхий оптик зузааныг илэрхийлж бичвэл:

$$\tau_{\lambda} = -\frac{1}{m(\theta)} \ln \left( \frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda 0}} \right) = \frac{1}{m(\theta)} \ln \left( \frac{I_{\lambda 0}}{I_{\lambda}} \right) \quad (1)$$

Энд:  $I_{\lambda 0}$  - спектрийн тухайн мужид агаар мандлын гадна хил дээр ирж байгаа нарны шулуун цацрагийн эрчмийн утга

$I_{\lambda}$  - спектрийн тухайн муж дахь нарны шулуун цацрагийн эрчмийн газрын гадаргууд хэмжигдсэн утга

$m(\theta)$  - агаар мандлын оптик масс

Агаар мандлын ерөнхий оптик зузааныг дараах хэлбэрээр буюу оптик зузаануудын нийлбэр байдлаар илэрхийлж болно.

$$\tau_{\lambda} = \tau_a(\lambda) + \tau_R(\lambda) + \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_{mg}(\lambda) + \tau_{PW}(\lambda) \quad (2)$$

Үүнд,  $\tau_a(\lambda)$ -аэрозолын,  $\tau_R(\lambda)$ -релейн сарнилын,  $\tau_{O_3}(\lambda)$ -озоны,  $\tau_{mg}(\lambda)$ -холимог хийн,  $\tau_{PW}(\lambda)$ - усны уурын оптик зузаан тус тус болно. (1) болон (2) томъёоноос аэрозолын оптик зузааныг тодорхойлбол дараах хэлбэртэй олдоно [2, 3].

$$\tau_a(\lambda) = \frac{1}{m(\theta)} \left( \ln I_{\lambda 0} - \ln I_{\lambda} \right) - \left( \tau_R(\lambda) + \tau_{O_3}(\lambda) + \tau_{mg}(\lambda) + \tau_{PW}(\lambda) \right) \quad (3)$$

Туршилтанд ашигласан POM-01 скайрадиометр багаж нь нарны шулуун цацрагийн эрчмийг  $\lambda=400$  нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад, 1 минут тутамд хэмжих ба (3) томъёог ашиглан АОЗ-ы утгыг тодорхойлдог.

### II.(b) Ангстромын экспонент

Ангстромын экспонент нь Аэрозолын оптик зузааны утга гэрлийн долгионы уртаас хамаарах хамаарлыг илтгэдэг параметр юм. Энэхүү параметр нь тухайн ажиглалт, судалгаа хийж буй бүс нутгийн агаар мандал агуулагдаж буй аэрозолын шугаман хэмжээстэй хамааралтай бөгөөд ангстромын экспонентийн их утга нь тухайн агаар мандал дахь аэрозолын хэмжээс харьцангуй жижиг байгааг, харин бага утга нь тухайн агаар мандалд харьцангуй том хэмжээст аэрозол голчлон түгж буйг тус тус илтгэдэг. Жишээлбэл,  $\alpha \leq 1$  үед агаар мандалд том ширхэгтэй буюу эффектив радиус нь 0.5  $\mu\text{m}$ -аас их байх аэрозол давамгайлна хэмээн үнэлж болно. Харин,  $\alpha \geq 1$  үед агаар мандалд жижиг ширхэгтэй буюу 0.5  $\mu\text{m}$ -аас бага эффектив радиустай буюу биомасс шатааснаас үүссэн юмуу хотын агаарын бохирдолтой холбоотой аэрозол давамгайлж байна хэмээн үзэж болно. Ангстромын экспонентийг спектрийн тухайн муж дахь аэрозолын оптик зузаан болон долгионы уртын харьцаагаар тодорхойлдог [10].

$$\frac{\tau_{\lambda}}{\tau_{\lambda_0}} = \left( \frac{\lambda}{\lambda_0} \right)^{-\alpha} \quad (4)$$

Ангстромын экспонент  $\alpha$  – г тодорхойлбол:

$$\alpha = -\frac{\ln \frac{\tau_{\lambda}}{\tau_{\lambda_0}}}{\ln \frac{\lambda}{\lambda_0}} \quad (5)$$

болно.

## III. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны ажлын хүрээнд Улаанбаатар станцад 2013 оны 9 дүгээр сараас 2021 оны 3 дугаар сарын хооронд хийгдсэн хэмжилтийн үр дүнгээр аэрозолын спектраль оптик зузаан болон Ангстромын экспонентийн утгыг тодорхойлж, эдгээр үзүүлэлтийн өөрчлөлт, хувьслын зүй тогтлыг үнэлэх, тодорхойлох оролдлого хийлээ.

