

ARTICLES

МОНГОЛЫН ГОВЬД АЖИГЛАГДСАН ШОРООН ШУУРГАНЫ
ҮЕИЙН ТООСНЫ БОСОО УРСГАЛЫГ ҮНЭЛСЭН НЬ

Д.Жүгдэр*

Ус, цаг уур, орчны судалгаа мэдээллийн хүрээлэн, Монгол улс

Хүлээн авсан: 2018.03.30; Хянасан: 2018.05.25; Хэвлэгдсэн: 2018.06.06

ХУРААНГУЙ

Монголын говийн нутагт орших Өмнөговийн Номгон харуулын хаашаанд цаг уурын болон тоосны мониторингийн 20 м өндөр цамхагийг 2010 онд босгосон бөгөөд уг цамхагт салхи хэмжих багажийг газрын гадаргаас дээш 2, 4, 10, 20 м, салхины зүг хэмжигчийг 10 м, турбулент урсгал хэмжих соник анемометрийг 8 м-ийн өндөрт, хөрсний чийг хэмжигчийг 5 см-ийн гүнд тус тус байрлуулсан юм. Хаврын улирлын нэг удаагийн шороон шуурганы үед нэмэлт хэмжилт хийх хугацааг урьдчилан товлож хоёр ширхэг "Dust Trak" багажийг цамхагт байрлуулан PM_{10} тоосны агууламжийг хэмжих зорилт тавьсан. 2016 оны 4 дүгээр сарын 30-ны өдрөөс 5 дугаар сарын 1-ний өдрүүдэд шороон шуурга ажиглагдах урьдчилсан тооцоонд үндэслэн Dust-Trak зөөврийн хоёр багажийг 0.9 болон 2.95 м-ийн өндөрт байрлуулж агаар дахь PM_{10} тоосны агууламжийн хэмжилт хийсэн.

Энэхүү судалгаанд 2 ба 10 м-ийн түвшний салхины хурд, зүг чиг, 8 м-ийн түвшний салхины хурдны байгуулагчид, 5 см гүний хөрсний чийгийн мэдээ, дээр дурьдсан хоёр түвшний тоосны агууламжийн мэдээг ашигласан. Эдгээр мэдээг Номгон харуул дээр үрэлтийн хурд болон тоосны босоо урсгалыг үнэлэхэд ашиглав.

Тухайн өдрүүдэд манай орны нутаг дээгүүр дайран шилжсэн бага даралтын орон, газар орчмын циклон, түүний фронтын системийн нөлөөгөөр говийн нутагт шороон шуурга ажиглагдсан байна. Энэ шороон шуурганы үед агаар, хөрс хуурай байсан бөгөөд салхины хурд ихэссэнээс PM_{10} тоосны агууламж ихэссэн байна. Энэхүү судалгаагаар Монголын говь, цөлийн бүс нутагт орших Номгон харуулын орчинд салхины үрэлтийн хурд (u_*) болон тоосны босоо урсгалыг градиентийн аргаар тооцоолох зорилт тавьж, үр дүнг энэхүү өгүүлэлд толилуулсан болно.

Түлхүүр үгс: Говь; цөл; шороон шуурга; PM_{10} тоосны агууламж; салхины үрэлтийн хурд; тоосны босоо урсгал;

*corresponding author: jugder12@gmail.com



The Author(s). 2018 Open access This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made.

ОРШИЛ

Газар тариалан, зам, барилга, уул уурхайн үйл ажиллагаанаас үүсэх тоос, говь цөлийн хүний нөлөө багатай газар нутгийн хөрснөөс салхиар дэгдэх тоос нь тоосны дэгдэлтийн гол эх үүсвэрт орно. Жилд 2000 тонн тоос агаарт дэгдэж, түүний 75% нь хуурай газарт, 25% нь далай тэнгист унадаг байна [14]. Агаарт хөөрсөн тоос агаар мандлын физик, химийн, дэлхийн биологи, геологийн процесст тодорхой үүрэг гүйцэтгэдэг [14].

Агаарт хөөрсөн 20 микрометрээс бага голчтой тоос (PM_{20}) агаарын урсгалаар алсад зөөгдөн салхин доод талд орших бүс нутагт унаж тоосны уналт явагдана [13, 15]. Арай жижиг ширхэгтэй 10 микрометр түүнээс бага голчтой тоос (PM_{10}) хүний эрүүл мэндэд сөрөг нөлөөтэй [2]. Иймд нарийн ширхэгт тоос, түүний дэгдэлтийн процесс, ялгарлын зэрэг, тоосны дэгдэх урсгалыг үнэлэхэд онолын болон хэмжилт, туршилтын аргуудыг хэрэглэж байна. Бодит хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн тоосны дэгдэлтийг үнэлэх нь энэ процессийг ойлгох, загварын үр дүнг баталгаажуулахад ач холбогдолтой [10]. Тоосны ялгарлын зэрэг бол газрын гадаргуугийн тоосны босоо чиглэл дэхь массын урсгал юм. Тоосны ялгарлын зэргийг тодорхойлох нь хоёр талын ач холбогдолтой. Нэгдүгээрт, тоосны дэгдэлт/ялгарал нь эрдэслэг шим тэжээлт тоосны эргэлтийн гол бүрэлдэхүүн хэсэг болно. Тоосны нарийн ширхэгүүд турбулент хөдөлгөөнөөр агаар мандалд хөөрч, салхиар алсад зөөгдөн газрын гадаргуу дээр дахин унана. Энэ процесс нь эх үүсвэр нутагт нарийн ширхэгт тоосны салхины элэгдлийг буй болгоно. Харин шим тэжээллэг шороо, органик бодисоор баялаг газар тариалангийн талбай бүхий нутагт өнгөн хөрсний эгэл хэсгийн элэгдэл нь газрын доройтлыг буй болгоно. Эрдэс

тоос нь далай тэнгисийн шим тэжээлийн нэгэн тэтгэгч юм. Хоёрдугаарт, салхины элэгдлээр үүсэх тоос нь агаар мандлын аэрозолын гол эх үүсвэрийн нэг юм. Агаар мандлын аэрозол бол уур амьсгал, цаг агаар, агаарын чанарт тодорхой нөлөө үзүүлнэ. Тоосны ялгарлын зэргийг үнэлэн тооцоолохгүйгээр агаар мандал дахь аэрозолын агууламжийг тооцоолох боломжгүй. Энэ нь тоосны дэгдэлтийн загварт чухал үзүүлэлт юм. Иймээс энэ хоёрыг тодорхойлох нь хөрс хамгаалах, агаар мандлын судалгаанд аль алинд нь ач холбогдолтой [13].

Тоосны дэгдэх урсгал нь олон хүчин зүйлээс хамаарна, тухайлбал, агаар мандлын нөхцөл, хөрсний шинж байдал, газрын гадаргуугийн онцлог гэх мэт. Салхины хурд (U), үрэлтийн хурд (u_*) зэрэг нь тодорхой босго утгаас давах ($u_* > u_*$ эсвэл $u > u_*$) нь тоосны дэгдэлтийн орлуулах тооцоонд (parametrization) гол үүрэг гүйцэтгэнэ [4, 5, 9, 16, 17, 18].

