



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ

Газарзүйн Асуудлууд Сэтгүүл
Journal of Geographic Issues

Дугаар 20

ISSN 2312-8534

2020

Улаанбаатар хот

РЕДАКЦЫН ЗӨВЛӨЛ

Ерөнхий редактор:

Д.Амартүвшин

Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль

Цахим шуудан: a.dorjsuren@num.edu.mn

Хариуцлагатай редактор:

Д.Ганпүрэв

Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль

Цахим шуудан: ganpurev@num.edu.mn

Редакцын зөвлөлийн гишүүд:

Доктор, профессор В.Батцэнгэл

Монгол Улсын Их Сургууль

МУ-ын Гавьяат багш, доктор, зөвлөх профессор М.Баянтөр

Монгол Улсын Их Сургууль

профессор М.Баянтөр

Доктор, зөвлөх профессор Б.Чинбат

Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор П.Мягмарцэрэн

Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Д.Даш

Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль

Доктор, профессор Йорг Янцен

Берлиний Чөлөөт Их Сургууль, ХБНГУ

Доктор, профессор Ж.Л.В.Жендерен

Дэлхий Судлал, Гео-мэдээлэлзүйн Олон Улсын

Сургууль, Нидерландын Вант Улс

Доктор О.Батхишиг

Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн

Доктор, профессор С.Эрдэнэсүх

Монгол Улсын Их Сургууль

Доктор, профессор Е.Батчулуун

Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль

Доктор П.Гомболүүдэв

Ус Цаг Уур Орчны Шинжилгээний Хүрээлэн

Дугаарын хянан магадлагч нар:

Л.Амартүвшин

Шинжлэх Ухаан, Технологийн Их Сургууль

П.Мягмарцэрэн

Монгол Улсын Их Сургууль

Ч.Сономдагва

Монгол Улсын Их Сургууль

Ц.Сэр-Од

Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль

Д.Батсүрэн

Монгол Улсын Их Сургууль

Ө.Амгалан

Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль

С.Сайнбаяр

Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль

Г.Бямбахүү

Монгол Улсын Их Сургууль

Ч.Болорчулуун

Монгол Улсын Их Сургууль

С.Давааням

Барилгын хөгжлийн төв

2312-8534/©2020. Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

Газарзүйн Асуудлууд сэтгүүл 2001 оноос өнөөг хүртэл жилд 1-2 дугаар, хоймсон, нууц хянан магадлаггаа (double blind review)-тай хэвлэгдэж байна. Тус сэтгүүл Монголын Газарзүйн шинжлэх ухааны шинэ мэдлэгийг түгээх улмаар физик газарзүй, нийгэм эдийн засгийн газарзүйн болоод салбар дундын судалгааны бүтээлүүдийг ёс зүйтэй, шударга шүүлтүүрээр шигшиж хэвлэхийг зарчим болгон ажиллаж байна.

Хаяг: Монгол Улсын Их Сургууль, Хичээлийн II байр, 225 тоом. Бага тойруу, Их сургуулийн гудамж - 1, Сүхбаатар дүүрэг, Улаанбаатар хот, Монгол улс.

Цахим шуудан: geographicissues@gmail.com

©Нүүр хавтасны зургийг Р.Эрдэнэсүх. Өвөрхангай аймаг, Бат-Өлзий сум, Орхон голын хөндий.

ГАРЧИГ

Нутаг дэвсгэрийн нэгжийн хил ба газарзүйн элемент хоорондын уялдаа Д.Батсүрэн, Э.Алтанболд, Д.Сандэлгэр, Д.Дорлигжав, Р.Болдбаяр, Н.Одхүү	4
Баян (Увсын) нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологийн хэв шинжийн тайлал Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах, Я.Гансүх, Б.Даариймаа, Э.Амаасүрэн	18
Нутаг дэвсгэрийн түвшний хот байгуулалтын үнэлгээ (байгаль орчны үнэлгээний жишээн дээр) Г.Гантулга, Ц.Базарханд, Д.Цолмон, Д.Дорлигжав, Г.Цэнгүүн, М.Бүжинлхам	32
Бэлчээрийн экосистемийн хангамжийн зарим үйлчилгээг үнэлэх нь (Булган аймгийн Рашаант сумын жишээн дээр) Т.Энэрэл, Н.Мандах	54
Шороон шуурга болох үеийн агаар мандлын тогтворшлын параметрууд Ш.Тэргэл, Г.Баясгалан, С.Эрдэнэсүх	64
Нийгмийн үйлчилгээний барилгуудын норм ба ачааллаар хүртээмжийг тооцоолох, эрэлтийг эрэмбэлэх боломж Э.Ганчулуун	77
Жуулчдын сэтгэл ханамжид нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг тодорхойлох нь (Монгол улсад аялсан жуулчдын судалгаа) Л.Оюунчимэг, Х.Янжинлхам, Н.Гантуяа	89

Шороон шуурга болох үеийн агаар мандлын тогтворшлын параметрууд

Ш.Тэргэл^{1,2*}, Г.Баясгалан¹, С.Эрдэнэсүх²

¹Орчил урсгал, урт хугацааны прогнозын судалгааны хэлтэс, Ус цаг уур, Орчны судалгаа, Мэдээллийн хүрээлэн, Монгол улс

²Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх ухааны сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол улс

*Харилцах зохиогч: tergel.shijir@gmail.com

Хүлээн авсан: 2020.10.30
Засварласан: 2020.12.04
Зөвшөөрөгдсөн: 2020.12.21

Хураангуй

Монгол орны нутгаар тохиолддог шороон шуурганы орон зайн тархалт, үргэлжлэх хугацаа, давтагдал зэргийг тодорхойлсон судалгааны ажлууд хангалттай хийгдсэн байдаг ч түүнийг физик процессынх нь үүднээс авч үзсэн судалгаа цөөн байгаа нь энэхүү судалгааг хийх гол үндэслэл болсон. Мөн түүнчлэн шороон шуурга тохиолдох үеийн агаар мандлын тогтворилгыг тооцоолсноор шороон шуурганы тархалтыг харьцангуй хялбар аргаар тодорхойлох боломж байгаа эсэхийг судлах зорилго тавьсан билээ. Тус судалгааны ажлын гол зорилгыг хангахын тулд Брунт-Вайсалагийн давтамж (N), Градиент Ричардсоны Тоо (Ri) болон Эдигийн өсөлтийн түвшин (σ_E) зэрэг агаар мандлын тогтворилгыг илэрхийлэгч параметруудийг Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын “Даланзадгад” цаг уурын станцын радиозондын хэмжилтийн мэдээ, Европын дунд хугацааны цаг агаарын прогнозын төвийн давхар анализын мэдээг тус тус ашиглан 2020 оны 3 дугаар сараас 5 дугаар сарын хооронд Монгол орны ихэнх нутгийг хамарч тохиолдсон цаг агаарын аюултай болон онц аюултай үзэгдлийн хэмжээнд хүрсэн шорооны шуурганы 3 тохиолдлыг сонгон авч тооцооллоо. N , Ri , ба σ_E тооцоолохдоо төгсгөлөг ялгаврын аргыг ашигласан. Судалгааны үр дүнгээс харахад Ri болон σ_E хоёр параметруудийн аль аль нь шороон шуурганы тархалтыг сайн илэрхийлж байсан бол Ri параметрийн хөвөлтийг илэрхийлдэг байгуулагч болон N -ээс үл хамаарч байгаа нь харагдлаа. Мөн түүнчлэн энэхүү судалгааны ажлаар салхины шилжлэгийг¹ тооцоолох замаар Ri параметрийг харьцангуй хялбар аргаар тооцоолох боломжтой болохыг олж илрүүлээ. Энэ судалгаанд зөвхөн 2020 оны 3 дугаар сараас 5 дугаар сарын хоорондох тохиолдлуудыг хамруулсан үр дүнд статистик анализ хийхэд учир дутагдалтай байв. Цаашид илүү олон тохиолдлыг авч үзэх шаардлагатай гэж үзэж байна.

