



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ  
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

---

*Geographical Issues*

*Volume 23 (1)*

*ISSN: 2312-8534*

*2023*

*Улаанбаатар хот*

## Даланзадгад орчмын уур амьсгалын горим, газрын гадарга орчмын температурын инверсийн судалгаа

### Study of climate regime and near-surface temperature inversion of Dalanzadgad city, South Mongolia

© Зуга<sup>1</sup>, Д.Сандэлгэр<sup>1,\*</sup>, Б.Баасансүрэн<sup>2</sup>, Д.Амаржаргал<sup>3</sup>, С.Эрдэнэсүх<sup>1</sup>  
Zuga<sup>1</sup>, Sandelger Dorligjav<sup>1,\*</sup>, Baasansuren Bayaraa<sup>2</sup>, Amarjargal Danzansambu<sup>3</sup>,  
Erdenesukh Sumiya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, Монгол Улс

<sup>2</sup>Өмнөговь аймгийн Ус, Цаг уур, Орчны Шинжилгээний Төв, ЦУОШГ, Монгол Улс

<sup>3</sup>Хүрээлэн буй орчин судлалын тэнхим, Агроэкологи, Бизнесийн Сургууль, Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль, Дархан-Уул, Монгол Улс

<sup>1</sup>Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar, Mongolia

<sup>2</sup>Hydrology, Meteorology and Environment Centre of Umnugovi province, NAMEM, Mongolia

<sup>3</sup>Department of Environment, School of Agroecology, Mongolian University of Life Sciences, Darkhan-Uul province, Mongolia

\*Харилцагч зохиогч: [d.sandelger@num.edu.mn](mailto:d.sandelger@num.edu.mn)

\*Corresponding author: [d.sandelger@num.edu.mn](mailto:d.sandelger@num.edu.mn)

Хүлээн авсан: 2023.02.03

Засварласан: 2023.04.18

Зөвшөөрөгдсөн: 2023.04.25

#### Хураангуй

Дэлхийн дулаарал, хуурайшил болоод хүний үйл ажиллагааны хамтын нөлөөн дор цаг уурын үзэгдэл, элементийн шинж чанар ихээхэн өөрчлөгдөж улмаар тэдгээрийн байгаль орчин, нийгэм, эдийн засагт үзүүлэх нөлөөлөл нэмэгдэж байна. Суурин газарт хүйтний улиралд агаарын бохирдлыг удаан хугацаанд хуримтлуулах байгалийн үзэгдэл болох газрын гадарга орчмын температурын инверс, түүний өөрчлөлтийг энд дурдаж болно. Температурын инверс нь агаар мандлын тогтвортой төлөв байдлыг бий болгосноор хэвтээ чиглэлийн салхины хурд, агаарын босоо хөдөлгөөн буюу конвекц төдийгүй эмх замбараагүй холилдох буюу турбулент солилцооны эрчмийг ихээхэн хэмжээтэйгээр сулруулдаг учир хот, суурин газрын байршилыг төлөвлөх, агаарын бохирдлын зэргийг үнэлэх, малын бэлчээрийг зөв зохистой ашиглах, өвөлжөө, хаваржааны газрыг сонгох, тухайн газар нутгийн бичил уур амьсгалыг үнэн зөв үнэлэхэд зайлшгүй шаардлагатай судалбал зохих цаг уурын нэг үзэгдэл юм. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд температурын инверсид нөлөөлдөг уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн горим, өөрчлөлтийг Өмнөговь аймгийн Даланзадгад сумын хувьд гаргаснаас гадна тэнд хүйтний улиралд үүсдэг газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үзүүлэлтүүдийн горимыг тодорхойлох, тэдгээрийн онцлогийг илрүүлэх, цаашилбал температурын инверс агаарын чанарт хэрхэн нөлөөлж байгааг үнэлэх оролдлогыг хийсэн болно. 1991-2020 оны сарын дундаж агаарын температурын утгууд 1961-1990 оны нормоос 0.4-2.3°C-ээр давсан нь температурын инверсийн үзүүлэлтүүд сулрах нөхцөл болж байна. Гэвч салхигүй тохиолдлын тоо өвлийн улиралд нийт хэмжилтийн 23%, хавар 11%, зун 14%, намарт 17-18%-д хүрэх бөгөөд энэ нь газрын гадарга орчмын температурын инверс үүсэх, эрчимжих таатай нөхцөл болно. Радиозондын хэмжилтээр хүйтний улиралд өглөөгүүр Даланзадгадад 4.9-7.1°C эрчимшилтэй, 190-240 метр зузаантай газрын гадарга орчмын температурын инверс, дээр дурдсан улирлын сарын 22-26 өдөр ажиглагдаж байна. Энд үүсдэг температурын инверсийн эрчимшил нь хүхэрлэг хийтэй (SO<sub>2</sub>)  $r=0.42-0.62$ ,  $p<0.0001$ , азотын давхар исэлтэй (NO<sub>2</sub>)  $r=0.31-0.52$ ,  $p<0.0001$ , PM<sub>2.5</sub> тоосонцрын агууламжтай  $r=0.62-0.69$ ,  $p<0.0001$ , PM<sub>10</sub> тоосонцрын агууламжтай  $r=0.69-0.75$ ,  $p<0.0001$  корреляцийн хамаарлыг үзүүлж байгаагаас үзвэл энэ нь агаарын бохирдол, тоосонцор хуримтлагдахад дунд зэрэг болон хүчтэй нөлөөллийг үзүүлдэг гэж дүгнэж болохоор байна.

**Түлхүүр үгс:** Уур амьсгалын горим, Хүйтний улирал, Температурын инверс, Инверсийн эрчимшил, Агаарын чанар, Хязгаарын үе давхарга

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Зуга, Б.Баасансүрэн: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдлийн дүн шинжилгээ, үндсэн бичвэр, С.Эрдэнэсүх, Д.Сандэлгэр: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэрийн засвар, үр дүнгийн хяналт, С.Эрдэнэсүх, Д.Сандэлгэр, Д.Амаржаргал болон Б.Баасансүрэн: Өгөгдлийн дүн шинжилгээ, үр дүнгийн хяналт, зураглал боловсруулалт.

**Abstract**

*Under the combined effect of global warming, dryness and human activities, the characteristics of climatic phenomena and elements are changing significantly, and their impact on the environment, society, and economy is increasing. The inversion of surface temperature and its changes can be mentioned here, which is a natural phenomenon that accumulates air pollution for a long time in the cold season. By creating a stable atmospheric condition, the temperature inversion significantly weakens the horizontal wind speed, vertical air movement or convection, as well as the intensity of vertical air mixing or turbulent exchange. Therefore, it is one of the climatic phenomena that should be studied, which is necessary to choose the place of wintering and springing and to assess the microclimate of the region accurately. For the scope of this research, the regime and changes of climate parameters that affect the near-surface temperature inversion layer have been determined in Dalanzadgad, Umnogov Province, as well as has been tried to determine the regime and its characteristics of the surface temperature inversion parameters over Dalanzadgad that occur in the cold season. Then, the relationships between the temperature inversion and the air quality are studied. The average monthly air temperature values for 1991-2020 exceeded the norm of 1961-1990 by 0.4-2.3°C, which is a condition for weakening the temperature inversion parameters. However, the number of windless cases reach 23% of total measurements in winter, 11% in spring, 14% in summer, and 17-18% in autumn, which will be a favourable condition for the formation and intensification of surface temperature inversion. According to radiosonde measurements, the near-surface temperature inversion with an intensity of 4.9-7.1°C and a thickness of 190-240 meters is observed in Dalanzadgad during the cold season on 22-26 days. The correlation coefficient for the intensity of the temperature inversion is  $r=0.42-0.62$ ,  $p<0.0001$  with sulfur dioxide ( $SO_2$ ),  $r=0.31-0.52$ ,  $p<0.0001$  with nitrogen dioxide ( $NO_2$ ),  $r=0.62-0.69$ ,  $p<0.0001$  with  $PM_{2.5}$  concentrations, and  $r=0.69-0.75$ ,  $p<0.0001$  with  $PM_{10}$  concentrations, it can be concluded that it has a moderate to strong correlation on air pollution and particle accumulation.*