Энэ судалгаагаар манай орны говийн нутгийн хөрснөөс салхиар дэгдэх тоосны ялгарлын процессыг судлах зорилгоор Өмнөговийн Номгон сумд хээрийн хэмжилт хийх, тус сумд суурилуулсан тоног төхөөрөмжүүдийн байнгын хэмжилтийн мэдээнд үндэслэн тоосны босоо урсгалыг үнэлэх зорилт тавьсан. Тоосны ялгарлын зэргийг тодорхойлох нь 1) уур амьсгал, цаг агаар, агаарын чанарт тодорхой нөлөө үзүүлэх агаар мандлын аэрозол, нарийн ширхэгт тоосны салхины элэгдлийн тооцоо, түүний алсын зайд зөөгдөх тооцоо, хөрсний эгэл хэсгийн газрын доройтлыг үнэлэх тооцоо судалгаанд ашиглагдах бөгөөд 2) агаар мандал дахь аэрозолын агууламжийг тооцоолох тоосны дэгдэлтийн загварт чухал ач холбогдолтой үзүүлэлт юм.

СУДАЛГААНД АШИГЛАСАН МЭДЭЭ

Энэхүү судалгааны ажилд Монгол орны говийн нутагт орших Өмнөговийн Номгон (42.84°N, 105.1°E) цаг уурын харуулын 20 м өндөр цамхагт суурилуулсан автомат багажуудаар 2016 онд хэмжсэн салхины зүг хурд, тунадас, температур, агаарын чийг, хөрсний чийгийн өдөр бүрийн цаг тутмын мэдээг ашиглав (Хүснэгт 1). Цамхагийн фото зураг болон цамхагт суурилуулсан автомат багажуудын схемийг Зураг 1-д үзүүлэв.

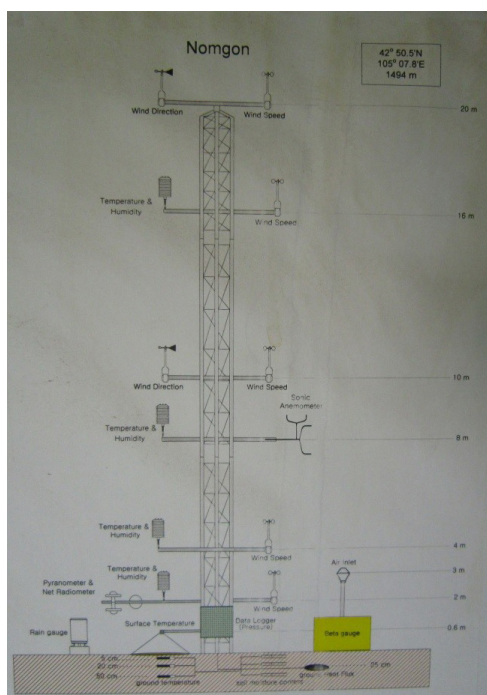
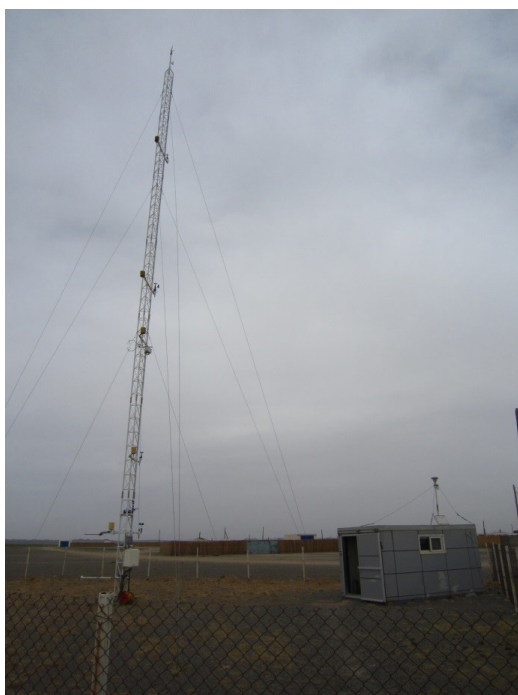
Хээрийн хэмжилтийн мэдээ

Ус цаг уур, орчны судалгаа, мэдээллийн хүрээлэнгийн дотоод төслийн санхүүжилтээр хээрийн хэмжилт судалгааны ажлыг Өмнөговь аймгийн Номгон сумд 2016 оны 4 дүгээр сарын 28-

ны өдрөөс 5 дугаар сарын 1-ний өдрүүдэд ажиглагдсан шороон шуурганы үед хийж гүйцэтгэсэн.

Хээрийн хэмжилтээр энэхүү нэг удаагийн шороон шуурганы үеийн PM_{10} , $PM_{2.5}$, PM_{10} тоосны агууламжийг 0.9 ба 2.95 м түвшинд Dust Trak-8533 багажаар хэмжив (Зураг 2). Энэхүү 2 өдрийн хэмжилтийн мэдээнээс PM_{10} тоосны агууламжийг судалгаандаа ашиглав.

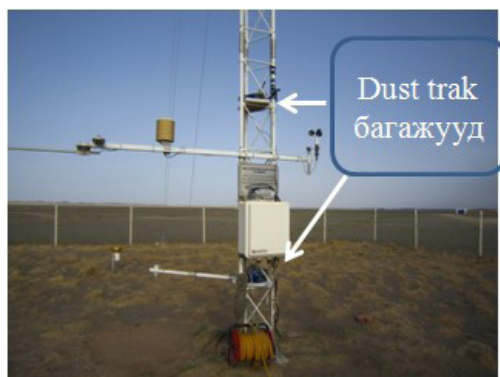
PM_{10} тоосны агууламжийн хэмжилт хийхийн өмнө 2 багажид “тэглэх шалгалт” хийв. Мөн багажуудын хэмжилтийг харьцуулан засварын коэффициент гаргаж авах зорилгоор Dust Trak-8533 зөөврийн 2 багажийг 0.9 ба 2.95 м-ийн өндөрт тус тус суурилуулан, ижил түвшний хэмжилт хийв.



Зураг 1. Өмнөговийн Номгон цаг уурын харуулын цамхагийн фото зураг болон цамхагт суурилуулсан автомат багажуудын схем

Хүснэгт 1. Өмнөговийн Номгон цаг уурын харуул дахь хэмжилтийн багажууд, мэдээний төрөл

Мэдээ	Багажийн загвар, үйлдвэрлэгч	Хэмжилтийн хязгаар	Хэмжилтийн өндөр, гүн
Мэдээ хураагуур	CR3000 (Campbell)		1.5 м
Агаарын температур, чийг	HMP45A or C (Vaisala)	-40 ~ 60°C 0.8 ~ 100%	2 м, 4 м, 8 м, 16 м
Салхины хурд	03101 (Campbell)	0 ~ 60 м с ⁻¹	2 м, 4 м, 10 м, 20 м
Салхины зүг	03001 (Campbell)	0 ~ 360 градус	20 м
Хөрсний гүний температур	107 (Campbell)	-35 ~ 50°C	5, 20, 50 см гүн
Хөрсний чийг	CS615 (Campbell)	0 ~ 1 v/v	5, 20, 50 см гүн
Агаарын даралт	PTB101 or PTB110 (Vaisala)	500 ~ 1100 гПа	2 м
Тунадас	TE525mm (Texas Electronics)	0.1 мм	Газрын гадарга
Турбулент урсгал	CSAT (Campbell)	-30 ~ 30 м с ⁻¹	8 м
Тоосны агууламж (PM ₁₀)	Dust trak-8533	0 ~ 5000 мг м ⁻³	0.9 ба 2.95 м