Түлхүүр үгс: Шороон шуурга; агаар мандлын тогтворгүйшил¹; бароклиник тогтворшил; динамик тогтворгүй; статик тогтвортой; салхины шилжлэг

Abstract

Although many studies investigated the spatial distribution, duration and frequency of dust storm in Mongolia, there are a few studies were undertaken in terms of physical process that underpinned the current study on the subject. The study examines whether it is possible to acquire the distribution of dust storms in a relatively simple way by estimating the atmospheric stability during a dust storm. In order to achieve the main purpose of the study, the atmospheric stability parameters such as Brunt-Vaisala frequency (N), Gradient Richardson Number (Ri), and Eady Growth Rate (σ_E) were evaluated on 3 different cases of heavy dust storms which are occurred from March to May 2020, covered almost all over Mongolia, using reanalysis data produced by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts and radiosonde data from “Dalanзадгад” an aerological station in Dalanzadgad, Umnugovi. Differential equations of N , Ri , and σ_E are solved using the finite difference method. The results of the study revealed that both Ri and σ_E stability parameters can be identified well the distribution of dust storm, while a linear relationship between a dust storm and N as well as the buoyancy component of Ri was not found. In addition, in the study, a simplified method to compute the Ri parameter based on power function was acquired by the wind shear. It was difficult to make statistical analyses in the results of the study based on few cases between March and May in 2020. Therefore, it is necessary to consider more cases in the future, to undertake statistical analysis.

Оршил

Өндрийн хотос болон өндрийн циклон (бага даралтын орон) Монгол орны нутаг дээр байрлахтай холбоотой газрын гадарга орчимд циклоны үйлчлэл идэвхтэй болохоос гадна түүний араас газрын гадарга орчимд эсрэг циклон түрэх үед даралтын хэвтээ шатлал ихсэж хүчтэй

¹Нацагдорж, Л. (2014) Цаг уурын нэр томъёоны Англи-Орос-Монгол толь. Улаанбаатар, Монгол: ВСИ хэвлэл.

салхи бий болох нөхцөлийг бүрдүүлдэг (Нацагдорж, 1978; Цогт, 1987; Jugder *et al.*, 2004). Хүчтэй салхины нөлөөгөөр газрын гадаргын шороо тоос агаар мандалд дэгдэн гарч, улмаар тодорхой орон зайд шилжих үзэгдлийг шороон шуурга гэдэг. Шороон шуурга нь агаар мандлын орчил урсгалын систем, газрын гадарга орчмын цаг уурын хэмжигдэхүүнүүд болон хөрсний шинж чанараас ихээхэн хамаардаг (Goudie, 1983; Qian *et al.*, 2002; Wang *et al.*, 2004; Shao and Dong, 2006).

Монгол оронд жилд тохиолддог шороон шуурганы 61 хувь нь хаврын улиралд, мөн түүнчлэн ойролцоогоор 65.5-91.0 хувь нь өдөр, 9.0-34.5 хувь нь шөнийн хугацаанд тохиолддог бол шороон шуурга нь дунджаар өдөрт 3.1–6.0 цаг үргэлжилдэг байна (Natsagdorj *et al.*, 2003). Нацагдорж нар шороон шуурга нь харьцангуй чийг 40 хувиас бага байхад ихэнхдээ тохиолдож байна гэдгийг тогтоожээ. Эндээс харахад хөрс ба агаар хуурай үед шороо тоос дэгдэж, салхины нөлөөгөөр тодорхой орон зайд шилжих бас нэг нөхцөл болдог байна. Шороон шуургатай өдрийн тооны олон жилийн явц, хандлагыг Монгол орны цаг уурын 30 гаруй станцын 1960-2013 оны ажиглалтын мэдээгээр тооцоолж үзэхэд шороон шуургатай өдрийн тоо бараг 3 дахин нэмэгджээ (БОНХЯ, 2014).

Судлаачид салхины хурд 6.0–6.5 м/с-ээс их болоход шороо, тоос дэгддэг гэж үзсэн байдаг (Natsagdorj *et al.*, 2003; Jugder *et al.*, 2004). Жүгдэр нар өмнөх судалгааны ажлаа орон зайн хувьд нарийвчлан Даланзадгад, Сайншанд, Эрдэнэ болон Замын–Үүд станц тус бүр дээр салхины хурд 7.2, 11.1, 6.6 болон 6.3 м/с-ээс их болоход шороо тоос дэгдэх нөхцөл бүрддэг гэж тогтоосон ба газрын гадаргуугийн хөрсний шинж чанарыг ургамалшлын индексийг ашиглан тооцоолж 0.23–аас бага байхад шороо тоос босох нөхцөл болдог гэсэн байна (Jugder *et al.*, 2014). Баясгалан нарын судлаачид NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) хиймэл дагуулын 1982-2003 оны хоорондох мэдээгээр NDVI (Normalized difference vegetation index)-ийн утгыг тооцоолж говийн бүсэд дунджаар 0.29 болон түүнээс бага байдгийг тогтоожээ (Bayasgalan *et al.*, 2005).

Шороон шуурганы тухай судалгааны ажлууд нь ихэнхдээ шороон шуурга үүсэх үеийн синоптик процесс, цаг уур, уур амьсгалын үзүүлэлтүүд, хөрсний гадаргуугийн шинж чанар болон тоос, шороо дэгдэх салхины хурдны босго утгыг тооцоолоход оршжээ. Шороон шуурга болох үеийн агаар мандлын тогтворшлыг илэрхийлэгч параметруудийг тооцоолсон ажил цөөн байгаа нь энэхүү судалгааны ажлыг хийх нэг үндэслэл болсон. Уг судалгааны ажлаар Монгол орны нутагт хаврын улиралд тохиолддог шороон шуурганы дэгдэлттэй үеийн агаар мандлын тогтворшлыг тооцоолохыг гол зорилгоо болгосон ба тогтворшлыг илэрхийлэгч параметруудийг тооцоолж, тэдгээрийн хэвтээ болон босоо чиглэлийн дагуух хуваарилалтыг тодорхойлох зорилт тавин ажиллаа. Мөн түүнчлэн тоос, шорооны тархалтыг тооцоолоход агаар мандлын хязгаарын үе давхарга дахь физик процессыг нарийвчлан судлах шаардлагатай болдог. Энэ нь нэлээд төвөгтэйн дээр цаг хугацаа, нарийн хэмжлийн багаж тоног төхөөрөмж шаарддаг ажил юм.

Тиймээс энэ асуудлыг агаар мандлын тогтворшлыг тооцоолох замаар хялбарчилж болох боломж байгаа эсэхийг энэхүү судалгааны ажлаар харуулахыг гол зорилгоо болгов.

Ашигласан мэдээ

Уг судалгааны ажилд Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын “Даланзадгад” цаг уурын станцын дэргэдэх өндрийн агаар мандлын судалгааны станцаас аэрологийн хэмжилтийн 2020 оны 3 дугаар сараас 5 дугаар сарын хоорондох өглөө 08, орой 20 цагийн радиозондын хөөргөлтийн мэдээг авч, ашигласан болно. Мөн түүнчлэн радиозондын хөөргөлт хийдэггүй бүс нутагт Европын дунд хугацааны цаг агаарын прогнозын төв (ECMWF)-ийн давхар анализын ‘ERA5’ агаарын босоо давхаргын мэдээг татан авч ашиглав (Хүснэгт 1). ‘ERA5’ давхар анализын мэдээ гэдэгт ассимиляц хийсэн дэлхийн цаг уурын төрөл бүрийн ажиглалтын мэдээг уур амьсгалын 5 дахь үеийн загварын оролтод оруулж, гарсан үр дүнгээр босгосон цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийг бүхэлд нь хамруулж ойлгодог. Энэхүү судалгааны ажилд ‘ERA5’-ийн давхар анализын мэдээнээс 850, 825, 800, 775, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 гПа даралтын түвшин дэх агаарын температур, чийг, салхины хурдны утгуудыг дээр дурдсан хугацаа тус бүрээр авч ашиглав.

