

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч зарим оптик параметруудийн жилийн явцын судалгаа (2015-2018)

Ц.Баатарчулуун^{1,*}, Г.Батсүх¹, Б.Даариймаа¹, Б.Жавзандолгор¹, Т.Нарангарав¹, Н.Түгжсүрэн²

¹ МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим

² ШУТИС, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль

Улаанбаатар хотод 2015-2018 онд хийгдсэн нарны шулуун цацрагийн болон альмункантратын хэмжилтийн өгөгдлөөр агаарын бохирдлыг илэрхийлэгч гол оптик параметрууд болох аэрозолын спектраль оптик зузаан $\tau_{a,\lambda}$ болон аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийг 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, Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт.

I. ОРШИЛ

Нийслэл Улаанбаатар хотын хувьд нэн тулгамдаж буй асуудлын нэг нь агаарын бохирдол болоод байна. Үүнтэй уялдуулан агаар мандлын бохирдлыг илэрхийлэгч оптик параметруудийн өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг Улаанбаатар хот орчимд хэмжин тодорхойлох, үнэлэх нь шинжлэх ухааны болон практикийн чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 2015-2018 оны хооронд буюу сүүлийн 4 жилийн хугацаанд Улаанбаатар станцад ($\varphi=47.923N$, $\lambda=106.921E$, $h=1334.0m$) Скайрадиометр POM-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 аэрозолын эзэлхүүний түгэлтийг тодорхойлж, тэдгээрийн жилийн явцыг судлаж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг байгаль, цаг уур, нийгмийн хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлах зорилт тавин ажиллаа.

II. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Агаар мандлыг бүрдүүлэгч хийн молекулууд дээрх Релейн сарнил, агаар мандал дахь усны уур, озоны давхарга болон бусад хийн шингээлт, аэрозол дээрх гэрэл сарних, шингэх процессуудын дүнд газрын гадаргад ирж буй нарны цацрагийн эрчим сулрахаас гадна

цацрагийн спектр бүтэц өөрчлөгддөг. Спектрийн янз бүрийн муж дахь нарны цацрагийн сулралын хэмжээг тодорхойлох нь агаар мандалд орших төрөл бүрийн гарал үүсэл бүхий аэрозол буюу агаарын бохирдлыг үнэлэх боломжийг олгодог.

Бүс нутгийн болон дэлхийн уур амьсгалд үзүүлж буй аэрозолын нөлөөллийг судлах зорилгоор хэмжилтийн станцуудыг дэлхий даяар байгуулан хэмжилт, судалгааг гүйцэтгэж байна. 1997 оноос аэрозол болон нарны цацрагийн хэмжилт хийх боломжтой газрын станцуудын SKYNET сүлжээг (<http://atmos.cr.chiba-u.ac.jp/aerosol/skyNET>) Ази тивийн хэд хэдэн хотод байгуулан судалгааны ажлыг системтэйгээр явуулж эхэлсэн юм. МУИС-ийн Геологи, Геофизикийн тэнхмийн судлаачид энэхүү олон улсын сүлжээнд хамрагдан, агаар мандлын оптик төлвийн хэмжилтийн иж бүрэн станцыг МУИС-д байгуулж, 2013 оноос эхлэн хэмжилт, судалгааны ажлыг тасралтгүй хийж байна.

Судалгааны ажилд Голланд улсын Kipp&Zonen фирмд үйлдвэрлэсэн POM-1 скайрадиометр багажийг (Зураг 1) 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 мандлаас сарнисан гэрлийн эрчмийг сонгосон сарнилын

* Electronic address: baataarchuluun@num.edu.mn

өнцгийн утгуудад хэмжиж (альмункантратын хэмжилт) сарнилын индикатрисийг тодорхойлсноор агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтүүд болох Ангстрёмийн экспонент, аэрозолын хугарлын илтгэгч ($m_i - im_i$) нэг сарнилын алbedo (ω), аэрозолын эзэлхүүний түгэлт (VSD), ассиметрийн параметр (g) зэргийг үнэлэх боломжийг олгодог [1].