**Keywords:** Climate regime, Cold season, Temperature inversion, Inversion intensity, Air quality, Boundary layer

**Оршил**

Дэлхий дахинд явагдаж буй хотжилт, хүн ам, нийгэм эдийн засгийн өсөлтийг дагаад агаарын бохирдол тасралтгүй нэмэгдсээр байна (Liang & Yang, 2019; West & West, 2018). Хүйтний улиралд хүний үйл ажиллагаагаар үүсэн агаарын бохирдлыг удаан хугацаанд хуримтлуулах цаг агаарын нөхцөлийг газрын гадарга орчмын температурын инверс бүрдүүлдэг (Sumiya et al., 2023). Тухайн газар нутгийн газарзүйн онцлогоос хамаараад газрын гадарга болон түүнтэй нийлж байгаа агаарын доод давхаргад хэвийн (байгалийн) нөхцөлөөс хүйтрэх буюу хүйтэн хүнд агаар хонхор газар тунах үзэгдлийг инверс гэж энгийнээр ойлгож болох юм (Sumiya, 2008; Мижиддорж, 1994). Өөрөөр хэлбэл тропосфер (орчих мандал)-д температур босоо чиглэлийн дагуу 100 метр тутамд 0.6-0.7°C буурдаг хэвийн нөхцөлд, агаарын тодорхой үе давхаргад температур өндрөөшөө дулаардаг аномаль тархалтыг температурын инверс гэнэ (Andrews, 2010). Хэрэв агаарын температур өндрөөшөө өөрчлөлтгүй буюу бараг өөрчлөлтгүй байвал изотермийн үе гэж тооцно. Изотермийн давхаргад температурын босоо чиглэл дэх түүний градиент  $\gamma=0$  байна. Изотерм нь инверсийн давхаргын тухайн (сул) тохиолдол юм (Матвеев, 2000).

Температурын инверсийг үүсэх нөхцөлөөр нь дулааны ба динамикийн гаралтай гэж ангилна. Дулааны гаралтай инверсэд цацрагийн (радиацийн) ба нүүлтийн (адвекцийн), динамикийн гаралтайд суултын, турбулентын болон фронтын инверсийг хамруулна. Температурын инверс хэд хэдэн хавсарсан процессийн үр дүнд тухайлбал цацрагийн хөрөлт ба нүүлтээр (радиаци-нүүлтийн), суултын болон цацрагийн дулаан алдалтаар (эсрэг циклоны), турбулент солилцоо болон суултаар гэх мэт хавсарсан байдлаар үүссэн байж болно. Температурын инверсийг доод хилийнх нь өндрөөр газрын гадарга орчмын (инверсийн доод хил газрын гадаргатай давхацсан), өндрийн (инверсийн доод хил тодорхой өндөрт байрласан) гэж ангилдаг (Константинов, 1995).

Температурын инверсийн давхаргын давтагдал буюу инверстэй өдрийн тоо агаар мандалд явагддаг олон тооны үзэгдэл, процесст ихээхэн нөлөө үзүүлнэ. Түүнтэй нягт холбоотойгоор манан будангийн үүсэл хувьсал, хүний үйл ажиллагаатай холбоотой агаарын ихээхэн хэмжээний бохирдол зэрэг үзэгдлийн давтагдал мөн өснө. Температурын инверсийн үед агаар маш тогтвортой төлөв байдалд орших бөгөөд ийм давхарга агаарын босоо хөдөлгөөн, эмх замбараагүй хутгалдалт, тэдгээртэй холбогдсон агаарын янз бүрийн хольцууд тухайлбал тоос, утаа, конденсацйн цөм зэргийн босоо чиглэлийн зөөгдөл, шилжилтийн явцыг саатуулдаг тул зарим тохиолдолд “саатуулагч давхарга” ч гэж нэрлэх нь бий (Sumiya, 2008).

Өвлийн улиралд дунд болон өндөр өргөргүүдэд дэвсгэр гадаргын цацрагийн баланс зөвхөн шөнө төдийгүй өдрийн цагт ч сөрөг ( $B<0$ ) утгатай байдаг. Үүнтэй холбоотойгоор газрын гадаргын туяарал (дэвсгэр гадаргын хөрөлт) тасралтгүй явагдах нөхцөлийг бүрдүүлснээр инверс удаан хугацааны туршид хадгалагдах боломжийг бий болгоно (Брыксин, 1999). Эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай Монгол орны хувьд газрын гадарга орчмын температурын инверс ихэвчлэн цацрагийн хөрөлтөөр (туяарлаар) үүсдэг (Цоозол, 1996).

Цацрагийн инверсийг дотор нь шөнийн ба өвлийн гэж ангилах боловч үүсэх процесийн хувьд дэвсгэр гадаргын цацрагийн баланс сөрөг утгатай үед газрын гадарга дулаанаа алдсанаас үүсэх ижил онцлогтой. Газрын гадаргын туяарлаар хөрснөөс, түүнтэй шүргэлцэж буй агаарын доод үеийн температур молекулын болон турбулент солилцоогоор буурна (Sumiya, 2008).

Цацрагийн инверс үүсэх аятай нөхцөл бол эффектив цацраг их (харьцангуй чийгшил болон үүлшил бага, ялангуяа доод мандлын үүлгүй) хөрснөөс авах дулаан авалт бага (хөрсний эзэлхүүний дулаан багтаамж болон дулаан дамжуулалт бага) нөхцөл бүрдэх явдал юм. Газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үүсэх, сарних явцад салхины хурд, түүний бүтэцэд ихээхэн хэмжээтэй нөлөөлөх бөгөөд юуны өмнө турбулент солилцооны коэффициентийн өөрчлөгдөлт, цаашилбал агаарын дулаан нүүлт (адвекц)-ийн процесстой нягт холбоотой юм. Газрын гадарга орчим намуун, эсвэл салхины хурд бага байх нь инверс үүсэх, нэгэнт үүссэн инверсийг улам эрчимжихэд зонхилох нөлөө үзүүлнэ (Ganbat & Baik, 2016; Sumiya et al., 2023; Wang, Kai, Jin, Sugimoto, & Dashdondog, 2017; Wang, Kai, Sugimoto, & Enkhmaa, 2018; Мелкая, Надеждина, & Шкляревич, 1986).