Хүснэгт 1. ‘ERA5’-ийн тодорхойлолт

Мэдээний төрөл	Грид
Хэвтээ гадаргуугийн хамрах хүрээ	Глобал
Хэвтээ гадаргуугийн нарийвчлал	0.25°x0.25°
Босоо чиглэлийн хамрах хүрээ	1000 гПа - 1 гПа
Босоо чиглэлийн нарийвчлал	37 даралтын түвшин
Хугацааны хамрах хүрээ	1979 –өөс одоог хүртэл
Хугацааны нарийвчлал	цаг
Файлын хэлбэр	GRIB

Эх сурвалж: ECMWF, 2020

Арга зүй

2020 оны 3 дугаар сарын 24, 4 дүгээр сарын 15, 5 дугаар сарын 15–ний өдрүүдэд Монгол орны ихэнх нутгийг хамарсан (аюултай болон онц аюултай үзэгдлийн түвшинд хүрсэн) хүчтэй шороон шуурга тохиолдсон бөгөөд энэ өдрүүдийн агаар мандлын тогтворшлын параметруудийн тооцооллыг доор дурдсан аргаар хийсэн болно. Агаар мандлын тогтворшлын параметруудийг тооцоолоход агаар мандлын босоо тэнхлэгийн дагуух хэмжилтийн мэдээ хэрэгтэй болдог. Мөн шороон шуурга нь ихэнхдээ говийн бүсэд тохиолддогийг (Natsagdorj *et al.*, 2003) харгалзан Өмнөговь аймгийн “Даланзадгад” аэрологийн станцын хэмжилтийн мэдээг ашиглалаа.

Агаар мандлын тогтворгүйшил

Агаар мандал дахь хөдөлгөөнд тогтворгүйшил илрэх байдал олон янз байдаг. Агаарын температурын босоо хуваарилалтаас хамаарч үүсдэг статик буюу дулааны тогтворгүйшил нь чийгээр ханаагүй агаарт хуурай адиабатын температурын шатлалаас, чийгээр ханасан агаарт чийгтэй адиабатын шатлалаас их үед үүсдэг. Ийм төрлийн тогтворгүйшлийг Брунт-Вайсалагийн давтамж илэрхийлдэг (Holton, 2004).

Гидродинамик тогтворгүйшил нь агаарын урсгалын хурдны жигд бус хуваарилалтын үр нөлөөгөөр үүсэж бий болдог. Гидродинамик тогтворгүйшлийн онолын хэрэглээ нь агаар мандлын хуйлрал, долгионуудын хөгжлийн үе шат цаашдын хувьслыг тоон болон бусад шинж чанар, үзүүлэлтүүдийн механизмын тоон үнэлгээ хийж болно. Кориолисын хүч болон хөвөх хүчний хамтын үйлчлэлээр үүсдэг гидродинамик тогтворгүйшлийн нэг хэлбэр бол бароклиник тогтворгүйшил бөгөөд Ричардсоны тоогоор илэрхийлэгддэг. Ерөнхийдөө агаарын мандлын тогтворгүйшил нь температурын хэвтээ чиглэлийн нэг төрлийн бус байдалтай хамт салхины хэвтээ, босоо чиглэлийн шилжилттэй үед бий болдог. Гидродинамик тогтворгүйшлийн үрээр синоптикийн хэмжээний циклоны хуйлраа, агаар мандлын долгиолог хөдөлгөөний үр дүнд цаг уурын төрөл бүрийн үзэгдэл үүсэж бий болдог (Нацагдорж, 2017). Иймд гидродинамик тогтворгүйшил болон шороон шуурганы тархалтын хоорондох уялдаа холбоог судлах нь энэ судалгааны ажлын үндсэн зорилтын нэг билээ.

Агаар мандлын тогтворгүйшлийг илэрхийлэгч параметрууд:

Брунт-Вайсалагийн давтамж

Статик тогтвортой агаар мандал дахь агаарын хэсгийн өгсөх уруудах хөдөлгөөнийг доорх илэрхийллээр тооцоолдог бөгөөд түүнийг Брунт-Вайсалагийн давтамж гэж нэрлэдэг.

$$N = \left(\frac{g}{\theta_{va}} \frac{\partial \theta_{va}}{\partial z} \right)^{1/2} \quad (1)$$

Энд $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ хүндийн хүчний хурдатгал, θ_{va} нь гадаад орчны виртуал потенциал температур ба $\partial\theta_{va}/\partial z$ нь орчны виртуал потенциал температурын босоо градиент.

Радиозондын температурын хэмжилтийн мэдээнээс потенциал температурын утгыг тооцоолж, улмаар түүний босоо градиентыг бодсоноор N -ийн утга тодорхойлогдоно. Потенциал температур нь дараах томъёогоор олдоно.

$$\theta = T(p_s/p)^{R/c_p} \quad (\text{II})$$

Энд T нь температур, p нь даралт, p_s нь стандарт даралт ($\sim 1,000$ гПа) бөгөөд R нь хийн хувийн тогтмол (287 Дж/кгК), c_p нь тогтмол даралт дахь онцлог дулаан ($1,004$ Дж/кгК).

N нь 0– тэй тэнцүү буюу их байхад агаар мандал тогтвортой, харин 0–ээс бага үед тогтворгүй төлөвт оршдог гэж үздэг (Holton, 2004).

Градиент Ричардсоны Тоо

Градиент Ричардсоны Тоо (Ri) бол агаар мандлын динамик тогтворшлыг илэрхийлдэг параметр бөгөөд доорх томъёогоор илэрхийлэгддэг.

$$Ri = \frac{g \frac{\partial \theta_v}{T_V \partial z}}{\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2} \quad (\text{III})$$

Энд g нь хүндийн хүчний хурдатгал, T_V нь виртуал үнэмлэхүй температур, θ_v нь виртуал потенциал температур, z нь өндөр, U ба V нь салхины өргөрөг болон уртрагийн дагуух байгуулагчид. Онолын хувьд Градиент Ричардсоны тоо Ri нь 0.25–аас бага үед динамик тогтворгүй бөгөөд турбулент хөдөлгөөн зонхилдог (Stull, 1988).

(III) тэгшитгэлийн $\frac{g}{T_V} \frac{\partial \theta_v}{\partial z}$ бол агаарын массын хөвөлт, $\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2$ нь агаарын урсгалын босоо давхарга хоорондын шилжлэгийг тус тус илэрхийлнэ. Мөн $\frac{g}{T_V} \frac{\partial \theta_v}{\partial z}$ -ийг хөвөлт, $\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2$ -ийг салхины шилжлэг гэж цаашид нэрлэнэ.

Эдигийн өсөлтийн түвшин

Бароклиник тогтворгүйшил бол дундад өргөргийн цаг агаарыг бүрдүүлэх хамгийн чухал механизм юм. Энэ нь мөн агаар мандлын шинжийн уртрагийн дагуух зөөгдөлд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ.

Агаар мандлын бароклиник тогтворгүйшлийг илэрхийлдэг хэмжигдэхүүн болох Эдигийн өсөлтийн түвшнийг Иан Саймондс болон Июн–Па Лим нарын томъёолсноор дараах байдлаар илэрхийлнэ (Simmonds and Lim, 2009).

$$\sigma_E = 0.3098 \frac{|f| \left| \frac{\partial U(z)}{\partial z} \right|}{N} \quad (\text{IV})$$

Энд f нь Кориолисын параметр ($f = 2\Omega \sin \varphi$, $\Omega = 7.292 \times 10^{-5}$ рад/с нь дэлхийн эргэлтийн өнцөг хурд, φ нь өргөрөг), $U(z)$ нь зүүний салхины бүрэлдэхүүн хэсгийн босоо байгуулагч бөгөөд N нь Брунт-Вайсалагийн давтамж ($N^2 = \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}$, g нь хүндийн хүчний хурдатгал, θ нь потенциал температур ба z нь босоо координат). σ_E нь агаар мандлын тогтворгүйшлийг илэрхийлэхээс гадна тухайн орчин дахь системийн хөгжлийг харуулдаг давуу талтай. Эдгээр тогтворгүйшлийн параметруудийг (N , Ri , σ_E) ашиглан дээр дурдсан гурван хугацаа тус бүрийн бодит ажиглалтын (радиозондын) болон ‘ERA5’ давхар анализын мэдээнд тооцоолол хийв.