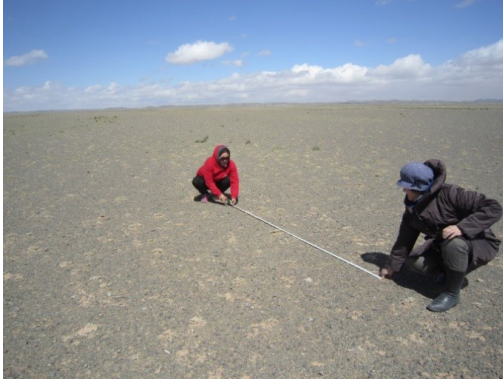
Зураг 2. Агаар дахь тоос хэмжигч Dust Trak-8533 багаж, түүнийг цамхагт байрлуулсан байдал

Хөрс, ургамлын байдал

Тухайн шороон шуурганы үед Өмнөговь аймгийн Номгон сумын цаг уурын харуулын орчны хөрс, ургамлын байдал, орчны судалгаа (орчны саад бартаа, өвс, ургамал, хөрсний хайрган бүрхүүл, г.м) хийв. Орчны хөрс, ургамлын байдлыг тодруулахын тулд 2.6x2.6м хэмжээтэй талбайд ургамлын ургалт, нягт, сийрэг байдлын хэмжилт хийж, хөрсний гадаргын байдлын фотозургийг авсан (Зураг 3) бөгөөд харуулын орчны бартаа саадыг 4

зүг, 8 зовхисоор гаргасан.

Харуулын салхин дээд талын хөндий болон орчны хөрс нь нимгэн хайрган бүрхүүлтэй, түүний доор нунтаг сул шороотой (Зураг 3), ургамлын хувьд 2016 оны 4 дүгээр сарын 29-30-ны байдлаар ахар навчит баглуур сийрэг ургаж эхэлсэн, хоорондын зай нь хол 1-5 м байв (Зураг 3). Харуулын хашаан дотор говийн хялганы хагд өвс, түүний үндэс байсан бөгөөд тэр нь сийрэгдүү, үндэс хоорондоо 30-50 см зайтай байв (Зураг 3).



Зураг 3. Өмнөговийн Номгон цаг уурын харуулын орчин, салхин дээд талын хөрс, ургамлын байдал

МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

Мэдээний дүн шинжилгээний арга зүй

Судалгаанд мэдээ боловсруулалтын статистик аргууд ашиглан мэдээнд дүн шинжилгээ хийв. Dust trak-8533 загварын

2 багажийн хэмжилт PM_{10} -ын хувьд нилээд зөрөөтэй байсан тул 2 багажийн хэмжилтийн зөрөөний дунжийг 0.9 м, 2.95 м өндөр тус бүрд дараах томъёогоор гаргав:

$$PM_{10mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta PM_{10i} = \frac{1}{n} (\Delta PM_1 + \Delta PM_2 + \dots + \Delta PM_n) \tag{1}$$

энд ΔPM_{10mean} нь PM_{10} -ын агууламжийн 2 багажийн хэмжилтийн зөрөөний дундаж, n бол PM_{10} -ын агууламжийн хэмжилтийн тоо, ΔPM_{10i} бол 2 багажийн i дүгээр хэмжилтийн PM_{10} -ын агууламжийн зөрөө.

хэмжилтийг харьцуулан алдааг үнэлэх, аль нэг багажийн заалтад засвар хийх шаардлагатай. Иймд хоёр өөр багажаар хэмжсэн утгын зөрөөний стандарт хазайлт (с эсвэл SD), стандарт алдааг (SEM) дараах томъёогоор тодорхойлно:

Хэрэв багажууд адил түвшинд нэг орчинд ялгаатай хэмжиж байвал

$$\sigma = SD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}} \tag{2}$$

$$SEM = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \tag{3}$$

Энд $x - PM_{10}$ тоосны агууламжийн хэмжсэн утга, $\bar{x} - PM_{10}$ тоосны агууламжийн дундаж утга, N бол тохиолдлын тоо.

Үрэлтийн хурд, u_* -ыг тооцоолох арга зүй

Салхины үрэлтийн хурдыг дараах томъёогоор тооцоолно:

$$u_* = \sqrt[4]{w'u'^2 + w'v'^2} \tag{4}$$

энд: u_* нь үрэлтийн хурд бөгөөд газрын гадаргын давхаргад тогтмол байна. u', v', w' - харгалзан x, y, z тэнхлэгийн дагуух турбулент салхины хурдны байгуулагачид

(8 м түвшинд хэмжсэн) $\overline{u'w'} - u', w'$ - хоорондын ковариаци $\overline{v'w'} - v', w'$ - хоорондын ковариаци

Тоосны босоо урсгалыг тооцоолох арга зүй

Тоосны босоо урсгалыг PM_{10} тоосны хувьд градиентийн хэмжилтийн аргаар олохдоо дараах томъёог ашиглав [4, 11, 12, 15,19]. Үүнд:

$$F = -K_z \frac{dC}{dz} \tag{5}$$

энд, F - тоосны босоо урсгал ($мг м^{-2} с^{-1}$), dC нь өөр өөр өндөрт хэмжсэн PM_{10} тоосны агууламж ($мг м^{-3}$)–ийн зөрөө, dz нь өндрийн зөрөө (м), $K_z - z$ өндөр дэх босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчил (vertical eddy diffusivity) ($м^2 с^{-1}$), үүнийг дараах томъёогоор олно:

$$K_z = \frac{k(z-d)u_*}{\phi_h} \tag{6}$$

энд, k - Вон Карманы тогтмол, нэгжгүй u_* - салхины үрэлтийн хурд ($м с^{-1}$) d - салхины шилжлэгийн тэглэх хавтгайн өндөр (м) ϕ_h - дулааны босоо чиглэлийн функц, хэмжээсгүй, үүнийг агаарын тогтворгүй

давхраашлын үед $\phi_h = (1-15z/L)^{-1/2}$ гэж олох бөгөөд агаарын тогтвортой давхрашилд $\phi_h = (1+15z/L)^{-1/2}$ гэж олно. Энд L нь Монин-Обуховын уртын хэмжээс бөгөөд дараах томъёогоор олно:

$$L = -\frac{\bar{T}u_*^3}{k g \overline{w'T'}} \tag{7}$$

энд, \bar{T} нь агаарын дундаж температур, Кельвины хуваариар (К), g -хүндийн хүчний хурдатгал ($м с^{-2}$).

Тоосны босоо урсгал нь салхины үрэлтийн хурдтай зэрэгт функцийн хамааралтай [1, 5] бөгөөд хамаарлын функцийг доор үзүүлэв:

$$F = a \cdot u_*^n \tag{8}$$

энд, F - тоосны босоо урсгал ($мг м^{-2} с^{-1}$), нь коэффициент, u_* - салхины үрэлтийн хурд ($м с^{-1}$), n - функцийн зэрэг, энэ нь 3-7 гэсэн утга авч болно [1].