Цацрагийн инверс газрын хотгор, гүдгэрээс ихээхэн хамаарах ба ялангуяа хонхор, хотгор газарт цацрагийн хүчтэй хөрөлт явагдана. Нам дор газар руу хүйтэн агаар урсан орж, тэнд турбулент хөдөлгөөн үүсэх нөхцөлийг улам сулруулж, агаарын доод хэсгийн хөрөлтийг үүсгэнэ. Газрын хотгор, гүдгэрийн онцлогоор үүсэх энэ инверсийг уулзүйн (орографийн) ч гэж нэрлэх нь бий. Үнэмлэхүй бага температуртай хүйтэн агаар үүсэх нөхцөл нь гагцхүү нам дор хонхор, хотгор газрын хувийн туяарал, мөн агаарыг хонхорт удаан хугацаагаар тогтоон барьж байх явдал гэж үзжээ (Брыксин, 1999).

Өндөр уул нурууд, тэдгээрийн хооронд гүн хонхор, хотгор хосолсон Төв Азийн уулзүйн нөхцөл байдал нь жилийн хүйтэн улиралд газрын гадарга орчимд хүчтэй температурын инверс үүсэхэд ихээхэн тохиромжтой нөхцөлийг бүрдүүлнэ. Температурын инверсийн үе давхаргад хүйтэн агаар хуримтлагдаж, улмаар агаарын доод давхарга болоод Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрх агаар мандлын орчил урсгалын ерөнхий зүй тогтолд ихээхэн өөрчлөлтийг бий болгоно (Gerelchuluun & Ahn, 2014; Жадамбаа, 1972).

Тиймээс газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үүсэл, хувьсалд газрын гадарга орчмын агаарын температур, түүнийг нөхцөлдүүлэгч нарны цацрагийн горим, агаар мандлын тогтворшлыг илэрхийлэгч агаарын даралт, салхины хурдны горим зэрэг онцгой байр эзлэх тул эдгээр цогцоор нь судлах шаардлагатай.

Энэхүү судалгааны үндсэн зорилго нь Даланзадгад орчмын уур амьсгалын горимын өөрчлөлтийг тодорхойлж үүнээс үүдэн газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үзүүлэлтүүд хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг тодорхойлох явдал юм. Энэхүү зорилгодоо хүрэхийн тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүллээ. Үүнд:

- Судалгааны нутаг орчмын температурын инверстэй харилцан хамаарал бүхий уур амьсгалын хэмжигдэхүүний горим, онцлог болон өөрчлөлтийг шинэчлэн тогтоох
- Хүйтний улирлын температурын инверсийн давтагдал буюу инверстэй өдрийн тоо болон инверсийн зузаан, эрчимшлийг “Даланзадгад” аэрологийн станцын хэмжилтийн өгөгдлөөр нарийвчлан тодорхойлох
- Эцэст нь өвлийн улиралд Даланзадгадад үүсдэг газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшил, агаарын чанарын үзүүлэлт хоорондын хамаарлыг судлах зэрэг болно.

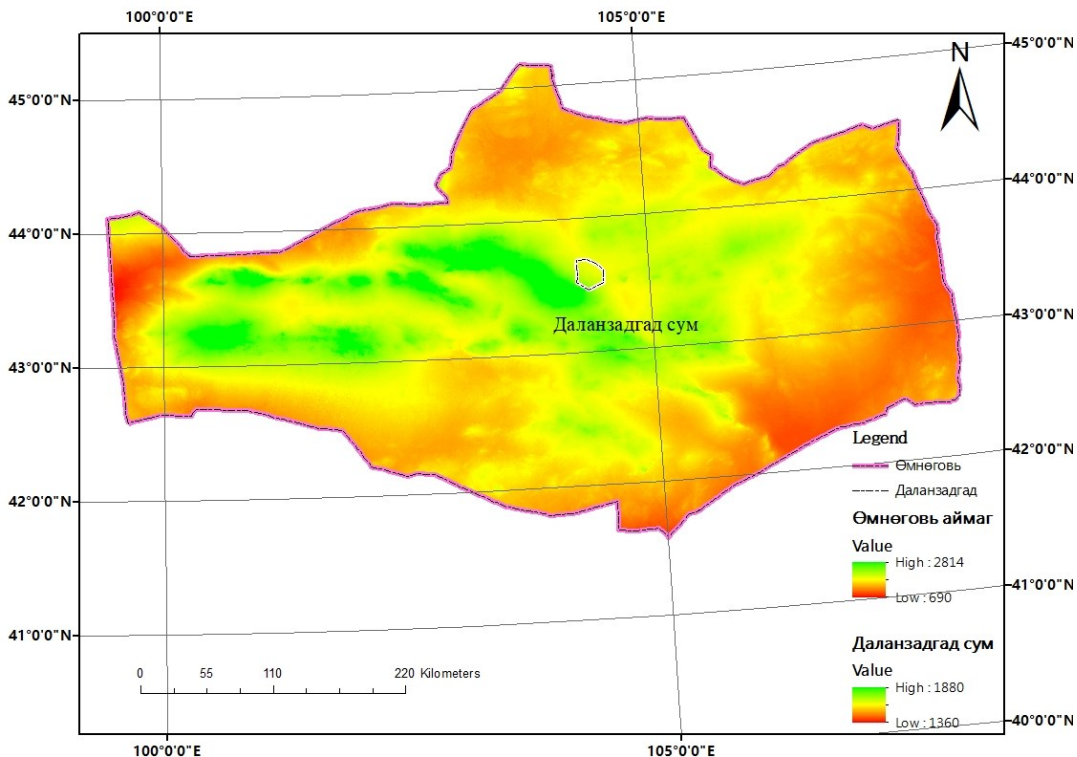
### **Судалгааны талбайн физик газарзүйн нөхцөл**

Монгол орны хамгийн өмнөд цэгт дээд агаар мандлын цаг уурын хэмжигдэхүүнийг хэмждэг аэрологийн станц Даланзадгад суманд байрладаг тул судалгааны талбайгаар сонгох үндэслэл болсон (Kai et al., 2021). Нөгөөтэйгүүр Монгол орны стратегийн орд газрууд төвлөрсөн Өмнөговь аймгийн хүн ам хамгийн их төвлөрсөн суурин газарт Даланзадгад хот зүй ёсоор тооцогдохын зэрэгцээ энд агаар бохирдлын түвшин жилээс жилд нэмэгдсээр байна (Soyol-Erdene, Ganbat, & Baldorj, 2021).

Судалгааны талбайн геоморфологийн онцлог нь говь цөлийн нүцгэн уулсаас буусан зэрэгцээ олон хуурай сайрууд уулсын өргөн том бэлийг туулж орчны талархаг газраар олон арван километр урт үргэлжилдэг явдал юм. Цөлийн бүсийн талархаг гадарга болон сайр хоорондын

намхан толгодууд, цөлийн сайрга, хайргаар нилдээ хучигдсан байдаг (Баасан, 2003; Селиванов, 1972). Даланзадгад сумын орчимд гадаргын өндөр дундажаар 1100-3000 метр орчим өндөртэй, өргөн том хотос, хад чулуурхаг уулсаар хүрээлүүлэн оршино. Говь гурван сайханы нуруу гадарга өргөгдөж томоохон уулсын системийг бүрдүүлнэ. Харин дээрх уулсын системээс баруун хойд талд орших хотос Даланзадгад сум байрладаг (Yembut, 2021; УЦУОШТ, 2019).