Үр дүн

Агаар мандлын тогтворшлыг тодорхойлохын тулд дээр илэрхийлсэн (I), (III) ба (IV) тэгшитгэлийн шийдийг төгсгөлөг ялгаврын аргыг ашиглан шороон шуурга тохиолдсон өдрүүдэд тооцооллоо. Агаар мандлын босоо чиглэлийн дагуух тогтворшлын тооцоололд Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын “Даланзадгад” өндрийн агаар мандлын судалгааны станцын радиозондын хэмжилтийн мэдээг ашигласан ба хэвтээ чиглэл дэх тогтворшлын тооцоог ‘ERA5’ давхар анализын $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ нарийвчлал бүхий мэдээнд тулгуурлаж хийлээ.

Агаар мандлын тогтворшлын босоо хуваарилалт

Агаар мандлын тогтворшлыг илэрхийлэгч параметруудийг дээр дурдсан гурван тохиолдол тус бүрийг “шороон шуурга дэгдэж эхлэхээс өмнөх”, “шороон шуурга тохиолдох” болон “шороон шуурга дууссаны дараах” гэсэн 3 үе шатанд хуваан, Даланзадгад станцын радиозондын мэдээг ашиглан тооцоолж (Хүснэгт 2, 3 ба 4-т) харуулав. Хүснэгт 2-т шороон шуурга болохоос өмнөх үеийг, Хүснэгт 3-т шороон шуургатай байх үеийг, Хүснэгт 4-т тухайн үзэгдэл болж өнгөрсөн үеийг тус тус харууллаа. Аргагүй хэсэгт өгүүлсэнчлэн тооцооллыг хийсэн ба σ_E , N , хөвөлт, салхины шилжлэгийн утгыг 10^6 , 10^2 , 10^4 , ба 10^5 -аар тус бүр үржүүлж бүхэл утга руу хөрвүүлсэн болно. Хүснэгт 2-оос үзэхэд даралтын бүх түвшнүүдэд Ri -ийн утгууд нь 2-оос их, N нь 0-ээс эрс их байгаа нь агаар мандал гидродинамик болон статик тогтвортой байх нөхцөлийг хангаж байна. Шороон шуурганы гурван тохиолдлын дунджаар тооцоолсон σ_E -ийн утга нь 2-оос 20 орчмын хооронд хэлбэлзэж байгаа нь уг үзэгдэл болохын өмнө агаар мандал статик болон гидродинамик тогтвортой нөхцөлд оршдогийг харуулж байна.

Хүснэгт 2. “Даланзадгад” станцын өндрийн хэмжилтийн мэдээгээр тооцоолсон тогтворгүйшлийн хэмжигдэхүүнүүд (шороон шуурга дэгдэж эхлэхээс өмнөх үе)

Даралтын түвшин	σ_E	Ri	N	Хөвөлт	Салхины шилжлэг
850	19.14	2.87	1.61	2.96	29.83
825	5.80	4.14	1.31	1.81	9.78
800	18.28	8.95	0.90	0.81	8.05
775	16.05	3.80	0.90	0.81	4.53
750	14.54	3.16	1.01	1.13	3.79
700	6.62	94.49	1.04	1.20	2.87
650	10.77	9.78	0.96	1.04	5.22
600	8.71	220.89	0.88	0.91	5.77
550	6.66	210.71	0.84	0.82	2.72
500	5.23	45.48	1.00	1.03	0.66
400	5.07	26.14	0.98	0.96	0.60
300	2.40	110.22	1.04	1.13	0.16
250	3.45	103.32	1.78	3.22	1.10
200	2.52	27,020.41	2.17	4.71	0.95
150	2.32	225.01	2.07	4.31	0.54
100	3.44	206.72	1.92	3.68	1.09

Хүснэгт 3-аас үзэхэд Ri -ийн утга нь 850–800 гПа даралтын түвшинд $-0.02 \dots 0.01$ -ийн хооронд байгаа нь агаар мандал гидродинамик тогтворгүй, N -ийн утга нь 0-ээс их байгаа нь статик тогтвортой нөхцөлд агаар мандал оршин байсныг харуулж байна. Гидродинамик тогтворгүй нөхцөлд орших үндсэн шалтгаан нь давхарга хоорондын салхины шилжлэг голлон нөлөөлсөн байна. σ_E -ийн хувьд 850 болон 825 гПа түвшинд 100-аас их байгаа нь агаар мандал дахь бароклиник тогтворгүй нөхцөл бүрдсэнийг харуулахын зэрэгцээ тухайн систем идэвхтэй хөгжлийн үед явж байгааг давхар илэрхийлж байна. Мөн 5-р сарын 15-нд тохиолдсон шороон шуурганы үед N нь 0-ээс бага байсан бөгөөд статик тогтворгүй төлөвт агаар мандал оршиж, хөвөлтийн хүч тодорхой хэмжээгээр бароклиник тогтворгүй нөхцөлийг дэмжсэн боловч утгын хувьд харьцангуй бага байв. N нь хасах

утгатай байсантай холбоотойгоор σ_E мөн хасах утгатай байсан бөгөөд абсолют утгын хувьд 100–аас их байсан.

Хүснэгт 3. “Даланзадгад” станцын шороон шуургатай байх үеийн өндрийн хэмжилтийн мэдээгээр тооцоолсон тогтворгүйшлийн хэмжигдэхүүнүүд (шороон шуурга болох үе)

Даралтын түвшин	σ_E	Ri	N	Хөвөлт	Салхины шилжлэг
850	104.89	-0.02	0.46	0.93	729.05
825	128.51	0.01	0.35	0.52	173.21
800	83.67	0.61	0.35	0.22	7.86
775	70.99	1.16	0.35	0.25	4.27
750	21.66	2.29	0.54	0.30	3.12
700	19.66	3.78	0.79	0.68	5.34
650	13.40	8.60	1.00	1.14	10.18
600	27.14	2.68	0.98	1.10	24.53
550	22.27	3.73	1.00	1.07	9.19
500	13.47	12.09	1.14	1.32	6.79
400	9.94	15.06	1.11	1.25	2.91
300	5.36	45.56	1.14	1.31	1.32
250	8.75	12.50	1.86	3.47	6.15
200	4.29	29.20	2.16	4.68	1.92
150	2.08	125.23	2.06	4.23	0.38
100	3.05	55.39	1.92	3.70	0.73

Хүснэгт 4–т байгаа агаар мандлын тогтворшлын параметруудийн хувьд шороон шуурга болохоос өмнөх үетэй төстэй байна. Нэг ялгарах зүйл гэвэл 850 гПа түвшин дэх салхины шилжлэг харьцангуй их байсны үр дүнд агаар мандал гидродинамик тогтворгүй байх нөхцөлийг хангаж байгаа хэдий ч σ_E төдийлөн хангалттай их утга аваагүй болно. Өөрөөр хэлбэл тухайн агаар мандалд явагдаж байсан процесс бөхөх үед орсныг харуулж байна.

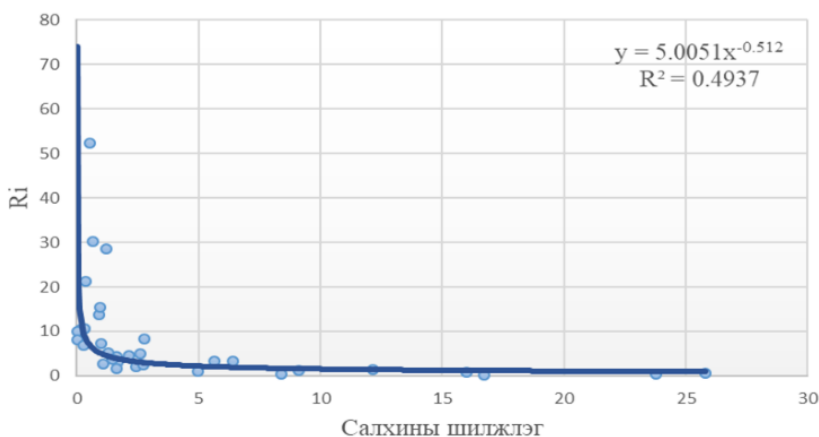
Хүснэгт 4. “Даланзадгад” станцын өндрийн хэмжилтийн мэдээгээр тооцоолсон тогтворгүйшлийн хэмжигдэхүүнүүд (шороон шуурга болж дууссаны дараах үе)