ҮР ДҮН

Хэмжилтийн мэдээний дүн шинжилгээ

Хоёр багаж хэр зэрэг зөрөөтэй хэмжиж байгааг шалгахын тулд Номгон сумын цаг уурын цамхагт эхлээд 2016 оны 5 дугаар сарын 1-ний өдөр 2.95 м-ийн өндөрт 2 багажийг зэрэгцүүлэн байрлуулж 1 цаг 30 минутын турш 1 минутын зайтай шалгалтын хэмжилт хийв. Хэмжилтийн

өндөр тус бүрт хоёр багажийн хэмжилтийн зөрөөний статистик үзүүлэлтүүдийг $PM_1, PM_{2.5}, PM_4, PM_{10}$ тус бүрийн хувьд гаргахад дундаж нь 2.95 м-ийн түвшинд харгалзан 0.00615, 0.00725, 0.00856, 0.0104 $мг м^{-3}$ байв (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Газрын гадаргаас дээш 2.95 м-ийн өндөрт 2 багажаар хэмжсэн тоосны агууламжийн хэмжилтийн зөрөөний статистик үзүүлэлтүүд

Статистик үзүүлэлтүүд	2.95 м-ийн түвшний тоосны хэмжилтийн зөрөө			
	PM_1	$PM_{2.5}$	PM_4	PM_{10}
Дундаж (\bar{x})	0.00615	0.00725	0.00856	0.01040
Медиан	0.00100	0.00200	0.00300	0.00300
Стандарт хазайлт (σ)	0.0147	0.0157	0.0172	0.0217
Стандарт алдаа (SEM)	0.00156	0.00167	0.00182	0.00230
95% үнэмшлийн хязгаар	0.00310	0.00331	0.00363	0.00457
99% үнэмшлийн хязгаар	0.00410	0.00439	0.00480	0.00605
Хэмжилтийн тоо, минутаар	90	90	90	90

Багаж-1 болон Багаж-2-оор хэмжсэн PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_4 , PM_{10} утгын зөрөөний стандарт алдааг (3) томъёогоор тооцоолоход PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_4 -ийн хувьд 0.00156-0.00182, харин PM_{10} -ын хувьд 0.0023 гарав. Энэ стандарт алдаа нь 2 багажийн хэмжилтийн утгын сарнил, үнэн зөв байдлын нарийвчлалыг харуулахаас гадна Багаж-2-оор хэмжсэн утга нь Багаж-1-ээр хэмжсэн утгатай харьцуулахад хэр

бодит байгааг илэрхийлнэ. Эндээс хоёр багажийн хэмжилтийн зөрөөний дундаж PM_{10} -ын хувьд бусдаас их гарсан тул хоёр багажийн хэмжилтийн үр дүнг ойртуулах засвар хийх шаардлагатай гэж үзлээ.

PM_{10} -ын хувьд 2 багажийн хэмжилтийн зөрөөг багасгахын тулд тэдгээрийг адил түвшинд байрлуулан хийсэн хэмжилтийн утгуудыг харьцуулан засварын факторыг гаргаж үнэлэв. Үүнд:

$$Factor = \frac{PM_{10} (Bagaj 1dz)}{PM_{10} (Bagaj 2)} \tag{9}$$

Багаж-1-ийг 0.9 м өндөрт, Багаж-2-ийг 2.95 м-ийн өндөрт суурилуулж хэмжилт хийсэн тул 0.9 м түвшний хэмжилтэд засвар хийх шаардлагагүй гэж үзсэн.

Харин 2 багажийн хамаарлын тэгшитгэл нь 2.95 м-ийн өндөрт дараах хэлбэртэй гарав (Зураг 4):

$$Y = 0.6536 \cdot x + 0.0036 \tag{10}$$

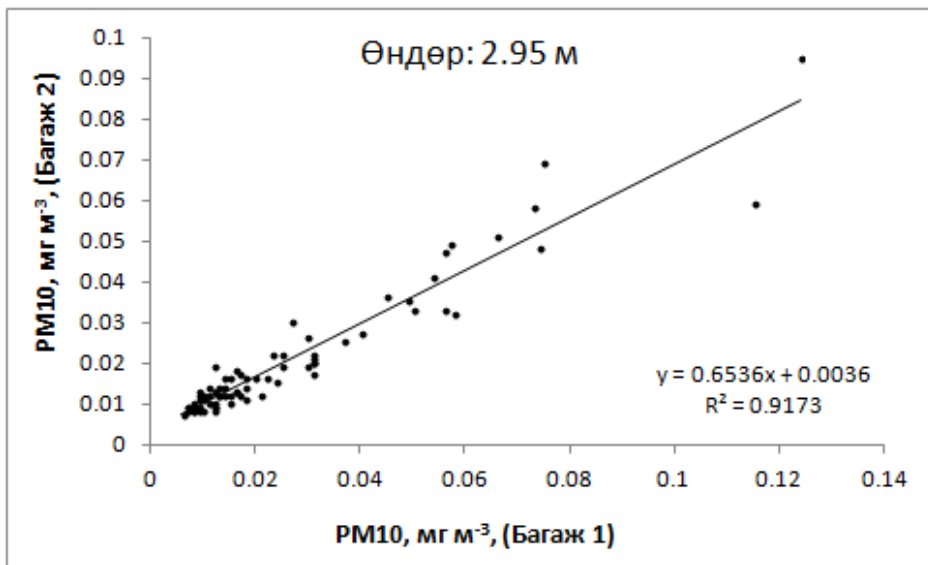
$$R^2 = 0.9173$$

Энд: Y – нь багаж 2-оор хэмжсэн PM_{10} тоосны агууламж, харин x – нь багаж-1 (dz)-ээр хэмжсэн PM_{10} тоосны агууламж.

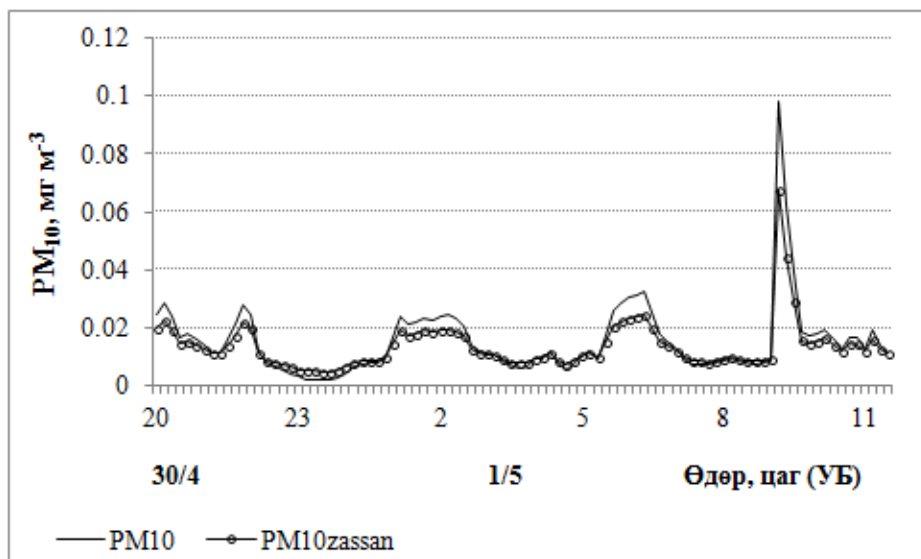
Сонгон судлаж буй шороон шуурганы үед газрын гадаргаас дээш 0.9 м-ийн өндөрт Багаж-1-ийг, 2.95 м өндөрт Багаж-2-ийг байрлуулж хэмжилт хийсэн. Бид Багаж-2-оор хэмжсэн тоосны агууламжид засвар хийх шаардлагатай гэж үзсэн.

Иймд газрын гадаргаас дээш 2.95 м

өндөрт Багаж-2-оор хэмжсэн PM_{10} тоосны агууламжид (10) тэгшитгэлээр засвар хийв (Зураг 5). Ингэж Багаж-2-оор 2.95 м өндөрт хэмжсэн тоосны агууламжийн засварласан утгыг гарган авч цаашдын тооцоо, судалгаанд ашиглав (Зураг 5). Засварласан утга нь PM_{10} -ын утга бага үед ялимгүй ихсэж, PM_{10} -ын утга ихэссэн үед ялимгүй багасаж гарч байна (Зураг 5).