Даланзадгад сум Өмнөговь аймгийн төвд, аймагтаа хамгийн бага 476.0 км<sup>2</sup> нутаг дэвсгэртэй, хамгийн олон хүн ам суурьшсан (2021 оны байдлаар хүн амын тоо 28.854), говь цөлийн бүсэд багтах, дундажаар далайн түвшнээс дээш 1470 метр өндөрт өргөгдсөн, хойд өргөргийн 43°57', баруун уртрагийн 104°44' орших ба Ханхонгор сумын нутаг дэвсгэрт байрладаг (УЦУОШТ, 2019) (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил  
Эх сурвалж: <https://ita.cr.usgs.gov/GTOPO30>

Тус бүс нутаг нь жилийн нийлбэр хур тунадас багатай, хуурай дулаан эрс тэс уур амьсгалтайн дээр салхины хүч ихтэй тул ууршилт нь хур тунадасаа давдаг онцлогтой (Жамбаажамц, 1989; УЦУОШТ, 2019).

### Судалгааны материал, аргазүй

Өмнөговь аймгийн Даланзадгад суманд 1960-1996 оны хооронд чөлөөт агаар мандлын судалгааг “Метеорит” (МАРЗ төрлийн радиозонд бүхий) ОХУ-ын радиолокаторийн системийг ашиглан хийж байсан. Энэхүү системийг ашиглах хугацаанд боловсруулалтыг мм-ийн хуваарь бүхий цаасан дээр радиозондоос ирсэн мэдээг гар аргаар буулгаж, температур, чийгшил болон салхины үзүүлэлтийн өндрийн тархалтыг ойролцоогоор (хандлагыг илрүүлэх зорилгоор) гаргадаг байсан. Дээр дурдсан хугацааны “Даланзадгад” аэрологийн өртөөний хэмжилтийн мэдээг боловсруулан газрын гадарга орчимд ажиглагдсан температурын инверсийн үзүүлэлтүүдийн горимыг М.Цоозол (1996), Г.Баасанхүү, П.Гомболүүдэв (1996), С.Эрдэнэсүх (2008) нар тогтоосон байна. Ялангуяа С.Эрдэнэсүх (2008) тус сумын орчимд ажиглагдсан 5200 гаруй газрын гадаргын инверсийн тохиолдолд боловсруулалт хийжээ.

Судалгааны бүс нутагт 1996 оноос хойш радиозондын хэмжилт огт хийгдээгүй байсаар 2012 оны I сарын 01-ний өдрөөс эхлэн БНХАУ-ын Засгийн газрын тусламжаар суурилагдсан L-Band радарын систем болон түүний иж бүрдэл GTS1-2 төрлийн өндөр нарийвчлалтай радиозондыг

ашиглан тогтмол хэмжилт хийх болжээ. Энэхүү мэдээ, мэдээллийг ашиглан сүүлийн жилүүдэд хийгдсэн судалгаа хомс тул энэхүү судалгааг гүйцэтгэх нэг шалтгаан болсон.

Уур амьсгалын горим, өөрчлөлтийн судалгааг хийхдээ Даланзадгад цаг уурын өртөөний сүүлийн 30 жилийн (1991-2020 оны) бодит ажиглалтын мэдээг Цаг уур, Орчны Шинжилгээний Газар (ЦУОШГ)-аас цуглуулж түүнээс температурын инверсэд нөлөөлдөг цаг уурын агаарын температур, нарны цацраг, агаарын даралт, салхины хурдны дундаж, хамгийн их, бага, амплитуд, олон жилийн хандлага тодорхойлох гэх мэтийн төрөл бүрийн математик статистикийн үзүүлэлтүүдийг тооцоолж зохих дүгнэлтүүдийг өгсөн ба хэмжигдэхүүний улирлын хуваарилалтын хугацааны өөрчлөлтийг үнэлэхдээ дээрх 30 жилийн хугацааны дундаж (1991-2020 он) болон Дэлхийн Цаг Уурын Байгуулагаас (ДЦУБ) гаргасан уур амьсгалын нормыг (1961-1990) (<https://www.nccei.noaa.gov/products/wmo-climate-normals>) хооронд нь харьцуулах аргыг ашигласан.

Харин Даланзадгад орчимд үүсдэг газрын гадарга орчмын агаарын температурын инверсийн судалгааг гүйцэтгэхдээ 2012-2021 оны өдөр тумын (өглөө 08:00, орой 20:00) тутмын радиозондын хөөргөлтийн мэдээг ашиглан температурын инверсийн давтагдал, эрчимшил, зузааныг шинэчлэн тодорхойлсон. Гарсан үр дүнг С.Эрдэнэсүх (2008) нарын зарим эрдэмтдийн судалгааны үр дүнгүүдтэй харьцуулж тэнд үүсдэг инверсийн давхаргын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, хувьслыг үнэлсэн болно.

Судалгааны төгсгөлд Даланзадгад хотод 2012-2021 онуудад хэмжигдсэн агаарын бохирдлын цаг тутмын мэдээнд статистик боловсруулалт хийж газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үзүүлэлтүүдтэй уялдах статистик хамаарлыг корреляц, регрессийн дүн шинжилгээний аргаар (Shi & Conrad, 2009) судаллаа. Тооцоололд Microsoft Excel програмыг, зураг, диаграмм үйлдэхдээ ArcGIS, SigmaPlot, Matlab зэрэг шинжлэх ухааны зарим хэрэгслийг ашигласан.

## Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

### Даланзадгад орчмын уур амьсгалын горим, түүний өөрчлөлт

Температурын инверсийн давхаргад цаг уурын хэмжигдэхүүний горим, агаар мандлын үзэгдэл, процессийн шинж температурын хэвийн тархалттай төлөвөөс ихээхэн ялгаатай байна. Ялангуяа газрын гадаргад үүсдэг инверс нь хүн ам, амьд организмын хүрээлэн байгаа орчинд явагддагаараа судлаачдын анхаарлыг илүү татдаг (Sumiya, 2008). Иймд температурын инверсид нөлөөтэй уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн горим, өөрчлөлтийг доорх хэсгүүдэд судалж орууллаа.