Даралтын түвшин	σ_E	Ri	N	Хөвөлт	Салхины шилжлэг
850	49.25	0.21	1.48	2.31	226.60
825	28.19	0.36	1.31	1.74	58.43
800	14.03	9.61	1.10	1.23	6.26
775	21.38	32.50	1.36	1.92	66.62
750	21.75	2.29	1.48	2.22	28.61
700	16.19	4.77	1.45	2.19	15.13
650	9.84	5.72	1.24	1.65	2.89
600	5.61	947.37	1.23	1.52	1.58
550	30.37	5.33	1.45	2.12	51.92
500	31.06	25,655.57	1.19	1.42	96.67
400	3.02	488.73	1.04	1.10	0.30
300	22.43	131.48	1.15	1.34	32.50
250	14.89	41.28	1.67	2.83	16.72
200	3.68	163.81	2.08	4.34	1.79
150	5.48	33.26	2.11	4.44	3.69
100	2.42	506.21	1.98	3.95	0.59

Хүснэгт 4-өөс үзэхэд Ri –ийн утга 850 гПа–ын өндөрт 0.25–аас бага буюу динамик тогтворгүй байна. Ri нь хөвөлт болон салхины шилжлэгээс хамаардаг хэмжигдэхүүн билээ. Гэтэл энэ судалгааны ажлаар Монгол орны хувьд гидродинамик тогтворгүйшлийн хөвөлтийг илэрхийлэгч байгуулагчийн тоон утга 3 тохиолдлын аль ч шатанд 0.2-3.0 орчим байв. Онолын хувьд сонгон авсан цаг хугацаа хаврын улирал учраас хөрсний гадарга төдийлөн хангалттай халж агаарын массын хөвөлт эрчимтэй бий болох нөхцөлийг бүрдүүлж чадаагүйтэй холбоотой хөвөлт нь абсолют утгын хувьд гидродинамик тогтворгүйшилд эзлэх нөлөө багатай байх боломжтой.

Гидродинамик тогтворгүйшил болон салхины шилжлэгийн уялдаа холбоо

Зураг 1-т 2020 оны хаврын улиралд тохиолдсон 3 удаагийн шороон шуурганы үе шат бүрийн 850-600 гПа гадаргуу бүр дээрх Ri ба салхины шилжлэгийн скатер диаграммыг харууллаа. Ri нь салхины шилжлэгээс зэргийн хуулиар хамааралтай байгааг доор үзүүлэв.



Зураг 1. Ричардсоны тоо Ri ба салхины шилжлэг хоорондын хамаарал.

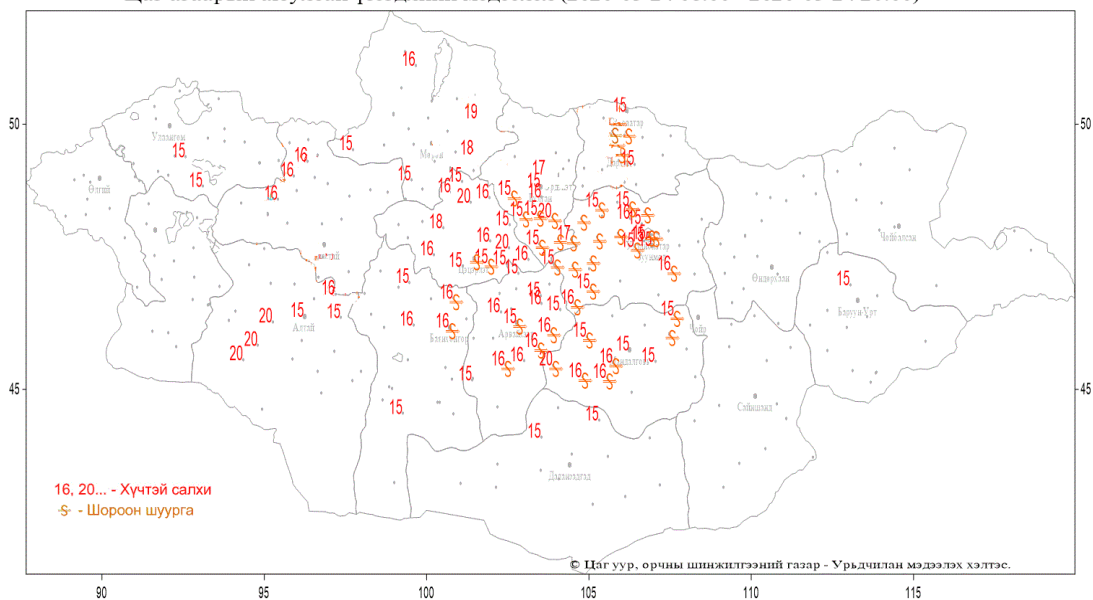
$$R_i = 5.0 \cdot x^{0.512} \quad (V)$$

Энд x нь салхины шилжлэг. Ri –ийн вариацийн 50 орчим хувь нь салхины шилжлэгээр тайлбарлагдаж байгаа нь энэ 2 хэмжигдэхүүний аль нэгээр нь нөгөөг нь тооцоолох боломж хангалттай байгааг илэрхийлж байна. Өөрөөр хэлбэл газрын гадарга орчмын салхины хурдыг хэмжсэнээр (V) томъёогоор Ri –ийг харьцангуй хялбар аргаар хаврын улиралд тооцоолох боломж байгааг олж харууллаа.

Агаар мандлын тогтворшиллын хэвтээ тэнхлэгийн дагуух хуваарилалт

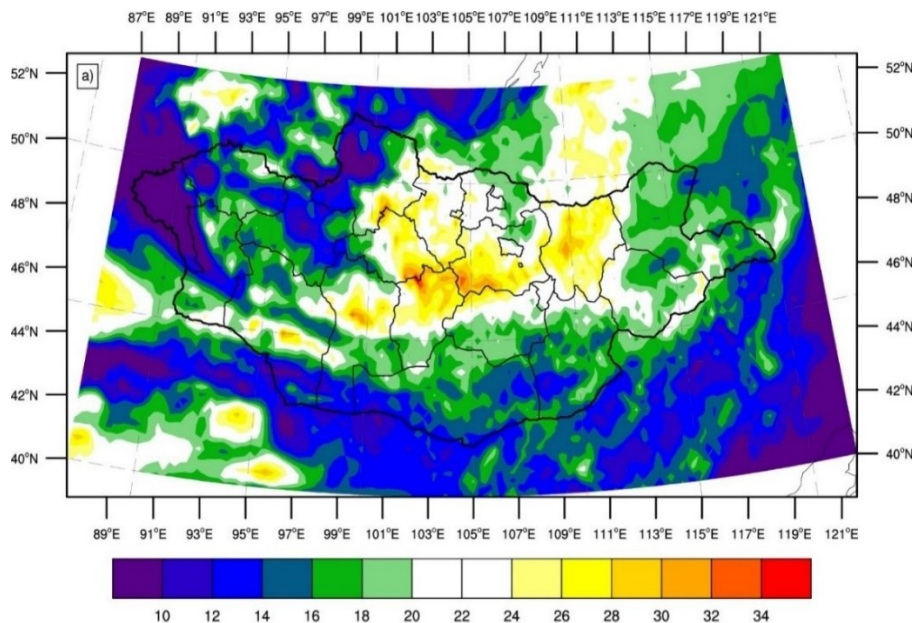
Цаг уур, орчны шинжилгээний газар (ЦУОШГ)-ын улсын сүлжээ станцуудаас ирүүлсэн цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээгээр 2020 оны 3 дугаар сарын 24–нд төвийн аймгуудын ихэнх, говийн аймгуудын нутгийн хойд хэсгээр шороон шуурга тохиолдсон бөгөөд энэ үед салхины хурд 10–18 м/с хүрсэн байна. Уг аюултай үзэгдэл нь төвийн аймгуудын нутгаар 09:48–19:11 хүртэл үргэлжилсэн бөгөөд хамрах хугацааны орон зайн тархалтыг Зураг 2–т харуулав.