Зураг 4. Газрын гадаргаас дээш 2.95 м өндөрт хоёр багажаар хэмжсэн тоосны агууламжийн шугаман хамаарал

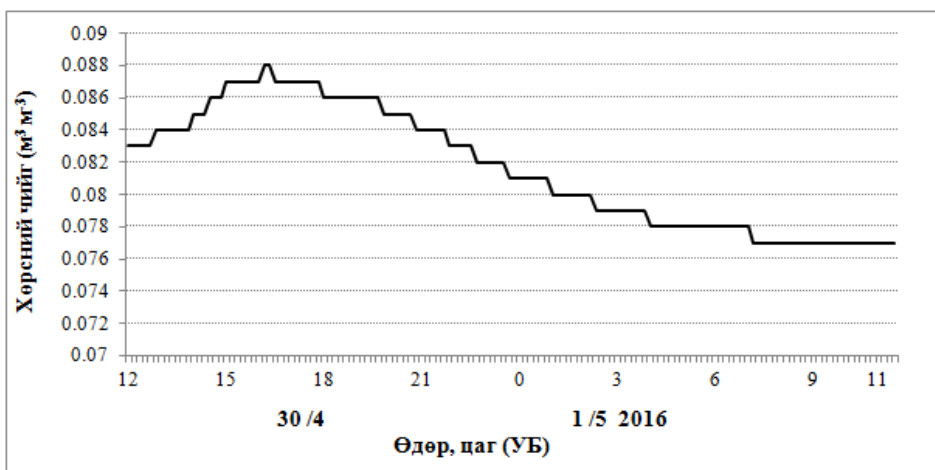


Зураг 5. Багажуудыг 2.95 м-ийн түвшинд байрлуулан хэмжсэн тоосны агууламжийн арван минутын дунджийн хэмжсэн ба засварласан утга

Шороон шуурганы үеийн цаг уурын үзүүлэлтүүд, тоосны агууламж

2016 оны 4 дүгээр сард Өмнөговь аймгийн Номгон сумын нутгаар хур тунадас ороогүй бөгөөд энэ нь хөрс хуурай байх гол нөхцөл байв (Цаг агаарын нөхцлийн тойм,

2016 оны 4 сар). Тухайн шороон шуурганы үеийн хэмжилтээр хөрсний чийг 7.7-8.8% байв (Зураг 6).

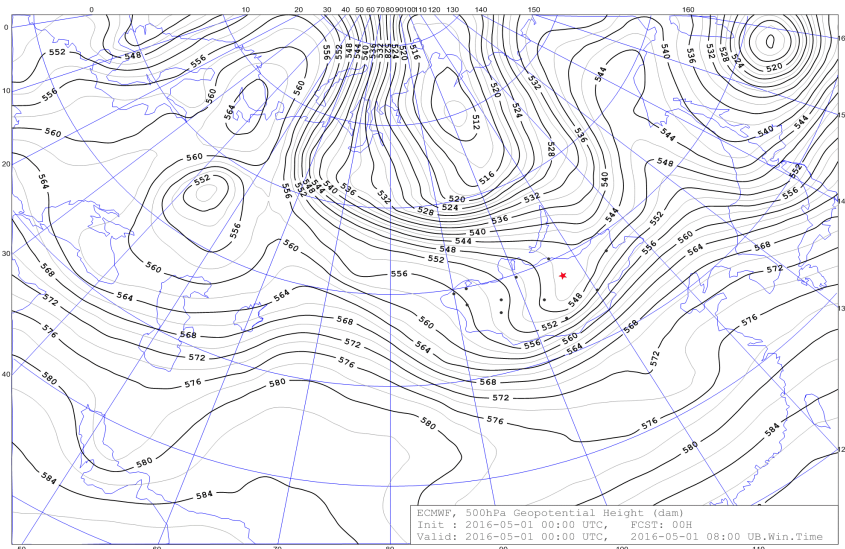


Зураг 6. Өмнөговь аймгийн Номгон сумын цамхагийн орчны өнгөн хөрсний чийг

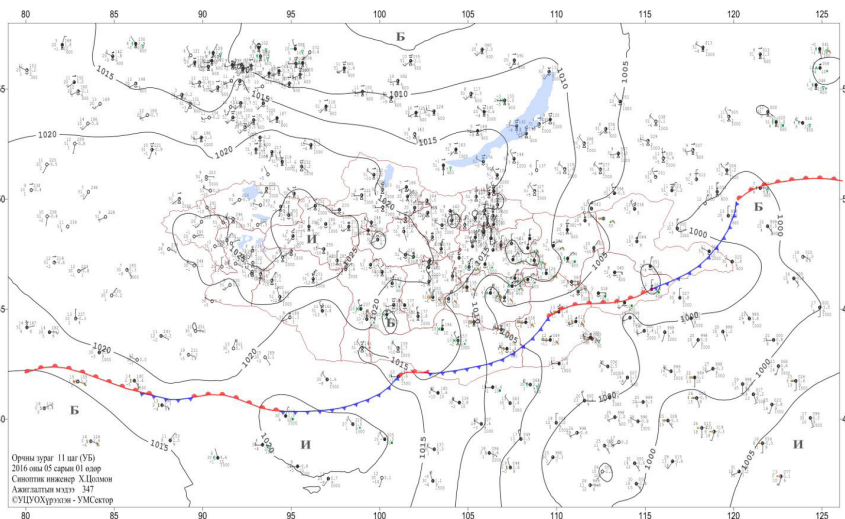
Синоптик нөхцөл

Тухайн шороон шуурганы үед манай орны нутаг дээгүүр бага даралтын орон, газар орчимд түрэлтийн эсрэг циклон бүхий циклон, түүнтэй холбоотой агаар мандлын фронт дайран шилжсэн байна (Зураг 7). Энэхүү бага даралтын орон, түүний фронтын системийн нөлөөгөөр говийн нутагт шороон шуурга ажиглагдсан байна (Зураг 7). 2016 оны 4 дүгээр сарын 30-ны өдрийн 14 цагийн цаг агаарын орчны зураг дээр циклоны төв Дундговийн хойд хэсэг дээр байрлаж, төвийн даралт нь 992 гПа болж буурсан, Номгон нь циклоны

дулаан секторт байв. Номгон харуул дээр хэмжсэн станцын түвшний агаарын даралт 4 дүгээр сарын 30-ны 15:40-18:40 цагт хамгийн бага 836 гПа болж буурсан байна. 2016 оны 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 11 цагийн цаг агаарын орчны зураг дээр циклоны төв Дорноговийн зүүн хойд хэсэг дээр байрлаж, төвийн даралт нь 1001.7 гПа болж өссөн байв (Зураг 8). Агаар мандлын хүйтэн фронт 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 08-11 цагийн үед Номгоныг дайран өнгөрсөн байна (Зураг 7 ба 8).



Зураг 7. 2016 оны 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 08 цагийн 500 гПа гадаргын өндрийн зураг



Зураг 8. 2016 оны 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 11 цагийн цаг агаарын орчны зураг

Цаг уурын үзүүлэлтүүд

Харьцангуй чийг (RH) 4 дүгээр сарын 30-ны өдрийн 13:50-16:30 цагт буурч 13.4-15.2%, ялангуяа, 15:50-16:20 цагт 13.4-14.0% болсон, 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 08:00-9:00 цагт 17.1-21.0%, 9:20-11:30 цагт 28.0-40.0% байсан нь шороон шуурганы үед агаар хуурай байсныг харуулж байна (Зураг 9).