Зураг 1. Скайрадиометр РОМ-01 багаж.

Агаар мандлын бохирдлын оптик параметруудийн онолын үндэс болон бусад дэлгэрэнгүй ойлголтуудыг өмнө хэвлэгдсэн бүтээлүүдээс авах боломжтой [1-4].

III. ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

A. Аэрозолын спектрал оптик зузаан

Дэлхийн агаар мандлыг нэвтрэн ирж буй нарны шулуун цацрагийн эрчим агаар мандал дахь аэрозолын улмаас сулрах хэмжээг аэрозолын оптик зузаан (АОЗ) 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 Буге-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_{λ} - 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 олддог [2,3].

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

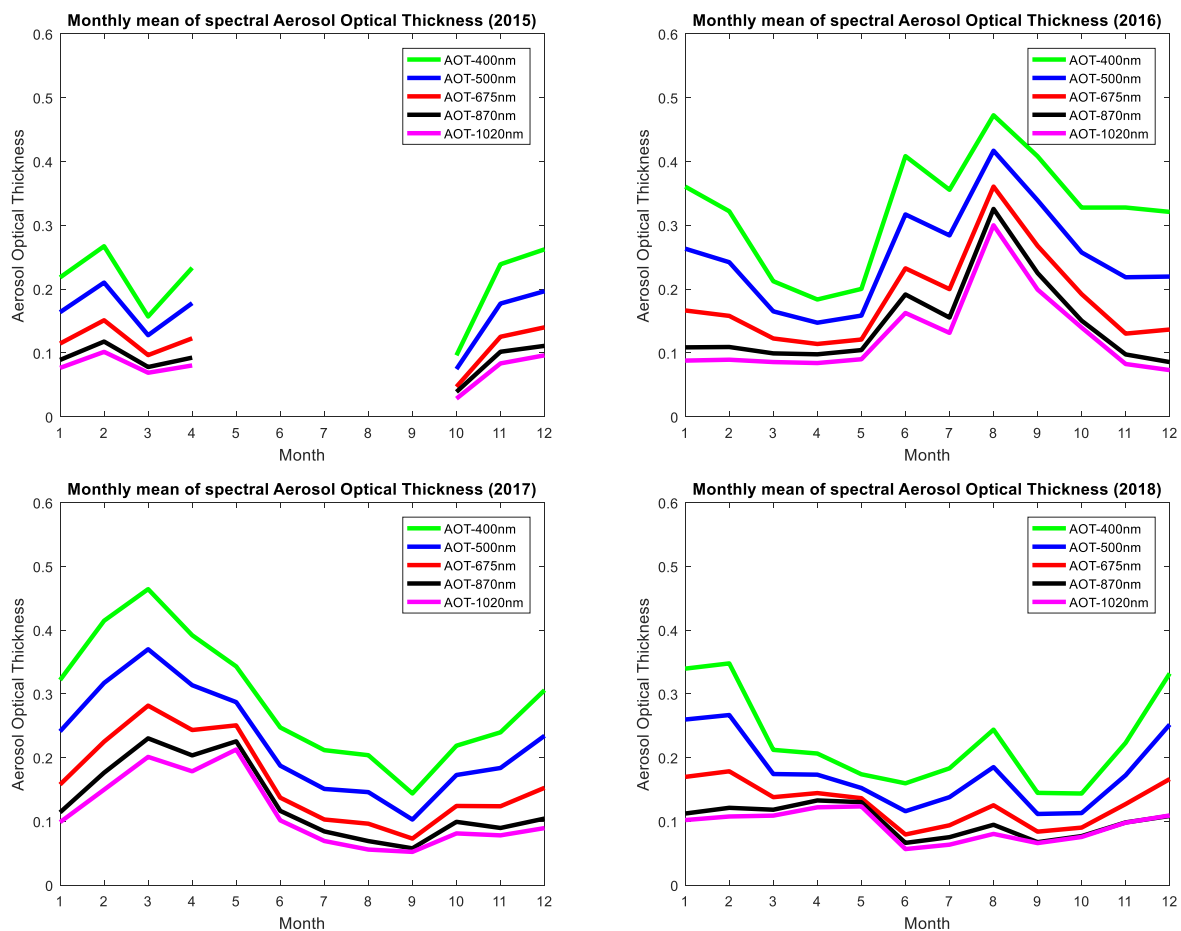
Туршилтанд ашигласан РОМ-01 скайрадиометр багаж нь нарны шулуун цацрагийн эрчмийг $\lambda=400$ нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 1020 нм гэсэн долгионы уртын утгуудад, 1 минут тутамд хэмжих ба (3) томъёог ашиглан АОЗ-ы утгыг тодорхойлдог.