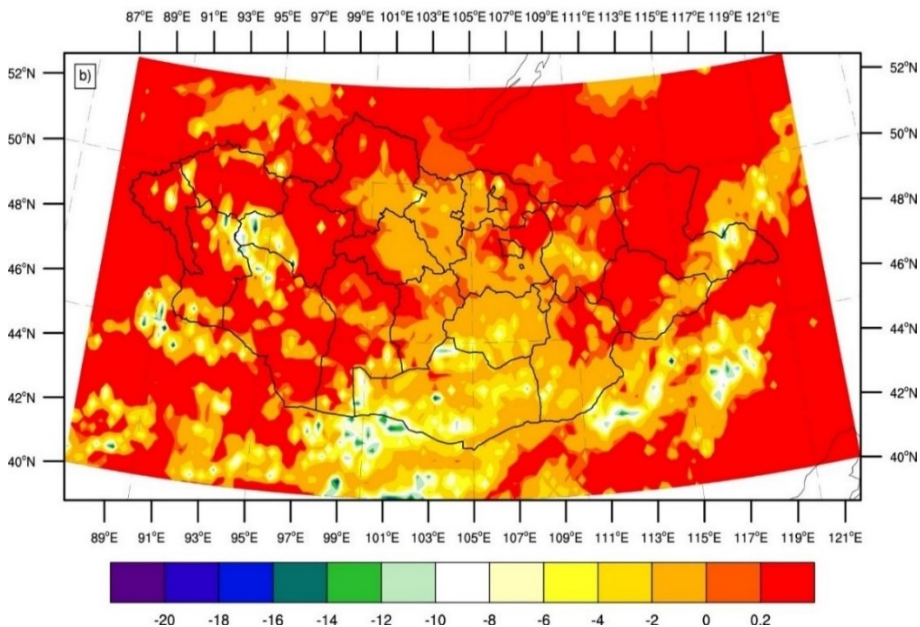
Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээлэл (2020-03-24 08:00 - 2020-03-24 20:00)



Зураг 2. 2020 оны 3 дугаар сарын 24-ний өдрийн өглөө 08 цагаас орой 20 цаг хүртэлх бодит ажиглалтын мэдээгээр илэрхийлсэн аюултай үзэгдлийн салхины хурдны (м/с) тархалт.
\$ – шороон шуурга ажиглагдсан станц.
Эх сурвалж: ЦУОШГ, 2020

2020 оны 3 дугаар сарын 24–ний өглөө 8 цагаас орой 20 цаг хүртэлх үеийн 850 гПа түвшин дэх σ_E -ийн дундаж болон Ri -ийн хамгийн бага утгын тархалтыг ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр тооцоолж Зураг 3–т харуулав. Зургаас харахад ЦУОШГ-г ирсэн “Аюул агаар” аюултай үзэгдлийн мэдээний орон зайн тархалттай төстэй байна. Харин Хэнтий нурууны зүүн талаар агаар мандлын динамик болон бароклиник тогтворгүйшил харьцангуй их байсан бөгөөд энэ бүс нутагт цасан шуурга болох нөхцөл бүрджээ гэдгийг харж болохоор байна.

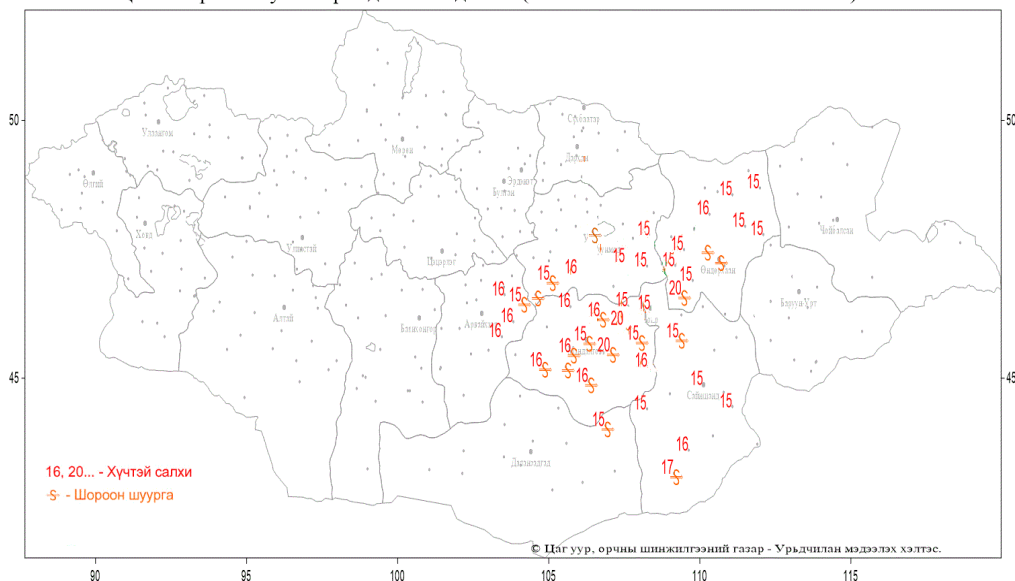




Зураг 3. 2020 оны 3 дугаар сарын 24–ний өдрийн өглөө 7 цагаас оройн 20 цаг хүртэлх ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр тооцоолсон (a) σ_E -ийн дундаж болон (b) Rt -ийн хамгийн бага утгын тархалт.

2020 оны 4 дүгээр сарын 15–нд төвийн аймгуудын нутгийн өмнөд, зүүн аймгуудын нутгийн баруун хэсэг болон говийн нутгийн хойд хэсгээр салхины хурд 14–18 м/с хүрч ширүүсэж, цасан болон шороон шуурга шуурч, цаг агаарын аюултай үзэгдлийн хэмжээнд хүрсэн. Энэ үеийн аюултай үзэгдлийн салхины хурдны тархалтыг Зураг 4-т харуулав. Мөн ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр тооцоолсон тогтворшлын утгуудыг зураг 6-д харуулсан ба өмнөхтэй адил орон зайн тархалтын хувьд ижил төстэй харагдаж байна. Ялангуяа Дундговийн өмнөд хэсгээр болсон шороон шуурганы процессыг давхар анализын мэдээгээр тооцоолсон σ_E -ийн дундаж утгын тархалтын зураг нь тодорхой харуулж байна.

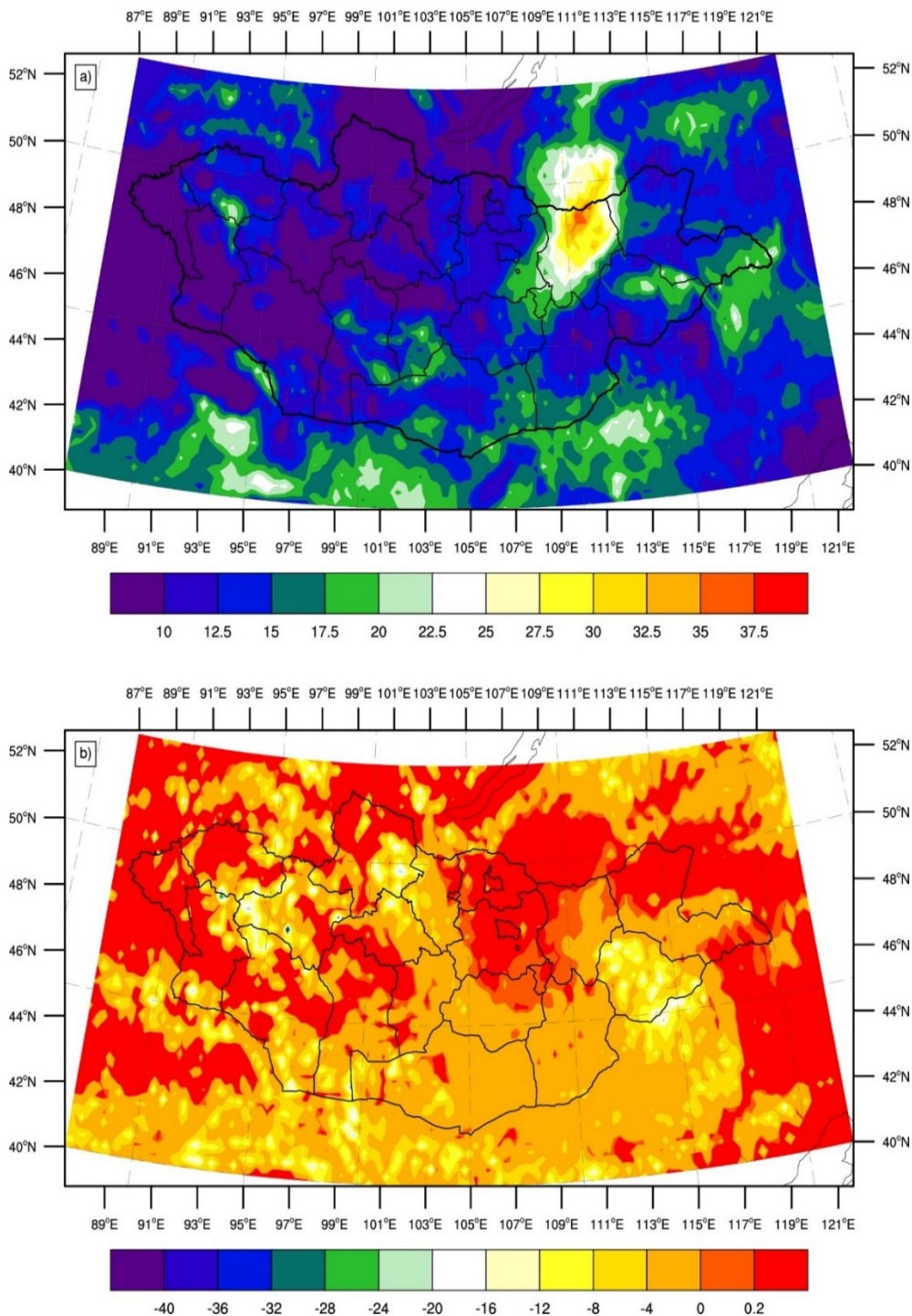
Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээлэл (2020-04-15 08:00 - 2020-04-15 20:00)