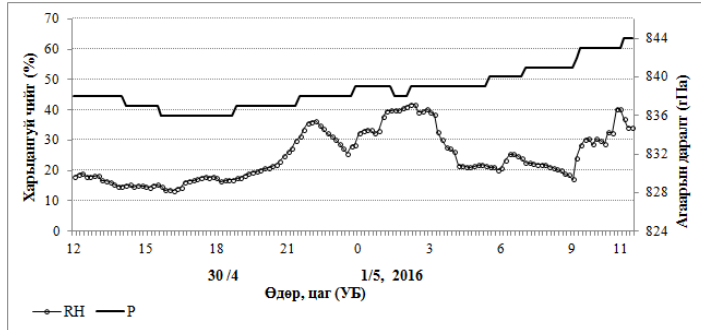
Салхины хурд ихсэж 4 дүгээр сарын 30-ны өдрийн 16:00-19:00 цагт $15-17 \text{ мс}^{-1}$, 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 8:20-11:30 цагт $11-13 \text{ мс}^{-1}$ байв (Зураг 10).

Алсын бараа харагдац 5 дугаар сарын 1-ний 11 цагийн нүдэн баримжааны ажиглалтаар 20 км хүрч буурсан байна.

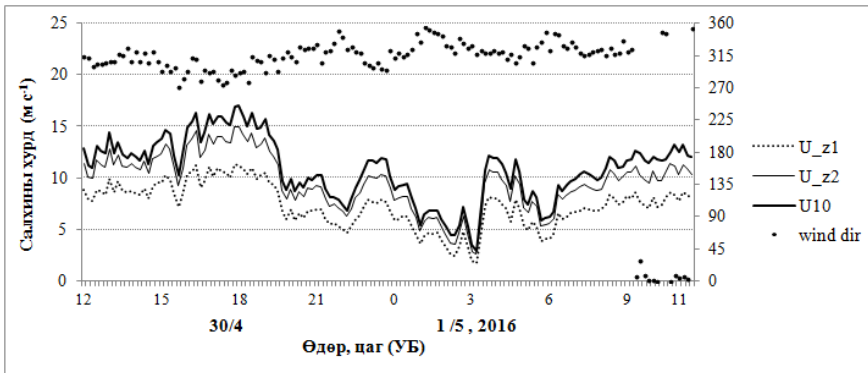
Тоосны агууламж (PM_{10})

Газрын гадаргаас дээш 0.9 болон 2.95 м-ийн өндөрт хэмжсэн PM_{10} - тоосны агууламж 4 дүгээр сарын 30-ны өдрийн

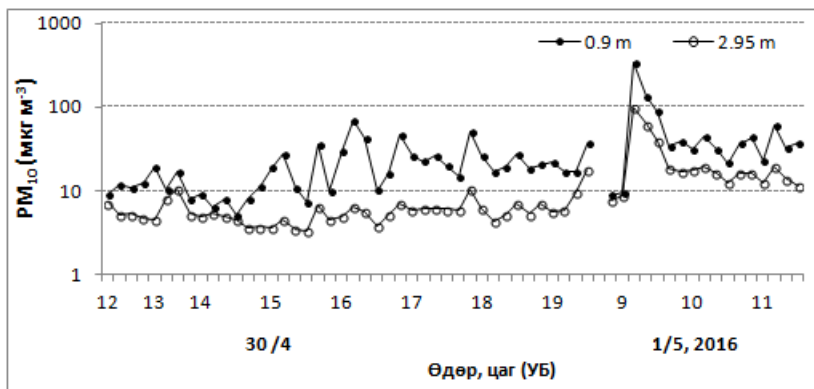
3:40-5:50 цагт $26-70 \text{ мкг м}^{-3}$, 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 9:10-11:30 цагт $88-338 \text{ мкг м}^{-3}$ болж ихэссэн байна (Зураг 11, 12).



Зураг 9. Агаарын даралт (P, гПа) ба харьцангуй чийг (RH, %)



Зураг 10. Салхины зүг, хурд, Тайлбар: U_{z1} , U_{z2} , U_{10} - газрын гадаргаас дээш харгалзан 0.9, 2.95, 10 м-ийн өндөрт хэмжсэн салхины хурд (мс^{-1}); $wind\ dir$ -10 м-ийн өндөрт хэмжсэн салхины зүг (градус)



Зураг 11. Газрын гадаргаас дээш 0.9 болон 2.95 м-ийн өндөрт хэмжсэн тоосны агууламж (мкг м^{-3})



Зураг 12. 2016 оны 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн шороон шуурга

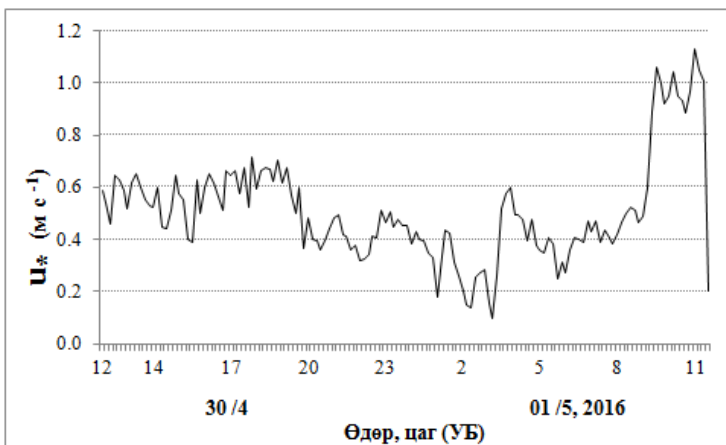
Тоосны дэгдэлтийн үнэлгээ

Салхины үрэлтийн хурд (u_*)-ны үнэлгээ

Номгон цаг уурын харуулын 20 м өндөр цамхагийн 8 м-ийн түвшинд байрлуулсан соник анемометрээр хэмжсэн x, y, z тэнхлэгийн дагуух турбулент салхины хурдны байгуулагчид (u, v, w), тэдгээрийн хоорондын ковариацийг ашиглан салхины үрэлтийн хурд (u_*)-ыг (4) томъёогоор

тооцоолов (Зураг 13).

Салхины үрэлтийн хурд (u_*) эхний өдрийн оройн 20:00 цагаас дараа өдрийн өглөөний 08:00 цагт $0.01-0.72 \text{ мс}^{-1}$ байснаа цаг хорин минутын дараанаас, өөрөөр хэлбэл, 09:20 цагаас 11:00 цагт $0.88-1.06 \text{ мс}^{-1}$ болж өссөн бөгөөд энэ үед хүчтэй шороон шуурга ажиглагдсан байна (Зураг 12 ба 13).