**Нарны цацрагийн горим:** Даланзадгад орчмын нарны гийгүүллийн жилийн нийлбэр 3161 цаг байна. Өвлийн улиралд нарны өндөр бага байдгаас шалтгаалан нарны гийгүүлэл бага 212-223 цагийн хооронд хэлбэлзэнэ. Нарны өндөр ихэсэхэд нарны гийгүүлэл нэмэгдсэнээр хамгийн их утга V сард 307 цаг хүрнэ. Нарны өндрийн хамгийн их утга VI сард ажиглагдах хэдий ч үүлний тоо хэмжээ нэмэгдсэнтэй холбоотойгоор нарны гийгүүллийн максимум V сард ажиглагдсан. Зуны саруудад нарны гийгүүлэл 296-305 цаг, харин намартаа 227-282 цагийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Даланзадгад өртөөний нарны цацрагийн үзүүлэлтүүд

Сар	Нарны гийгүүлэл, цаг	Нийлмэл цацраг (Q), МДж·м <sup>-2</sup>	Хэвтээ хавтгайд ирэх шулуун цацраг (S'), МДж·м <sup>-2</sup>	Ойсон цацраг (R), МДж·м <sup>-2</sup>	Цацрагийн баланс (B), МДж·м <sup>-2</sup>
I	223	248.1	155.9	92.8	-28.1
II	218	329.2	209.8	101.1	24.7
III	256	489.9	299.4	122.1	144.1
IV	261	593.7	344.5	128.9	217.2
V	307	694.8	408.2	142	267.5
VI	305	675.6	407.9	129.9	286
VII	303	622.4	372.5	118.4	274.2
VIII	296	569.6	352.3	111.8	234.9
IX	282	508.8	340	106.3	178.3
X	271	406.3	275.2	97.4	95.6
XI	227	265.9	167	90.6	-10.6
XII	212	206	123.2	82.5	-31.4
Жил	3161	5610.3	3455.9	1323.8	1652.6

Даланзадгад орчимд хэвтээ хавтгай дээр тусах нарны шулуун цацрагийн жилийн нийлбэр 3455.9 МДж·м<sup>-2</sup>, хамгийн бага утга өвөл XII сард 123.2 МДж·м<sup>-2</sup>, хамгийн их утга дээр дурдсан шалтгаанаар хаврын сүүлч V сард ажиглагдаж 408.2 МДж·м<sup>-2</sup> хэмжээнд хүрчээ. Зуны саруудад хэвтээ хавтгай дээр тусах нарны шулуун цацрагийн сарын нийлбэр 352.3-407.9 МДж·м<sup>-2</sup>, харин намар саруудын нийлбэр 167.0-340.0 МДж·м<sup>-2</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Өвөл I болон II сард дээрх хэмжигдэхүүний нийлбэр харгалзан 155.9 ба 209.8 МДж·м<sup>-2</sup> байдаг бол хавар III болон IV сард харгалзан 299.4 ба 344.5 МДж·м<sup>-2</sup>-д хүрнэ (Хүснэгт 1).

Нийлмэл цацрагийн жилийн нийлбэр 5610.3 МДж·м<sup>-2</sup>, хамгийн бага утга өвөл XII сард 206.0 МДж·м<sup>-2</sup>, хамгийн их утга хаврын сүүлч V сард ажиглагдаж 694.8 МДж·м<sup>-2</sup> хэмжээнд хүрчээ. Зуны саруудад нийлмэл цацрагийн сарын нийлбэр 569.6-675.6 МДж/м<sup>2</sup>, харин намар саруудын нийлбэр 265.9-508.8 МДж·м<sup>-2</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Зуны улиралд нийлмэл цацрагийн орон зайн тархалтанд үүлшил ихээхэн нөлөөлөх учраас өргөргийн дагуух хуваарилалт өөрчлөгддөг байна (Жамбаажамц, 1989). Өвлийн I болон II сард нийлмэл цацрагийн нийлбэр харгалзан 248.1 ба 329.2 МДж·м<sup>-2</sup> байдаг бол хаврын III болон IV сард харгалзан 489.9 ба 593.7 МДж·м<sup>-2</sup>-д хүрнэ. Даланзадгад орчимд ойсон цацрагийн жилийн нийлбэр 1323.8 МДж·м<sup>-2</sup>, өвлийн саруудад 82.5-101.1 МДж·м<sup>-2</sup>, хавартаа 122.1-142.0 МДж·м<sup>-2</sup>, зундаа 111.8-129.9 МДж·м<sup>-2</sup>, намрын саруудад 90.6-106.3 МДж·м<sup>-2</sup>-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 1).

Даланзадгад орчимд газрын гадаргын цацрагийн балансын жилийн нийлбэр 1652.6 МДж·м<sup>-2</sup>, хамгийн бага утга XII сард -31.4 МДж·м<sup>-2</sup> буюу өвлийн энэ сард газрын гадаргын туяарал нарны нийлмэл цацрагаас их, харин хамгийн их утга VI сард 286.0 МДж·м<sup>-2</sup> буюу энэ тоон утга нарны нийлмэл цацраг, газрын гадаргаас ойсон болон түүнээс туяаруулж байгаа цацрагийн нийлбэрээс хир зэрэг их байгааг илэрхийлнэ. Газрын гадаргын цацрагийн балансын сарын нийлбэрийн сөрөг утга мөн XI болон I сард харгалзан -10.6 болон -28.1 МДж·м<sup>-2</sup> хэмжээтэй ажиглагдана. Өвлийн II сард цацрагийн балансын нийлбэр МДж·м<sup>-2</sup>, хаврын саруудад 144.1-267.5 МДж·м<sup>-2</sup>, зуны VII болон VIII сард харгалзан 274.2 ба 234.9 МДж·м<sup>-2</sup>, намрын IX болон X сард харгалзан 178.3 ба 95.6 МДж·м<sup>-2</sup> байлаа (Хүснэгт 1) (УЦУОШТ, 2019). Хүйтний улиралд ялангуяа өвлийн XII, I болон намрын сүүл XI сард цацрагийн баланс сөрөг гарч байгаа явдал нь температурын хүчтэй инверс энэ хугацаанд тогтдог болохыг илэрхийлж байна.

Шөнийн температурын бууралт газрын гадарга орчмын цацрагийн балансын үндсэн байгуулагч болох эффектив цацрагаас хүчтэй хамаардаг. Монгол орны өвлийн улирлын эффектив цацраг Чойбалсанд хамгийн их (14.4 Вт·м<sup>-2</sup>), Даланзадгадад хамгийн бага (-56.4 Вт·м<sup>-2</sup>) хэмжээтэй ажиглагдах ба эдгээрийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 1). Иймд Даланзадгад орчимд ажиглагдах газрын гадарга орчмын инверсийн давтагдал бусад нутгийнхаас харьцангуй бага, харин ялангуяа өвлийн улиралд тэгш тал газар байрлах Чойбалсанд дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтийн улмаас давтагдал их гарч байна. Энэ үзүүлэлт өвлийн улиралд Увс нуурын хотгорт байрлах Улаангомд бараг 8.2 Вт·м<sup>-2</sup> гарч байгаа юм. Агаарын чийгшил харьцангуй ихтэй Мөрөн станц дээр эффектив цацраг ойролцоогоор -19.7 Вт·м<sup>-2</sup> хүрдэг (Sumiya, 2008).