Зураг 4. 2020 оны 4 дүгээр сарын 15–ны өдрийн өглөө 08 цагаас оройн 20 цаг хүртэлх бодит ажиглалтын мэдээгээр илэрхийлсэн аюултай үзэгдлийн салхины хурдны (м/с) тархалт.

\$ – шороон шуурга ажиглагдсан станц.

Эх сурвалж: ЦУОШГ, 2020

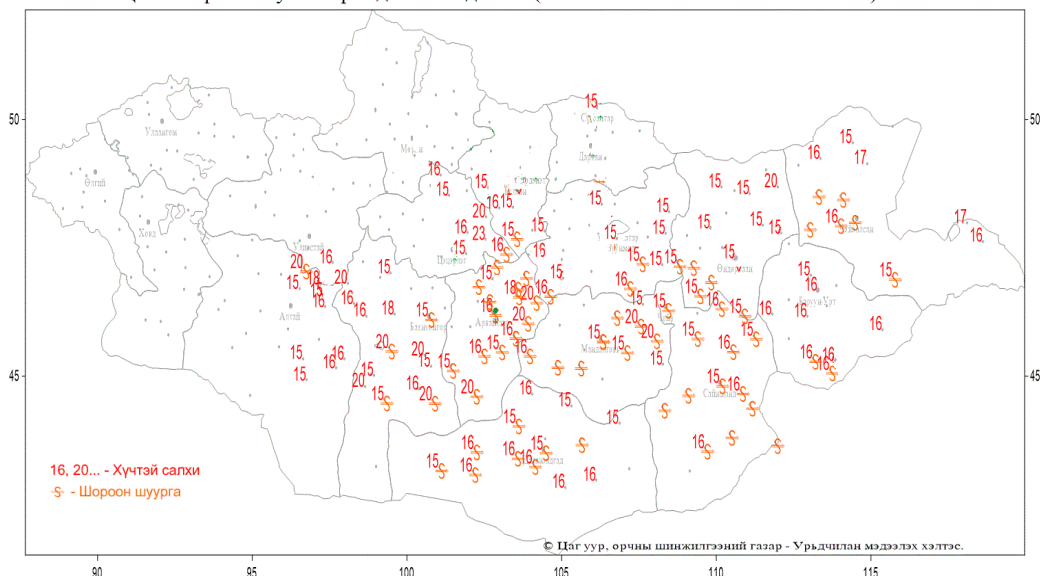


Зураг 5. 2020 оны 4 дүгээр сарын 25–ны өдрийн өглөө 7 цагаас орой 20 цаг хүртэлх ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр тооцоолсон (а) σ_E -ийн дундаж болон (б) Ri -ийн хамгийн бага утгын тархалт.

Мөн түүнчлэн 5–р сарын 15–нд төв, зүүн болон говийн аймгуудын ихэнх нутгаар салхины хурд 10–20 м/с хүрч ширүүсэж, цаг агаарын онц аюултай буюу гамшигт үзэгдлийн хэмжээнд хүрсэн шороон шуурга болсон. Уг процесс болсон үеийн бодит ажиглалтын салхины хурдны орон зайн тархалтыг Зураг 6–д, давхар анализ мэдээгээр тооцоолсон σ_E болон Ri -ийн утгын тархалтыг зураг 7–д тус тус харуулав. ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр зурагласан σ_E ба Ri –

ийн тархалтын зургууд нь цасан болон шороон шуурга болсон газар нутгийг орон зайн хувьд илүү нарийвчлалтай харуулж байна. Энэ судалгааны үр дүн хэрэв орон зайн илүү нарийвчлалтай давхар анализын мэдээ байвал түүнийг ашиглан σ_E -г тооцоолж шороон шуурганы орон зайн тархалтыг ажиглалтын мэдээгүй газар нутагт тооцоолох боломж байгааг харууллаа.

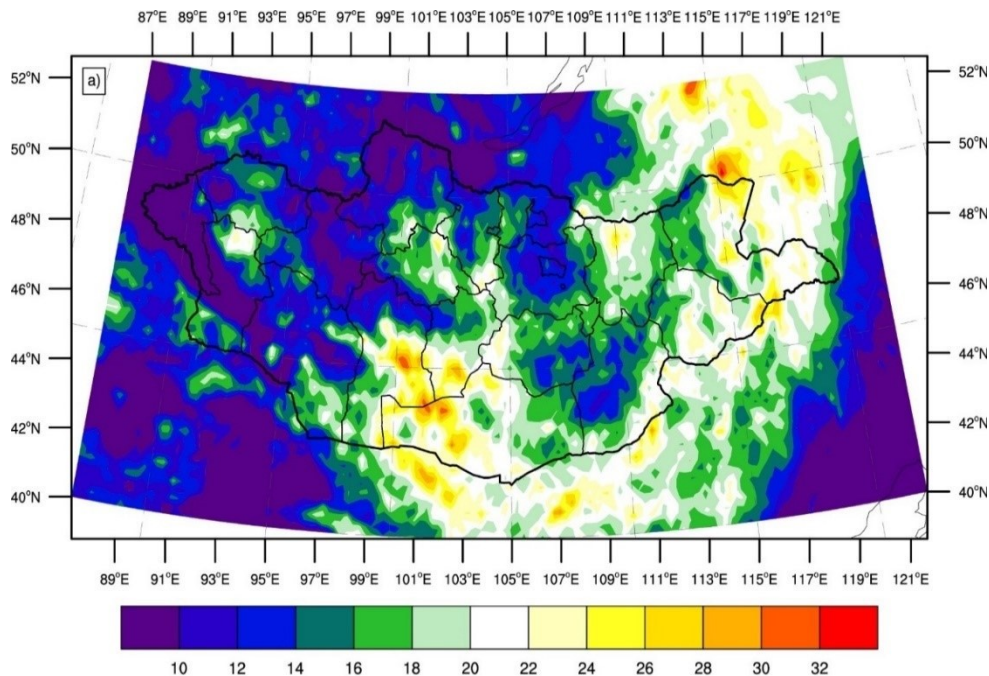
Цаг агаарын аюултай үзэгдлийн мэдээлэл (2020-05-15 08:00 - 2020-05-15 20:00)