Зураг 13. Газрын гадаргаас дээш 8 м –ийн өндөрт тооцоолсон салхины үрэлтийн хурд (u^*) (мс^{-1})

Газрын гадаргаас дээш z өндөр дэх босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчлийг үнэлсэн нь

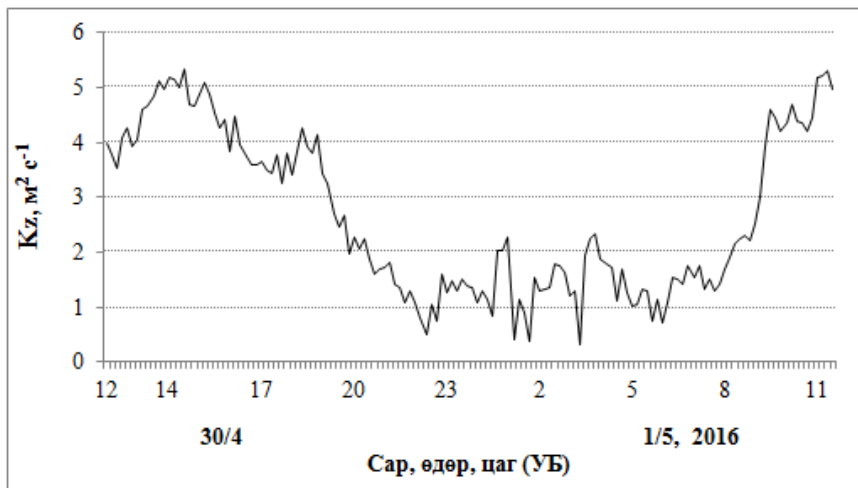
Монголын говь цөлийн бүс нутагт ургамлын нормчилсон ялгаврын индекс (NDVI) хаврын улиралд 0.24 – өөс бага байх бөгөөд ийм үед ургамлын ургалт

бага, ургамал тачир байх тул шороо босох нөхцөл буй болно гэдгийг судлаачид дүгнэсэн байдаг [6, 7]. Говь цөлийн бүс нутгийн төлөөлөл болох Өмнөговийн Номгоны орчны ургамлын байдал хээрийн хэмжилтийн үед ямар байсныг Зураг 3-д үзүүлсэн болно.

Энэ бүхнээс үзэхэд салхины шилжлэгийн тэглэх хавтгайн өндөр (d) –ийг тэг гэж үзэх үндэстэй тул босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчлийг 10 м-ийн өндөрт (6) томъёогоор тооцоолохдоо $d = 0$ гэж авсан болно.

Тухайн шороон шуурганы үед Өмнөговийн Номгон харуул дээр 8 м-ийн өндөрт (6) томъёогоор тооцоолсон z өндөр

дэх босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчил (K_z) $0.327 \sim 5.347 \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ утгатай гарсан (Зураг 14) бөгөөд өдрийн цагт их утгатай, шөнийн цагт бага утгатай байна (Зураг 14). Өмнөговийн Номгон харуул дээр z өндөр дэх босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчил (K_z) –ийн тооцоонд Монин-Обуховын уртын хэмжээсийг (7) томъёогоор тооцоолон ашиглав.



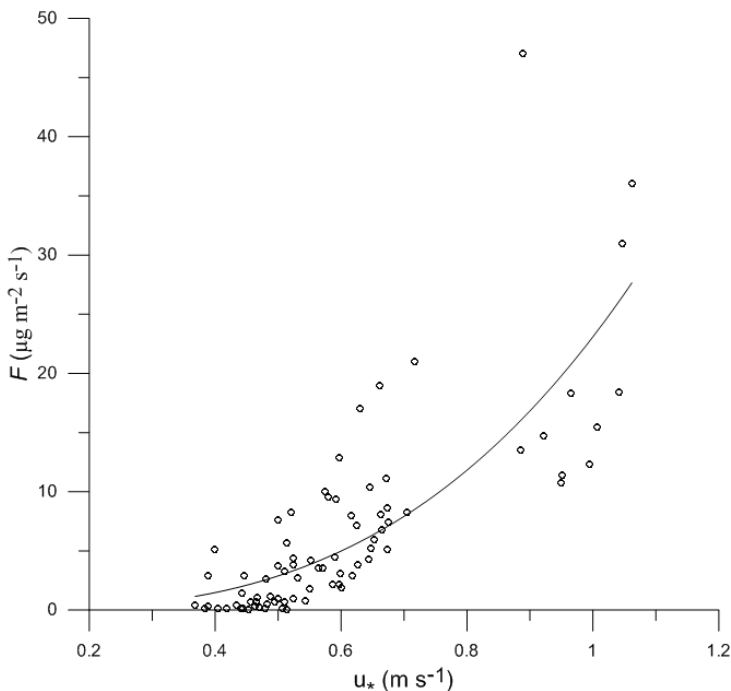
Зураг 14. Өмнөговийн Номгон харуул дээр тооцоолсон z өндөр дэх босоо чиглэлийн хуйлралын нэвчил K_z ($\text{м}^2 \text{ с}^{-1}$)

Тоосны босоо урсгалын үнэлгээ

Сонгон судлаж буй шороон шуурганы үед хэмжсэн тоосны градиентийн хэмжилтийн мэдээ, салхины 2 ба 10 метрийн өндрийн мэдээ, соник анемометрийн 8 м-ийн хэмжилтийн мэдээгээр арга зүйн хэсэгт үзүүлсэн (5) томъёогоор тоосны босоо урсгал (F)–ыг агаарын тогтворгүй нөхцөлд тооцоолов. Тоосны босоо урсгал (F)–ын утга $0.01538 \sim 47.0105 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ($0.00001538 \sim 0.0470105 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$)–ийн хооронд хэлбэлзэж байна. 5 дугаар сарын 1-ний өдрийн 9:20-11:30 цагт тоосны босоо урсгал (F) –ын утга хамгийн их болж $7.2062 \sim 47.0105 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ -д хүрсэн бөгөөд энэ хугацаанд салхины үрэлтийн хурд мөн хамгийн их утгаа авч $0.88 \sim 1.06 \text{ мс}^{-1}$ хүрч байв. Бидний тооцоолон олсон

тоосны босоо урсгал (F)–ын утга бусад судлаачдынхтэй жишихүйц хэмжээнд гарсан юм [3, 8, 11].

Арга зүйн хэсэгт үзүүлсэн (8) томъёонд үндэслэн салхины үрэлтийн хурд (u_*) болон тоосны босоо урсгал (F) хоорондын зэрэгт функцийн хамаарлыг олов (Зураг 15). Цувааны урт 79 үед салхины үрэлтийн хурд (u_*)–ны дундаж утга 0.60 мс^{-1} , тоосны босоо урсгал (F)–ын дундаж утга $6.6265 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ($0.0066265 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$), коэффициентийн утга 23.097476, хамаарлын коэффициент (R^2) хамгийн өндөр 0.576 гарав. Тухайлбал, тоосны босоо урсгал болон салхины үрэлтийн хурдны хамаарал $n=3$ үед (8) томъёогоор $F=23.097476 \cdot u_*^3$ хэлбэртэй гарч байна.



Зураг 15. Салхины үрэлтийн хурд (u_* , $мс^{-1}$) болон тоосны босоо урсгал (F , $мкгм^{-2}с^{-1}$)-ын хамаарал

ДҮГНЭЛТ

2016 оны хаврын нэг удаагийн шороон шуурганы үед Монголын говийн нутагт орших Өмнөговийн Номгонд цаг уурын үзүүлэлтүүдийн болон тоосны градиентийн хэмжилт хийж тоосны босоо урсгалыг градиентийн аргаар үнэлэв. Энэхүү судалгаанаас дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

2016 оны 4 дүгээр сарын 30-ны өдрөөс 5 дугаар сарын 1-ний өдрүүдэд манай орны нутаг дээгүүр дайран шилжсэн бага даралтын орон, газар орчмын циклон, түүний фронтын системийн нөлөөгөөр говийн нутагт шороон шуурга ажиглагдсан байна. Энэ шороон шуурганы үед агаар, хөрс хуурай, тухайлбал, агаар дахь харьцангуй чийг 13.4-21.0%, өнгөн хөрсний чийг 7.7-8.8% байсан бөгөөд салхины хурд

15-17 $мс^{-1}$, PM_{10} тоосны агууламж 88-338 $мкг м^{-3}$ хүрч ихэссэн байна.