**Агаар болон хөрсний гадаргын дулааны горим:** Судалгааны нутагт цаг агаарын хувьд жилийн туршид бусад газар нутгийнхаас харьцангуй дулаан уур амьсгалтай юм (Жамбаажамц, 1989). Даланзадгад орчимд дулааны горим хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг илрүүлэхийн тулд Дэлхийн цаг уурын байгууллагаас гаргасан уур амьсгалын норм буюу 1961-1990 оны агаарын температурын дундажийг 1991-2020 оны дундажтай харьцууллаа. Судалгааны талбай орчимд агаарын температурын олон жилийн дундаж 5.7°C байна (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Даланзадгад өртөөний сарын дундаж агаарын температур /°C-ээр/

Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
1991-2020	-13.9	-9.2	-1.1	8.0	14.7	20.4	23.0	21.0	14.8	5.8	-3.9	-11.7	5.7
1961-1990	-14.9	-11.5	-3.1	6.2	14.3	19.4	21	19.4	13.3	4.9	-5.3	-12.7	4.3
Өөрчлөлт	1.0	2.3	2.0	1.8	0.4	1.0	2.0	1.6	1.5	0.9	1.4	1.0	1.4
T <sub>max</sub>	11.1	16.1	21.9	30.7	33.8	37.4	39.9	37.5	32.4	29.0	20.1	12.5	39.9
T <sub>min</sub>	-33.0	-32.4	-26.7	-18.0	-10.7	2.2	4.5	3.5	-6.5	-18.7	-25.7	-31.1	-33.0
Алдундаж	30.0	32.7	34.9	35.0	32.5	28.0	24.1	25.7	29.4	32.4	33.4	31.0	30.8
A <sub>max</sub>	44.1	48.5	48.6	48.7	44.5	35.2	35.4	34	38.9	47.7	45.8	43.6	42.9

Хүснэгт 2-оос үзвэл бүх саруудад 1991-2020 оны агаарын температурын дундаж 1961-1990 оны нормоос 0.4-2.3°C-ээр давсан, ялангуяа II сард 2.3°C, III болон VII сард тус бүр 2.0°C,



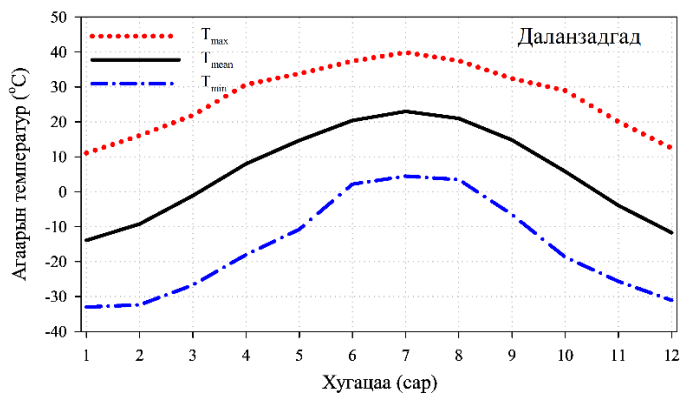
IV сард  $1.8^{\circ}\text{C}$ -ээр, жилийн дундаж нь  $1.4^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаарсан. Харин V болон X саруудад харгалзан  $0.4^{\circ}\text{C}$  ба  $0.9^{\circ}\text{C}$ -ээр нормоос хэтэрсэн нь хамгийн бага өөрчлөлт байлаа. Энэхүү дулаарал нь судалгааны нутагт газрын гадарга орчмын температурын инверс үүсэх нөхцөл болон нэгэнт үүссэн инверсийн үзүүлэлтүүдийг бууруулах хүчин зүйл болж байна.

Агаарын температурын олон жилийн дундажийн хамгийн бага утга I сард Даланзадгадад  $-13.9^{\circ}\text{C}$ , хамгийн их утга VII сард  $23.0^{\circ}\text{C}$  хүрнэ. Улирлын дундаж агаарын температур Даланзадгад орчим өвөл  $-11.6^{\circ}\text{C}$ , хавар  $7.2^{\circ}\text{C}$ , зун  $21.5^{\circ}\text{C}$ , намар  $5.6^{\circ}\text{C}$  байна. Хүснэгт 2-ын 4, 5 дугаар мөрүүдэд харгалзан 1991-2020 онд Даланзадгад орчим хэмжигдсэн агаарын үнэмлэхүй их, үнэмлэхүй бага температурын сарын утгыг үзүүлэв. Агаарын температурын үнэмлэхүй их утга Даланзадгадад 2010 оны VII сарын 27-ны өдөр  $39.9^{\circ}\text{C}$ , харин үнэмлэхүй бага утга  $-33.0^{\circ}\text{C}$  хэмжигдсэн. Тэгвэл судалгааны нутагт 1964 оны II сарын 05-ны өдөр агаарт  $-34.2^{\circ}\text{C}$  хүрч хүйтэрч байжээ.

Хүснэгт 2-ын 6, 7 дугаар мөрөнд сар, жилийн агаарын температурын дундаж ( $A_{\text{дундаж}}$ ) болон үнэмлэхүй ( $A_{\text{max}}$ ) амплитудыг үзүүлэв. Эндээс үзэхэд сар тус бүрийн дундаж болон үнэмлэхүй амплитуд шилжилтийн улиралд их, харин тогтвортой агаарын масс тогтсон өвөл, зуны улиралд харьцангуй бага байна. Агаарын температурын “сарын дундаж амплитуд” гэдэгт үнэмлэхүй их, үнэмлэхүй бага температурын сарын бүрийн дундаж утга хоорондын зөрүүг авлаа. Сарын дундаж амплитудын хамгийн бага утга Даланзадгадад хамгийн бага утга зуны улиралд  $24.1-28.0^{\circ}\text{C}$ , хаврын саруудад хамгийн өндөр  $32.7-35.0^{\circ}\text{C}$ , жилийн дундаж утга  $30.8^{\circ}\text{C}$  байна.

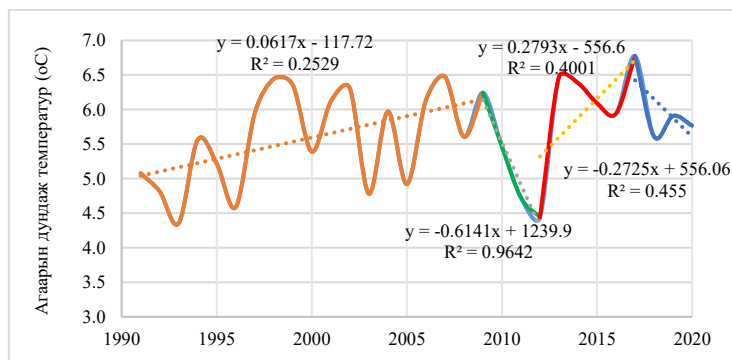
Агаарын температурын “үнэмлэхүй амплитуд” буюу тухайн сард хэмжигдсэн үнэмлэхүй их болон үнэмлэхүй бага температурын зөрүү Даланзадгадад зун VIII сард хамгийн бага  $34.0^{\circ}\text{C}$ , хавар IV сард хамгийн их  $48.7^{\circ}\text{C}$ , зун улиралд энэ зөрүү буураад, харин намрын саруудад дахин өсч X сард  $47.7^{\circ}\text{C}$  хүрнэ. Энэ үзүүлэлтийн жилийн дундаж  $42.9^{\circ}\text{C}$  байна.

Агаарын температурын жилийн доторх явцыг Зураг 2-д үзүүлэв. Агаарын дулаан хүйтэн жилийн дотор тэгш хэмтэй (симметр) явцтай.



Зураг 2. Агаарын температурын жилийн доторх хуваарилалт

Олон жилийн агаарын температурын явц Даланзадгад орчимд хамгийн дулаан жил 2017 он бөгөөд олон жилийн дундажаас  $1.1^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаан бол хамгийн хүйтэн жил 1993 болон 2012 он ба олон жилийн дундажаас мөн  $1.3^{\circ}\text{C}$ -ээр хүйтэн байжээ (Зураг 3).