Судалгааны ажлын хүрээнд Улаанбаатар станцад 2015-2018 онд хийгдсэн хэмжилтийн үр дүнгээр спектрал АОЗ-ы сарын дунджийн утгыг тооцоолон, жилийн явцыг тодорхойлж Зураг 2 болон Хүснэгт 1-д үзүүлээ.

Монгол орны хаврын улиралд үүсэх хуурайшлын улмаас агаарт дэгдэх тоос, тоосонцорын хэмжээ нэмэгддэг ба энэхүү хатуу хэлбэрийн аэрозолын концентрацын өсөлтийн улмаас АОЗ харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогддог байна. 2017 оны III-V сард АОЗ-ы утга харьцангуй өндөр байгаа нь тухайн жил Улаанбаатар хот орчимд салхины дундаж хурд олон жилийн дунджаас өндөр, шороон шуургатай өдрийн тоо олон байсантай холбогдон тайлбарлагдана.

2015 оны V-аас IX сарын хооронд хэмжилт хийгдээгүй болно. 2016 оны VI-VIII саруудад АОЗ-ы утга харьцангуй өндөр байгаа нь тухайн жил ОХУ-ын Сибирь болон Монгол улсын нутаг дэвсгэрийг хамран удаан хугацаанд дэгдсэн ой хээрийн түймрийн улмаас үүсэн утаа, униар Улаанбаатар станц орчимд хэмжигдсэнтэй холбогдон тайлбарлагдана [4]. Мөн зуны улиралд агаар мандал дахь усны уурын хэмжээ нэмэгддэг нь АОЗ-ы өсөлтөнд тодорхой хэмжээгээр нөлөөлнө.

Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард АОЗ харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогдож байна. Ялангуяа харьцангуй богино долгионы урт буюу 400 нм, 500 нм-ын утганд харгалзах АОЗ өндөр утгатай байгаа нь халаалтын зорилгоор биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа буюу харьцангуй бага хэмжээтэй, антропоген гаралтай аэрозол агаар мандалд ихээр дэгдсэнтэй холбогдоно (Зураг 2).



Зураг 2. 400 нм, 500 нм, 675 нм, 870 нм, 1020 нм долгионы уртын утга дахь аэрозолийн оптик зузааны жилийн явц (Улаанбаатар хот, 2015-2018 он).

Хүснэгт 1. Аэрозолийн оптик зузааны сарын дундаж утга (2015-2018 он).

	Аэрозолийн оптик зузаан (400 нм)											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2015	0.218	0.267	0.157	0.233						0.096	0.239	0.262
2016	0.361	0.322	0.212	0.184	0.200	0.408	0.356	0.472	0.408	0.328	0.328	0.321
2017	0.322	0.415	0.464	0.392	0.343	0.247	0.212	0.204	0.144	0.219	0.240	0.306
2018	0.340	0.348	0.212	0.206	0.174	0.160	0.183	0.244	0.145	0.144	0.223	0.332
	Аэрозолийн оптик зузаан (500 нм)											
2015	0.164	0.210	0.128	0.178						0.075	0.177	0.197
2016	0.263	0.242	0.165	0.147	0.159	0.317	0.284	0.417	0.339	0.257	0.219	0.220
2017	0.241	0.317	0.370	0.314	0.287	0.187	0.151	0.146	0.103	0.173	0.184	0.234
2018	0.260	0.267	0.174	0.173	0.152	0.116	0.138	0.185	0.112	0.113	0.172	0.252