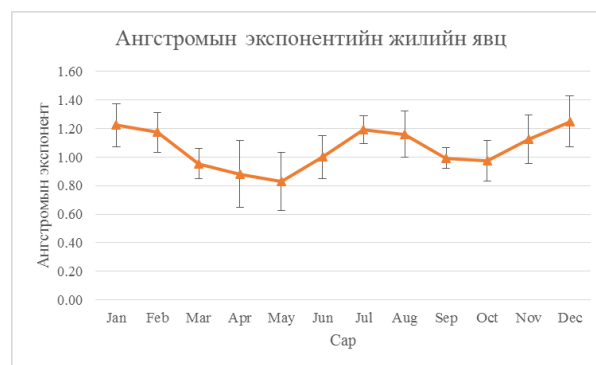
Судалгааны ажилд ашигласан РОМ-1 скайрадиометр багаж нь АОЗ-ы утгыг  $\lambda=400$  нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 940 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад тодорхойлох боломжтой. Практикт 500 нм долгионы уртад харгалзах АОЗ  $\tau_{a,500}$  –г ихэвчлэн ашигладаг. Ажиглалт хийсэн нийт хугацааны хэмжилтийг ашиглан аэрозолын оптик зузаан  $\tau_{a,500}$ -ын сар бүрийн дундаж утгыг тодорхойлж, уг хэмжигдэхүүний жилийн явцыг Зураг 1-д үзүүллээ. Улаанбаатар хот орчмын АОЗ-ы олон жилийн дундаж утга  $\tau_{a,500} = 0.188$  байна.



Зураг 1. 500 нм-ийн долгионы уртад харгалзах аэрозолын оптик зузааны жилийн явц (2013-2021 оны дундажаар)

АОЗ -ы хамгийн бага утга жилийн IX ба X саруудад (0.158, 0.151) харгалзаж байв. Мөн III, V-VII саруудад АОЗ-ы утга харьцангуй бага утгатай байна. Хаврын улирал буюу IV сард АОЗ-ы утга (0.222) харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогдож байгаа нь агаарын хуурайшлаас үүдсэн шороон шуурганы гаралтай тоос, тоосонцорын хувь хэмжээ агаар мандалд ихэссэнээр тайлбарлагдах боломжтой. Агаар мандал дахь усны уурын хэмжээ хамгийн их байдаг VIII сард АОЗ-ы хэмжээ (0.228) өндөр утгатай тодорхойлогдож байна. 2016 оны VIII сарын эхээр ОХУ-ын нутаг дэвсгэр Сибирь орчимд болсон их хэмжээний ойн түймрийн улмаас үүссэн утааны улмаас Улаанбаатар хот орчимд АОЗ-ы хэт өндөр утгууд хэмжигдсэн ба энэхүү гаж утгууд нь тухайн сарын дундаж утга өндөр гарахад нөлөөлсөн болно (Хүснэгт 1). XI сараас эхлэн АОЗ-ы утга аажмаар ихсэх ба өвлийн сарууд болох XII, I, II саруудад харьцангуй өндөр утгатай (харгалзан 0.208, 0.216, 0.233) тодорхойлогдож байгаа нь халаалтын зорилгоор биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа буюу антропоген гаралтай аэрозол агаар мандалд ихээр дэгдсэнтэй холбогдоно.

Агаар мандал дахь аэрозолын геометр хэмжээг үнэлэх гол параметр болох Ангстромын экспонентийн жилийн явцыг Зураг 2-д харуулав. Хавар, намрын улиралд Ангстромын экспонент харьцангуй бага утгатай тодорхойлогдож байгаа нь том ширхэгтэй буюу байгалийн гаралтай тоос, тоосонцор (ойролцоогоор PM10) ихэсдэгтэй холбоотой хэмээн үзэж байна. Өвлийн улиралд Ангстромын экспонент харьцангуй өндөр утгатай хэмжигдсэн ба энэ нь биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа буюу харьцангуй бага геометр хэмжээтэй (ойролцоогоор PM2.5) аэрозолын хэмжээ ихэссэнээр тайлбарлагдаж байна. Харин зуны улирал буюу VII, VIII саруудад Ангстромын экспонент өндөр утгатай байгаа нь усны уур болон ургамлын гаралтай аэрозол ихэссэнээр тайлбарлагдах боломжтой.



Зураг 2. Ангстромын экспонентийн жилийн явц (2013-2021 оны дундажаар)

Улаанбаатар станцад 2013 оны 9 дүгээр сараас 2021 оны 3 дугаар сарын хооронд хийгдсэн хэмжилтийн үр дүнгээр тодорхойлсон 500 нм долгионы уртад харгалзах аэрозолын оптик зузаан  $\tau_{a,500}$  болон Ангстромын экспонентийн сарын дундаж утгуудыг Хүснэгт 1 ба 2-д үзүүллээ. Зарим саруудад хийгдсэн хэмжилтийн тоо харьцангуйгаар цөөн байсан нь тухайн оптик үзүүлэлтийн утга хэт өндөр юмуу нам байхад нөлөөлсөн байх боломжтой.