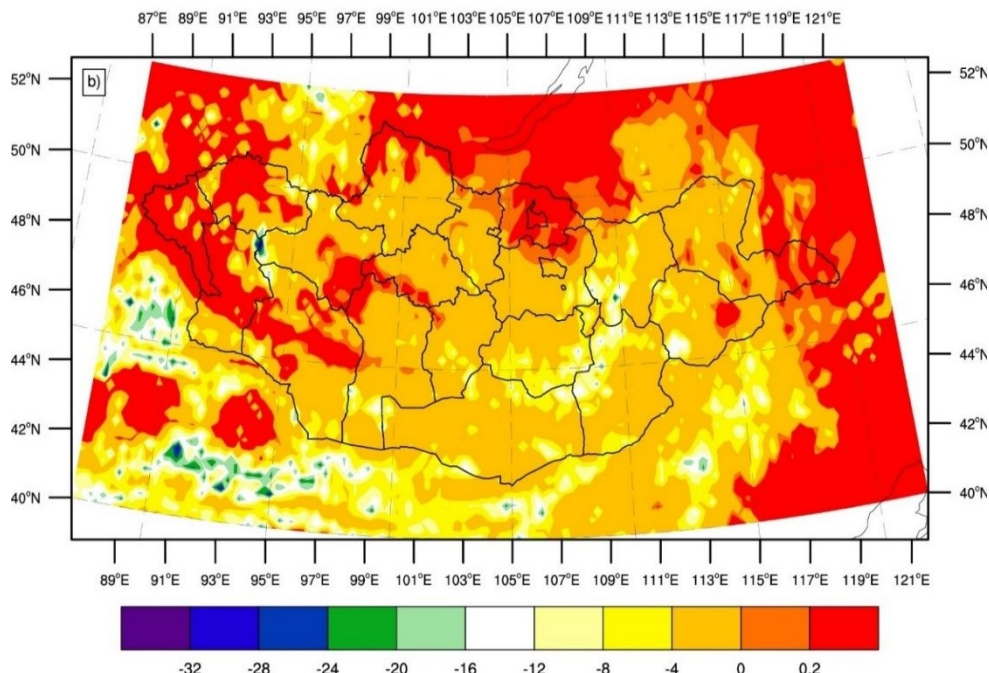


Зураг 6. 2020 оны 5 дугаар сарын 15–ны өдрийн өглөө 08 цагаас орой 20 цаг хүртэлх бодит ажиглалтын мэдээгээр илэрхийлсэн аюултай үзэгдлийн салхины хурдны (м/с) тархалт.

OS – шороон шуурга ажиглагдсан станц.

Эх сурвалж: ЦУОШГ, 2020





Зураг 7. 2020 оны 5 дугаар сарын 15-ны өдрийн өглөө 7 цагаас оройн 20 цаг хүртэлх ‘ERA5’ давхар анализын мэдээгээр тооцоолсон (а) σ_E -ийн дундаж болон (б) Ri -ийн хамгийн бага утгын тархалт.

Дүгнэлт

Монгол орны ихэнх нутгийг хамарсан хүчтэй шороон шуурга тохиолдсон гурван өдрийг (2020 оны 3 дугаар сарын 24, 4 дүгээр сарын 15, 5 дугаар сарын 15-ны өдрүүдэд болсон шороон шуурганы тохиолдол) сонгон авч агаар мандлын тогтворшлын параметруудийг тооцоолов. Уг тооцооллыг хийхдээ агаар мандлын статик болон гидродинамик тогтворгүйшлийг илэрхийлэгч параметруудийг үе тус бүрээр тооцоолон гарсан үр дүнгээр дараах дүгнэлтийг хийж байна. Тус судалгааны ажилд тооцоологдсон агаар мандлын тогтворшлыг илэрхийлэгч Ri болон N параметрууд нь шороон шуурга болох үед агаар мандлын доод үе давхарга болох 850-825 гПа түвшинд харгалзан -0.02...0.01, 0.35...0.46 байгаа нь тогтворгүйшлийг илтгэх утгадаа хүрсэн буюу агаар мандлын динамик болон статик төлөвийг онолын үндэслэлтэй тодорхойлж чадаж байна гэж үзэж байна.

Агаар мандлын тогтворгүйшлийг илэрхийлэгч Ri параметр нь (V) тэгшитгэлээр тооцоологдох боломжтой болох нь харагдаж байна.

Дээр дурдсан өдрүүдийн Ri -ийн вариацийн 50 хувь нь салхины шилжлэгээр тайлбарлагдаж байгааг олж илрүүлээ. Агаар мандал статик тогтворгүй төлөвт байх нь динамик тогтворгүйшилд голлох нөлөө үзүүлдэггүй ч, харин дэмжлэг үзүүлдэг болох нь тогтоогдов. Өөрөөр хэлбэл, агаар мандал статистикийн ямар ч төлөвт байсан динамик тогтворгүйшил нь салхины шилжлэгээс голлон хамаарч байна.

σ_E ба Ri -ийн хэвтээ тархалт нь бодит ажиглалтын мэдээтэй давхцаж байгаа нь энэхүү параметруудийг ашиглан шороон шуурганы тархалтыг тооцоолж болох боломж байгааг харуулж байна.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг Уур амьсгалын ногоон сангийн санхүүжилтээр Байгаль орчин, аялал жуулчлалын яам, Нэгдсэн үндэстний байгууллагын Байгаль орчны хөтөлбөрийн хамтран хэрэгжүүлж буй “Уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох төлөвлөлтийн процессыг боловсронгуй болгох үндэсний чадавхыг бэхжүүлэх” төслийн судалгааны тэтгэлгийн тусламжтайгаар хийсэн болно.

Ном зүй

- Bayasgalan, M., Sumyasuren, J., Dagvadorj, D. and Tsoodol, M. (2005) Agricultural drought monitoring using remote sensing data. *Papers in Meteorology and Hydrology*, 27(5), pp.50-58.
- Goudie, A. S. (1983) Dust storms in space and time. *Progress in Physical Geography*, 7(4), pp.502-530.
- Holton, J. R. (2004) *Introduction to Dynamic Meteorology. 4th Edition*, Amsterdam: Elsevier.
- Simmonds, I. and Lim, E. (2009) Biases in the calculation of Southern Hemisphere mean baroclinic eddy growth rate. *Geophysical Research Letters*, 36 (1), pp.L01707.
- Jugder, D., Chung, Y. S. and Batbold, A. (2004) Cyclogenesis over the territory of Mongolia during 1999-2002. *Journal of the Korean Meteorological Society*, 40, pp.293-303.
- Jugder, D., Shinoda, M., Kimura, R., Batbold, A., and Amarjargal, D. (2014) Quantitative analysis on windblown dust concentrations of PM10 (PM2.5) during dust events in Mongolia. *Journal of the Aeolian Research*, 14, pp.3-13.
- Lindzen, R. S., and Brian, F. (1980) A Simple Approximate Result for the Maximum Growth Rate of Baroclinic Instabilities. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 37.
- Natsagdorj, L., Jugder, D. and Chung, Y. S. (2003) Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937-1999. *Journal of the Atmospheric Environment*, 37, pp.1401-1411.
- Qian, W., Quan, L., and Shi, S. (2002) Variations of the dust storms in China and its climatic control. *Journal of Climate*, 15(10), pp.1216-1229.
- Shao, Y. and Dong, C. H. (2006) A review on Asian Dust storm climate, modeling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52(1), pp.1-22.
- Stull, R. B. (1988) *An introduction to boundary layer meteorology*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Wang, X., Dong, Z., Zhang, J., and Liu, L. (2004) Modern dust storms in China: an overview. *Journal of Arid Environments*, 58(4), pp.559-574.
- Нацагдорж, Л. (1978) Монгол оронд хүчтэй салхи болох аэросиноптикийн нөхцөл. *УЦУШИИ-ийн ЭШБ*, 3, хх.3-18.
- Нацагдорж, Л., Жүгдэр, Д., ба Chung, Y. S. (2006) Монгол оронд ажиглагдсан шороон шуурганы судалгаа. *УЦУХ-ийн ЭШБ*, Тусгай дугаар, хх.85-100.
- Нацагдорж, Л. (2017) *Синоптик цаг уур*. Улаанбаатар: Адмон.
- Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2014) *Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлтийн үнэлээний хоёрдугаар илтгэл*, Улаанбаатар, хх.336.
- Цогт, Ж. (1987) Баруун зүгийн нутгаар болсон онц хүчтэй салхи, шороон шуурганы аэросиноптикийн тохироо. *Цаг агаарыг прогнолох аргачилсан зөвлөмж*, 5, хх.53-58.
- Цаг уур, Орчны шинжилгээний газар (ЦУОШГ). Боломжтой: <https://www.ecmwf.int/> (Нэвтэрсэн: 2020.06.10).