Аэрозолын оптик зузаан (675 нм)												
2015	0.115	0.151	0.097	0.123						0.047	0.125	0.140
2016	0.167	0.158	0.123	0.114	0.121	0.233	0.200	0.361	0.268	0.192	0.130	0.137
2017	0.158	0.225	0.282	0.243	0.251	0.137	0.103	0.096	0.073	0.124	0.124	0.153
2018	0.170	0.179	0.138	0.144	0.136	0.079	0.094	0.125	0.084	0.090	0.127	0.166
Аэрозолын оптик зузаан (870 нм)												
2015	0.089	0.118	0.078	0.093						0.039	0.102	0.111
2016	0.109	0.109	0.099	0.098	0.104	0.192	0.155	0.326	0.225	0.151	0.098	0.086
2017	0.114	0.176	0.230	0.204	0.226	0.116	0.084	0.069	0.058	0.099	0.090	0.104
2018	0.112	0.121	0.118	0.133	0.130	0.066	0.075	0.095	0.067	0.077	0.098	0.108
Аэрозолын оптик зузаан (1020 нм)												
2015	0.077	0.102	0.069	0.080						0.028	0.084	0.096
2016	0.088	0.089	0.086	0.084	0.090	0.163	0.131	0.300	0.199	0.140	0.083	0.073
2017	0.099	0.150	0.201	0.179	0.213	0.102	0.069	0.056	0.052	0.081	0.078	0.089
2018	0.102	0.108	0.109	0.122	0.123	0.057	0.063	0.080	0.066	0.076	0.098	0.109

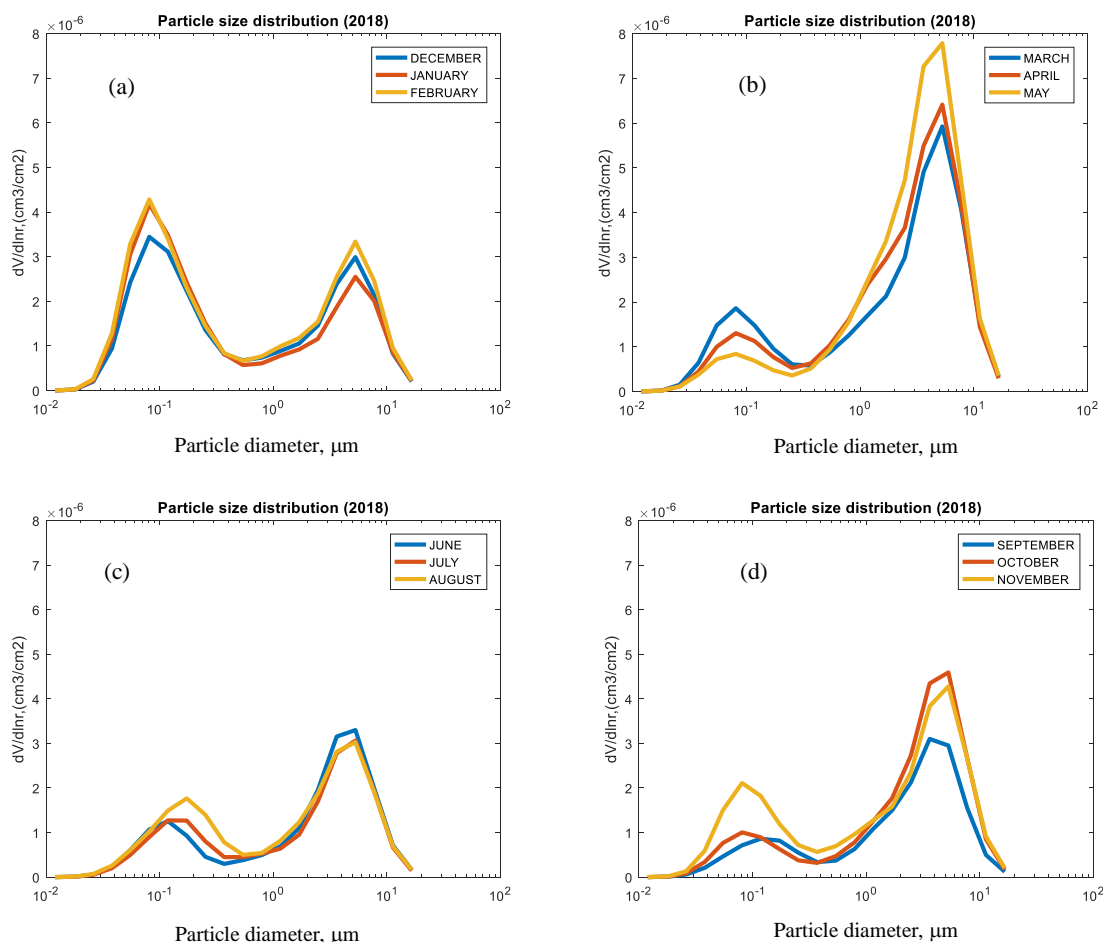
Б. Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт

Агаар мандал дахь аэрозолын диаметр маш өргөн мужид өөрчлөгдөх хэдхэн нанометрээс 100 μm хүртэл хэмжээтэй байдаг. Олон улсын стандартаар аэрозолын диаметр $d < 2.5\mu\text{m}$ бол нарийн ширхэгт, $d \geq 2.5\mu\text{m}$ бол том ширхэгт аэрозол хэмээн нэрлэдэг [5].

Улаанбаатар хотын агаарын бохирдлын гол үүсгэгчид болох биомасс шатаасны улмаас үүсэх утаа нь нарийн ширхэгт аэрозолын бүлэгт

хамаарна. Харин хаврын улиралд дэгдэх хүчтэй шороон шуурганаас үүсэх тоосонцор, зуны улиралд агаар мандалд үүсэх усан дуслууд нь том ширхэгт аэрозолын бүлэгт ангилагддаг.

Аэрозолын хэмжээний түгэлтийг $dV/d\ln(r)$ параметрээр үнэлэх ба энэ нь тухайн нэгж эзэлхүүнд орших $\ln(r) - \text{ээс } \ln(r + dr)$ хүртэлх радиустай аэрозолын нийт эзэлхүүнээр илэрхийлэгдэнэ [6].



Зураг 3. Аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлт (Улаанбаатар станц, 2018 он).

Судалгааны ажлын хүрээнд РОМ-01 скайрадиометр ашиглан 10 минут тутамд гүйцэтгэсэн альмункантратын хэмжилтийн үр дүнгээр аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийг тодорхойллоо. Жишээ болгон 2018 оны хэмжилтийн үр дүнг ашиглан аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийн сарын дунжийг тооцоолон Зураг 3-д үзүүлээ.

Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард нарийн ширхэгт буюу ойролцоогоор 0.1 μm диаметртэй аэрозолын концентраци харьцангуй өндөр утгатай байна (Зураг 3.a). Энэхүү онцлог нь гэр хорооллын халаалтаас үүссэн утаа, агаарын бохирдолтой холбон тайлбарлагдах боломжтой. Энэ улиралд агаар мандал дахь том ширхэгт аэрозолын концентраци бусад улирлынхаас харьцангуй бага хэмжээтэй байгаа нь газрын гадаргуу цасан бүрхүүлээр хучигдсан байдагтай холбогдоно.

Хаврын улирал (III, IV, V сар)-д нарийн ширхэгт аэрозолын дундаж концентраци багасч байгаа бол том ширхэгт буюу 10 μm орчим диаметртэй аэрозолын хувь хэмжээ огцом нэмэгдсэн байна (Зураг 3.b). Хаврын улиралд давтамж нь нэмэгддэг хүчтэй салхи, шороон шуурга нь том ширхэгт аэрозолын концентраци нэмэгдэх үндсэн шалтгаан болж байна. Зун болон намрын улиралд агаар мандал дахь нарийн ширхэгт аэрозолын концентраци өвлийн улирлынхаас бага, харин том ширхэгт аэрозолын концентраци хаврын улирлынхаас бага хэмжээтэй байна (Зураг 3.c, 3.d)