Монгол улсын Засгийн газраас Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг бууруулах талаар тодорхой арга хэмжээнүүдийг авч байна. Жишээлбэл, 2019 оноос эхлэн Улаанбаатар хотын айл өрхүүд халаалтын зорилгоор түүхий нүүрс хэрэглэхийг хориглосон Засгийн газрын шийдвэр гарсан нь Улаанбаатар хотын агаарын чанарт тодорхой хэмжээгээр эерэгээр нөлөөлж байна. Антропоген гаралтай агаарын бохирдол

хамгийн ихтэй байдаг өвлийн улирлын I сарыг туршид хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг Зураг 3-д сонгож АОЗ-ы сарын дундаж утга хугацааны үзүүлэв.

Хүснэгт 1. 500 нм долгионы уртад харгалзах Аэрозолын оптик зузаан  $\tau_{a,500}$ -ын сарын дундаж утга (Улаанбаатар станц)

|             | JAN   | FEB   | MAR   | APR   | MAY   | JUN   | JUL   | AUG   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>2013</b> |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.088 | 0.129 | 0.162 | 0.201 |
| <b>2014</b> | 0.192 | 0.199 | 0.153 | 0.287 | 0.113 | 0.113 | 0.130 | 0.144 | 0.145 | 0.165 |       |       |
| <b>2015</b> | 0.164 | 0.210 | 0.128 | 0.178 |       |       |       |       |       | 0.075 | 0.177 | 0.197 |
| <b>2016</b> | 0.263 | 0.242 | 0.165 | 0.147 | 0.159 | 0.317 | 0.284 | 0.417 | 0.339 | 0.257 | 0.219 | 0.220 |
| <b>2017</b> | 0.241 | 0.317 | 0.370 | 0.314 | 0.287 | 0.187 | 0.151 | 0.146 | 0.103 | 0.173 | 0.184 | 0.234 |
| <b>2018</b> | 0.277 | 0.272 | 0.196 | 0.222 | 0.177 | 0.142 | 0.159 | 0.203 | 0.112 | 0.126 | 0.156 | 0.225 |
| <b>2019</b> | 0.211 | 0.212 | 0.169 | 0.184 | 0.169 | 0.101 | 0.223 | 0.301 | 0.175 | 0.149 | 0.172 | 0.207 |
| <b>2020</b> | 0.183 | 0.220 | 0.162 | 0.221 | 0.175 | 0.191 | 0.169 | 0.158 | 0.144 | 0.137 | 0.163 | 0.169 |
| <b>2021</b> | 0.196 | 0.195 | 0.179 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Хүснэгт 2. Ангстромын экспонентийн сарын дундаж утга (Улаанбаатар станц)

|             | JAN   | FEB   | MAR   | APR   | MAY   | JUN   | JUL   | AUG   | SEP   | OCT   | NOV   | DEC   |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>2013</b> |       |       |       |       |       |       |       |       | 0.945 | 0.967 | 1.176 | 1.273 |
| <b>2014</b> | 1.306 | 1.281 | 1.020 | 0.548 | 0.958 | 0.759 | 1.140 | 1.127 | 0.904 | 0.953 |       |       |
| <b>2015</b> | 1.139 | 1.075 | 0.952 | 1.161 |       |       |       |       |       | 1.278 | 1.256 | 1.232 |
| <b>2016</b> | 1.548 | 1.440 | 1.123 | 1.067 | 1.044 | 1.147 | 1.088 | 0.957 | 1.049 | 0.949 | 1.320 | 1.593 |
| <b>2017</b> | 1.218 | 1.205 | 0.950 | 1.005 | 0.720 | 0.909 | 1.295 | 1.428 | 1.104 | 1.072 | 1.229 | 1.321 |
| <b>2018</b> | 1.248 | 1.200 | 0.754 | 0.584 | 0.478 | 1.156 | 1.266 | 1.177 | 0.960 | 0.811 | 0.876 | 1.166 |
| <b>2019</b> | 1.089 | 1.058 | 0.987 | 0.919 | 0.910 | 1.052 | 1.269 | 1.225 | 0.956 | 0.875 | 0.911 | 1.077 |
| <b>2020</b> | 1.144 | 1.017 | 0.962 | 0.872 | 0.861 | 0.977 | 1.093 | 1.052 | 1.034 | 0.890 | 1.109 | 1.086 |
| <b>2021</b> | 1.093 | 1.102 | 0.876 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |



Зураг 3. Аэрозолын оптик зузааны явц (2016-2021 оны I саруудад)

2016 – 2018 оны I саруудад харьцангуй өндөр буюу дунджаар 0.260 байсан АОЗ-ы утга 2019 оноос эхлэн огцом буурч 2020 оны I сард 0.183 хүрч ойролцоогоор 31% багассан байна. Энэ нь Улаанбаатар хотын АОЗ-ы олон жилийн дундаж утга 0.188 –тай ойролцоо байгааг онцлох нь зүйтэй юм.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлын хүрээнд 2013 оны 9 дүгээр сараас 2021 оны 3 дугаар сарын хооронд Улаанбаатар станцад хийгдсэн агаар мандлын оптик хэмжилтийн үр дүнг боловсруулж, агаарын бохирдлын гол илтгэгчид болох

аэрозолын спектрал оптик зузаан болон Ангстромын экспонентийн сарын дундаж утгуудыг тодорхойлж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг үнэлсний дүнд дараахь дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

- Олон жилийн дунджаар тодорхойлсон аэрозолын оптик зузааны жилийн явц нь Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын оптик ерөнхий зүй тогтлыг маш сайн илэрхийлж байна. АОЗ-ы харьцангуй өндөр болон нам утгууд нь байгалийн болон нийгмийн гаралтай тодорхой хүчин зүйлсээр нөхцөлдөж байна.
- Агаар мандал дахь аэрозолын шугаман хэмжээг илэрхийлэгч Ангстромын экспонентийн утгын олон жилийн дунджаар тодорхойлсон жилийн явцаас харахад Улаанбаатар хот орчмын агаар мандалд хавар, намрын улиралд том ширхэгтэй буюу байгалийн гаралтай аэрозол огцом нэмэгдэх ба энэ нь Монгол орны байгаль, цаг уурын онцлог байдалтай нягт уялдаж байна. Харин өвөл, зуны улиралд харьцангуй жижиг хэмжээтэй буюу утаа, ургамлын гаралтай аэрозол зонхилж байна.

- Сүүлийн жилүүдийн өвлийн улирлын I сарын АОЗ-ы дундаж утгын явцаас харахад 2019 оноос эхлэн агаарын бохирдлын хэмжээ ойролцоогоор 30 орчим хувиар буурсан байна.

## ТАЛАРХАЛ

Судалгааны ажил нь МУИС-ийн Агаар мандлын оптикийн хэмжилтийн лабораторид 2015-2017 онд ШУТСангийн санхүүжилтэй хэрэгжсэн “Улаанбаатар хотын агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтийн судалгаа” сэдэвт, SSI\_012/2015 дугаартай суурь судалгааны төслийн хүрээнд хийгдсэн болно.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1] R.M.Goody, Y.L.Yung, Atmospheric Radiation, 2nd ed., Oxford Univ. Press, 1989
- [2] John M.Wallace, Peter V.Hobbs, Atmospheric science, 2nd ed., Elsevier, 2006
- [3] Deepak, A. Atmospheric Aerosols, Spectrum Press, Hampton, 1982
- [4] Б.Ганбат, Ц.Баатарчулуун, Т.Нарангарав, Б.Даариймаа, Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын бохирдлын оптик параметрүүдийг өвлийн улиралд болон түймрийн утаатай байх хугацаанд харьцуулан судалсан дүн, Физик сэтгүүл 24 (468), 2017
- [5] “Агаар мандалд явагдах оптик үзэгдлийн судалгаа” суурь судалгааны төслийн тайлан, 2015
- [6] Л.Бадрах, Б.Даариймаа, Ц.Баатарчулуун “Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын зарим оптик параметрүүдийг тодорхойлсон дүн” Физик сэтгүүл 19 (425), 2015
- [7] Ц.Баатарчулуун, Г.Батсүх, Б.Даариймаа, Б.Жавзандолгор, Т.Нарангарав, Н.Түгжсүрэн, Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч зарим оптик параметрүүдийн жилийн явцын судалгаа (2015-2018), Физик сэтгүүл 28 (510), 2019
- [8] T.Takamura, P.Khatri, B.J.Sohn, N.Tugjsuren, V.Thana, M.Campanelli and G.Padithurai, “Aerosol optical properties and aerosol direct effect over typical sites of SKYNET network”, ICCASR, 2013
- [9] T.Takamura, P.Khatri, B.J.Sohn, N.Tugjsuren, V.Thana, M.Campanelli and G.Padithurai,

“Aerosol optical properties and aerosol direct effect over typical sites of SKYNET network”, ICCASR, 2013

- [10] Gregory L.Schuster, Oleg Dubovik and Brent N.Holben “Angstrom exponent and bimodal aerosol size”, J. Geoph. Res., vol.111, D07207, 200.