Зураг 3. Жилийн дундаж агаарын температурын олон жилийн явц



Зураг 3-аас үзэхэд судалгааны үс нутагт дулаарал ажиглагдаж байгаа хэдий ч 1990 оноос 2009 оныг хүртэл агаарын температур шугаман хуулиар ( $r^2=0.25$ ) өсөөд, 2009 оноос 2012 оныг хүртэл огцом буурсан ( $r^2=0.96$ ) бол үүнээс цааш 2017 оныг хүртэл нилээд огцом ( $r^2=0.40$ ) өсөлт ажиглагдсан. Харин 2017 оноос хойш агаарын температурын бууралт ( $r^2=0.46$ ) илэрч байна.

Агаарт жилийн туршид  $-20.0^\circ\text{C}$ -ээс доош орж хүйтэрсэн өдрийн тоо судалгааны нутагт 37-39,  $-25.0^\circ\text{C}$ -ээс доош орж хүйтэрсэн өдрийн тоо 9-11 хүрдэг бол  $25.0^\circ\text{C}$ -ээс давж халсан өдрийн тоо Даланзадгад орчимд 80-82,  $30.0^\circ\text{C}$ -ээс давж халсан өдрийн тоо 23-25 өдөр хүрнэ.

Говийн бүс хөрсний хэв шинжийн хувьд нунтаг карбонаттай цайвар хүрэн хөрсний тархалтын хойт хил орчимд жилд 200 мм тунадасны ижил шугамаар, цөлийн хойд хил нь хээржүү цөлийн бор хөрсний урд зах буюу цөлийн бор саарал хөрсний хойд зах буюу жилд 100 мм тунадасны ижил шугамаар үндсэндээ зааглагддаг (Доржготов, 2003). Даланзадгад орчимд заримдаг цөлийн цайвар хүрэн, хүрэн, бор саарал, хужир, марз бүхий хөрс зонхилно.

Даланзадгад орчимд хөрсний гадаргын жилийн дундаж температур  $8.0^\circ\text{C}$ , олон жилийн дундажаар I сард хамгийн хүйтэн  $-15.1^\circ\text{C}$ , VII сард хамгийн дулаан  $28.3^\circ\text{C}$  орчим байна (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Сарын дундаж хөрсний гадаргын температур ( $^\circ\text{C}$ -ээр), (1991-2020)

Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
1991-2020	-15.1	-9.0	0.8	11.9	20.2	26.1	28.3	25.5	17.9	7.0	-4.6	-13.3	8.0
$T_{\text{surf.max}}$	9	20	32	47	56	59	62	58	51	37	23	10	39
$T_{\text{surf.min}}$	-32	-29	-24	-14	-6	2	7	4	-5	-14	-24	-30	-14

Даланзадгадад хөрсний гадаргын үнэмлэхүй хамгийн их температур  $69^\circ\text{C}$ , үнэмлэхүй хамгийн бага температур  $-40^\circ\text{C}$  хүрч ажиглагдсан. Хүснэгт 3-ийн 2 болон 3 дугаар мөрөнд сар, жилийн хөрсний гадаргад хэмжигдсэн үнэмлэхүй их болон үнэмлэхүй бага температурын утгыг үзүүлээ. Эндээс үзвэл хөрсний гадаргын хамгийн их температурын утга бүх сард эерэг, өвлийн саруудад Даланзадгадад өвөл  $9-20^\circ\text{C}$ , зун  $58-62^\circ\text{C}$ , хавар, намар  $23-56^\circ\text{C}$  байдаг. Тэгвэл хөрсний гадаргын хамгийн бага температурын утга зуны саруудаас бусад сард сөрөг, хүйтний улиралд энэхүү хэмжигдэхүүн  $-14.0...-32^\circ\text{C}$  хүрдэг.

Даланзадгадад хөрсний гадаргын температурын жилийн амплитуд сарын дундаж температураар  $43.4^\circ\text{C}$ , үнэмлэхүй их болон бага температурын дундажаар  $94.0^\circ\text{C}$ , үнэмлэхүй хамгийн их, бага температураар  $109.0^\circ\text{C}$  буюу жилийн доторхи дулаан хүйтний өндөр хэлбэлзэлтэй байна.

“Даланзадгад” станцын хэмжилтээр өвлийн I, XII сар болон намрын сүүл XI сард агаарынхаасаа  $0.7-1.6^\circ\text{C}$ -ээр хүйтэн буюу газрын гадарга орчмын температурын инверс тогтдог болохыг илэрхийлж байгаа бол бусад саруудад агаараасаа, тэр дундаа зундаа  $4.5-5.7^\circ\text{C}$ -ээр дулаан байна (Хүснэгт 2 ба 3). Хөрсний гадаргын температурын олон жилийн явцаас үзэхэд цаашид энэ хэмжигдэхүүн Даланзадгад сумын орчимд огцом өсөх хандлага илэрч байна. Тухайлбал хөрсний гадаргын температурын 1981-2010 оны дундажаас (уур амьсгалын түр норм)  $1.6^\circ\text{C}$ -ээр 1991-2020 оны дундажаас сүүлийн 10 жилийн энэ хэмжигдэхүүний дундаж  $0.7^\circ\text{C}$ -ээр тус тус нэмэгдсэн. Энэ байдал газрын гадаргын температурын инверсийн үзүүлэлт буурах үндсэн шалтгаан болно.

Хөрсний гадаргад  $-30.0^\circ\text{C}$ -ээс доош орж хүйтэрсэн өдрийн тоо жил 8-9, Даланзадгадад 4-5 байдаг бол  $40.0^\circ\text{C}$ -ээс давж халсан өдрийн тоо Даланзадгад орчим 119-123 хүрнэ. Хөрсний гадаргад  $50.0^\circ\text{C}$ -ээс давж халсан өдрийн тоо Даланзадгадад 58-60,  $60.0^\circ\text{C}$ -ээс давж халсан өдрийн тоо 7-8 өдөр байна.

**Агаарын даралтын горим:** Нарны цацраг дэвсгэр гадаргад ирээд зарим хэсэг нь буцаж ойдог бол зарим хэсэг нь түүнд шингэснээр дулааны энергид шилжинэ. Дэвсгэр гадаргын жигд бус байдлаас болоод гадарга мөн харилцан адилгүй халж, улмаар агаарын даралтын жигд бус хуваарилалт бий болно. Эндээс даралт ихтэй (хүйтэн) газраас багатай (дулаан) хэсэг рүүгээ хэвтээ чиглэлийн дагуу шилжих агаарын урсгал үүсгэнэ.