IV. ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажлын хүрээнд 2015-2018 онд Улаанбаатар станцад хийгдсэн агаар мандлын оптик хэмжилтийн үр дүнг боловсруулж, агаарын бохирдлын гол илтгэгчид болох аэрозолын спектрал оптик зузаан болон аэрозолын эзэлхүүн түгэлтийн сарын дунджуудыг тодорхойлж, өөрчлөлт хувьслын зүй тогтлыг үнэлсний дүнд дараахь ерөнхий дүгнэлтүүдийг хийж байна. Үүнд:

- АОЗ-ы жилийн явц нь тухайн жилд тохиолдсон, агаар мандлын оптик төлөвт нөлөөлөхүйц, байгалийн онцлог үзэгдлүүдийн зүй тогтлыг үнэлэх боломж олгож байна. 1020 нм-ийн долгионы уртад тодорхойлогдсон АОЗ нь жилийн туршид

харьцангуйгаар өөрчлөлт багатай байгаа бол богино долгионы урт буюу 400 нм, 500 нм-т харгалзах АОЗ-ууд агаарын бохирдол үүсгэгч байгалийн болон нийгмийн гаралтай хүчин зүйлсийн өөрчлөлт хувьслыг илэрхийлэх гол параметрээр ашиглагдах боломжтой. Судалгааны ажлын хамрах хугацаанд тодорхойлсон АОЗ-ы сарын дундаж утга нь (Хүснэгт 1) агаарын бохирдол, уур амьсгалын өөрчлөлтийн судалгааны тулгуур мэдээлэл болох боломжтой.

- Сар тус бүрд тооцоолон гаргасан аэрозолын хэмжээгээр түгэх түгэлтийн зүй тогтол улирлын онцлогийг сайн тусган харуулж байна. Өвлийн улирал буюу XII, I, II сард гэр хорооллын халаалтаас үүссэн утаа, агаарын бохирдлоос шалтгаалан нарийн ширхэгт аэрозолын концентраци харьцангуй өндөр утгатай тодорхойлогдож байна. Хаврын улиралд том ширхэгт аэрозолын концентраци огцом нэмэгдэж байгаа нь Монгол орны цаг уурын онцлог байдалтай нягт уялдаж байна.

ТАЛАРХАЛ

МУИС-ийн Геологи, Геофизикийн тэнхимд 2015-2017 онд ШУТСангийн санхүүжилттэй хэрэгжсэн “Улаанбаатар хотын агаар мандал дахь аэрозолын оптик үзүүлэлтийн судалгаа” сэдэвт, SSI_012/2015 дугаартай суурь судалгааны төслийн хүрээнд хийгдсэн болно.

НОМ ЗҮЙ

- [1] T.Takamura, P.Khatri, B.J.Sohn, N.Tugsuren, B.Thana, M.Campanelli and G.Padithurai, “Aerosol optical properties and aerosol direct effect over typical sites of SKYNET network”, ICCASR 2013.
- [2] R.M.Goody, Y.L.Yung, Atmospheric Radiation, 2nd ed., Oxford Univ. Press, 1989
- [3] John M.Wallace, Peter V.Hobbs, Atmospheric science, 2nd ed., Elsevier, 2006
- [4] Б.Ганбат, Ц.Баатарчулуун, Т.Нарангарав, Б.Даариймаа, Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын бохирдлын оптик параметруудийг өвлийн улиралд болон түймрийн утаатай байх хугацаанд харьцуулан судалсан дүн, Физик сэтгүүл 24 (468), 2017

- [5] Deepak, A. Atmospheric Aerosols, Spectrum Press, Hampton, 1982
- [6] K.Willeke, K. T. Whitby, Atmospheric Aerosols: Size Distribution Interpretation, Journal of the Air Pollution Control Association, 25:5, 529-534, (1975)
DOI: [10.1080/00022470.1975.10470110](https://doi.org/10.1080/00022470.1975.10470110)