5 дугаар сарын 1-ний өглөөний 09:20 цагаас 11:00 цагт Монголын говь, цөлийн бүс нутагт ажиглагдсан хүчтэй шороон шуурганы үед бидний сонгосон Номгоны орчинд салхины үрэлтийн хурд (u_*) 0.88-1.06 $мс^{-1}$ гарсан бөгөөд тоосны босоо урсгал 7.2062~47.0105 $мкг м^{-2}с^{-1}$ гарав. Бидний тооцоолон олсон тоосны босоо урсгал (F) –ын утга бусад судлаачдын гаргасан үр дүнтэй жишихүйц хэмжээнд гарч байна [3, 8, 11].

Талархал: Хээрийн хэмжилт судалгаа хийх боломжийг олгосон УЦУОСМХ-ийн захирлаар ажиллаж байсан ноён С.Хөдөлмөрт баярласнаа илэрхийлье.

HOM ЗҮЙ

1. Briant R., L. Menut, G. Siour, C. Prigent, 2014, Homogenized modeling of mineral dust emissions over Europe and Africa using the CHIMERE model, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, 7, p. 3441–3480.
2. Bartzokas A., P. Kassomenos, 2003, The Effect of Meteorological and Pollution Parameters on the Frequency of Hospital Admissions for Cardiovascular and Respiratory Problems in Athens, *Journal of Indoor Built Environ* 2003, 0:1–6.
3. Gillies J.A., W.G.Nickling, 1996, Dust concentration and particle-size characteristics of an intense dust haze event: Inland Delta region, Mali, West Africa, *Atmospheric Environment* Vol.30, No.7, pp.1081-1090.
4. Gillette, D.A., 1977, Fine particulate emissions due to wind erosion, *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, p.890– 897.
5. Gillette D.A., Passi R., 1988, Modeling dust emission caused by wind erosion. *Journal of Geophysical Research*. 93, p.14233-14242.
6. Jugder, D., M. Shinoda, R. Kimura, A.Batbold, D.Amarjargal, 2014, Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM10 (PM2.5) during dust events in Mongolia, *Journal of The Aeolian Research*, 14 (2014), p.3–13.
7. Kimura R., M.Shinoda, 2010, Spatial distribution of threshold wind speeds for dust outbreaks in northeast Asia. *Geomorphology*, Volume 114, Issue 3, p. 319-325.
8. Li X., H.Zhang, 2012, Seasonal variation in dust concentration and dust emission observed over Horqin Andy Land area in China from December 2010 to November 2011, *Atmospheric Environment*, 61 (2012), p. 56-65
9. Nickling W.G., Gillies, J.A., 1989. Emission of fine-grained particulates from desert soils, In: Leinen, M., Sarntheim, M. (Eds.), *Paleoclimatology and Paleometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*. Kluwer Academic Publishing, Dordrecht, pp. 133– 165.
10. Park M.S., S.U.Park, Y.S.Chun, 2011, Improved parameterization of dust emission (PM10) fluxes by the gradient method using the Naiman tower data at the Horqin desert in China, *Science of the Total Environment* 412-413 (2011), p.265–277
11. Park S.U., J.W.Ju, I.H.Lee, S.J.Joo, 2016, A parameterization of dust emission () fluxes of dust events observed at Naiman in Inner Mongolia using the monitored tower data, *J.Atmospheric Environment*, 140 (2016) 420-431.
12. Saxton K, D.Chandler, L.Stetler, B.Lamb, C.Claiborn, B.H.Lee, 2000, Wind erosion and fugitive dust fluxes on agricultural lands in the Pacific Northwest, *American Society of Agricultural Engineers*, Vol.43(3), 623-630.
13. Shao Y., 2008, *Physics and Modelling of Wind Erosion*, *Atmospheric and Oceanographic Sciences Library* Volume 37, 2009, pp 211-245.
14. Shao Y., K.H.Wyrwoll, A.Chappell, J.P. Huang, Z.Lin, G.H. McTainsh, M.Mikami, T.Y. Tanaka, X.Wang, S.C.Yoon, 2011, Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Research* 2 (2011) 181–204
15. Sow M., S. C. Alfaro, J. L. Rajot, B. Marticorena, 2009, Size resolved dust emission fluxes measured in Niger during 3 dust storms of the AMMA experiment, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 3881–3891, 2009
16. Stull R.B., 1988, *An introduction to boundary layer meteorology*, Kluwer Academic Publishers, Printed in Netherlands, pp.670.
17. Tegen I., I. Fung, 1995, Contribution to the mineral aerosol load from land surface modification, *J. Geophys. Res.*, 100, p.18707–18726.
18. Uno, I., Amano, H., Emori, S., Kinoshita, K., Matsui, I., Sugimoto, N., 2001, Trans-Pacific yellow sand transport observed in April 1998: a numerical simulation. *J.Geophys. Res.* 106 (D16), p.18331–18344.
19. Zhang H.S., H.Zhu, Y.Peng, L.Kang, J.Chen, S.U.Park, 2008, Experiment on Dust Flux During Duststorm Periods over Desert Area, *Acta Meteorol.Sin.*22(2), p.239-247.

ESTIMATION OF VERTICAL DUST EMISSION FLUX AT A SITE IN THE MONGOLIAN GOBI DURING A DUST STORM PERIOD

*Jugder D.**

*Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Mongolia
corresponding author, e-mail: jugder12@gmail.com

Abstract: A meteorological and dust monitoring tower with 20 m height set up at a Nomgon site in Umnugobi Aimag in the Mongolian Gobi in 2010. The Nomgon monitoring tower equipped with wind speed sensors at 2, 4, 10 and 20 m height above the ground level (AGL), a wind direction sensor at 10 m height, a sonic anemometer to measure turbulent momentum flux at 8 m height and a soil moisture sensor at 5 cm depth. We had a purpose to measure dust concentration of PM_{10} at two levels using Dust-Trak instruments during an intensive observation period (IOP) of a dust event in spring. A dust storm was expected in the Mongolian Gobi from 30 April to 1 May 2016 and two Dust-Traks were set at 0.9 and 2.95 m heights in the tower during this IOP for measuring PM_{10} .

Wind data at 2 and 10 m height, three wind components at 8 m height by a sonic anemometer, soil moisture (volumetric water content) data in 5 cm depth and dust concentrations of PM_{10} at two levels are used in this study. These data from the sensors and instruments in the tower were used for estimation friction velocity and vertical dust flux at the Nomgon site.

In association with a surface cyclone, its frontal system and a trough aloft, the expected dust storm occurred in the Mongolian Gobi during the IOP period. Dust concentrations of PM_{10} increased during the dust storm period due to raised wind speed in the dry conditions of air and soil. The present study aimed to estimate friction velocity (u_*) and vertical dust flux (F) around Nomgon site in the Mongolian Gobi desert during the dust storm period. The estimation results were presented in this paper.

Keywords: The Mongolian Gobi Desert; dust/sand storm; PM_{10} dust concentration; friction velocity; vertical eddy diffusivity; dust emission; vertical dust flux;