Төв Азийн эх газарлаг нутагт өндөр уулс, тэдгээрийн хоорондох ихээхэн хотгор, хөндий, уудам өргөн говь, тал хосолсон Монгол орны хувьд даралтын орны улирлын өөрчлөлт ихтэй байдаг онцлогтой (Жамбаажамц, 1989). Монгол оронд жилийн хүйтний улиралд эсрэг циклон, дулааны улиралд градиент бага нам даралт (циклон)-ын орон зонхилох тул салхины хурд ерөнхийдөө бага, жилийн дундаж салхины хурд  $1.5-4.8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  орчим байна. Шилжилтийн улиралд манай орны нутаг дээгүүр дундад өргөргийн өндрийн фронтын бүс дамнан байрлах тул фронтын гаралтай циклоны эрчимшил ихсэж, салхины хурдны хоёр их утга ажиглагдах бөгөөд үүнээс

хаврынх нь зонхилох их утга болно. Монгол орны хотгор гүдгэр нь салхины оронд ихээхэн нөлөөлнө. Өвлийн улиралд газар орчмын агаарын доод үе давхаргад ихээхэн хүйтэн, хүчтэй инверс тогтох нь агаарын дээд, доод (инверстэй харьцангуй) хэсгийн хөдөлгөөнийг нэг ёсондоо тусгаарласан мэт болно. Иймээс өвлийн улиралд эсрэг циклонлог цаг агаартай, хүчтэй инверстэй үед хажуугийн салхи зонхилон ажиглагдах бөгөөд өдрийн цагт хөндийн салхи бараг илрэхгүй (Жадамбаа, 1972; Нацагдорж, 1982).

Хүснэгт 4-д Даланзадгад орчмын сар, жилийн дундаж агаарын даралтыг үзүүлэв.

Хүснэгт 4. Сарын дундаж агаарын даралт, гПа-аар (1991-2020)

Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
P <sub>1991-2020</sub>	855.2	853.3	852.3	850.7	849.0	847.1	846.6	849.6	853.4	855.7	854.8	855.6	851.9
P <sub>1961-1990</sub>	855.1	853.8	852.9	850.5	849.8	847.4	846.6	849.3	853.6	856.1	852.2	855.6	851.9
Өөрчлөлт	0.1	-0.5	-0.6	0.2	-0.8	-0.3	0.0	0.3	-0.2	-0.4	2.6	0.0	0.0
P <sub>max</sub>	874.9	873.8	872.1	868.2	865.5	860.4	856.0	863.4	868.6	871.4	877.1	872.3	868.6
P <sub>min</sub>	833.2	830.1	830.9	830.6	833.9	833.8	835.9	835.4	838.8	832.7	835.6	833.3	833.7

Хүснэгт 4-өөс үзвэл Даланзадгадад 1991-2020 онд агаарын даралтын жилийн дундаж 851.9 гПа байна. Дээрх хугацааны агаарын даралтын хэмжилтийн мэдээнээс үзэхэд агаарын даралтын жилийн дундаж 851.0-852.9 гПа-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Зураг 4). Агаарын даралтын норм буюу 1961-1990 оны дундажийг 1991-2020 оны дундажтай жишиж үзэхэд өвөл II болон хаврын эхэн III сард харгалзан 0.5 ба 0.6 гПа-аар, хаврын сүүл V болон зуны эхэн VI сард харгалзан 0.8 ба 0.3 гПа-аар, намар IX болон X саруудад харгалзан 0.2 ба 0.4 гПа-аар буурсан, VII болон XII сард өөрчлөлтгүй, харин бусад хугацаанд 0.1-2.6 гПа-аар өссөн. Тухайлбал намрын сүүл XI сард 2.6 гПа-аар өссөн байна. Агаарын даралтын жилийн дундажийн хувьд дээрх зөрүү тэг буюу өөрчлөлтгүй байв.

Хүснэгт 4-ийн 4 болон 5 дугаар мөрөнд “Даланзадгад” цаг уурын станц дээр хэмжигдсэн үнэмлэхүй их ба үнэмлэхүй бага агаарын даралтын утгыг үзүүлээ. Даланзадгадад агаарын даралтын үнэмлэхүй их утгын жилийн дундаж 868.6 гПа, энэ үзүүлэлтийн жилийн явцаас үзэхэд хамгийн их хэмжээндээ тогтвортой агаарын хүйтэн масс тогтож эхлэхэд үед буюу XI сард 877.1 гПа хэмжигдсэн. Энэ хэмжилтийн утга Даланзадгад орчим цаг уурын хэмжилт хийж эхлэснээс хойшхи агаарын даралтын үнэмлэхүй их утга бөгөөд 2004 оны XI сарын 24-ний өдөр ажиглагджээ. Агаарын даралтын энэхүү үнэмлэхүй их утгын олон жилийн дундаж агаарын даралтын утгаас хазайх харьцангуй хазайлт нь 3%-тай тэнцүү өөрөөр хэлбэл энэ бүс нутагт агаарын даралт хамгийн ихдээ олон жилийн дундаж агаарын даралтын утгын 3%-тай тэнцүү хэмжээтэй өсдөг гэсэн үг юм.

Агаарын даралтын үнэмлэхүй бага утгын жилийн дундаж Даланзадгадад 833.7 гПа, дээрх үзүүлэлтийн жилийн явцаас үзвэл үнэмлэхүй бага утга өвлийн сүүлч II сард (харьцангуй эрт дулаардагтай холбоотой) 830.1 гПа хэмжээтэй ажиглагдсан. “Даланзадгад” станц дээр агаарын даралтын хэмжилт хийж эхлэснээс хойш дээр дурдсан (830.1 гПа) энэхүү хэмжигдэхүүн 2010 оны II сарын 23-ны өдөр ажиглагдсан. Агаарын даралтын энэхүү хамгийн бага утгын олон жилийн дундаж агаарын даралтаас хазайх харьцангуй хазайлт 2%-тай тэнцүү өөрөөр хэлбэл энэ бүс нутагт агаарын даралт хамгийн багадаа олон жилийн дундаж агаарын даралтын утгын 2%-тай тэнцүү хэмжээтэй буурдаг болохыг илэрхийлнэ.

**Салхины горим:** Хүснэгт 5-аар Даланзадгад орчмын салхины дундаж хурдны норм, сарын болон жилийн салхины хурдны дундаж, салхины үнэмлэхүй их хурд болон түүний дундажийг үзүүлэв.

Хүснэгт 5. Сар, жилийн дундаж салхины хурд, (м·с<sup>-1</sup> -ээр) (1991-2020)

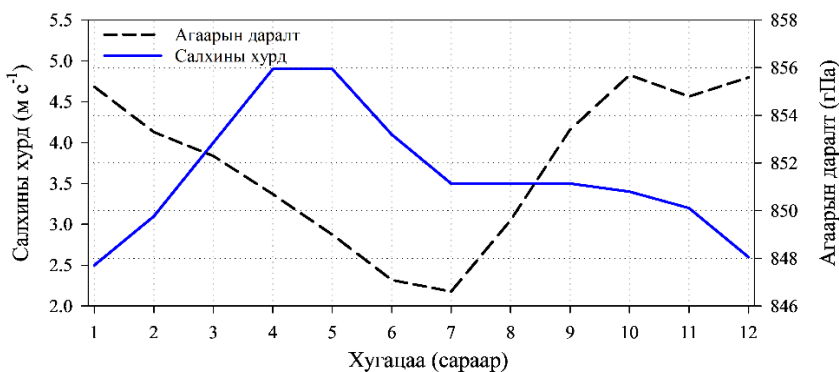
Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
V <sub>1961-1990</sub>	2.4	2.9	3.9	5.2	5	4.1	3.6	3.2	3.2	3	3	2.5	3.5
Өөрчлөлт	0.1	0.1	0.1	-0.3	-0.1	0.0	-0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1
V <sub>1991-2020</sub>	2.5	3.0	4.0	4.9	4.9	4.1	3.5	3.5	3.5	3.4	3.2	2.6	3.6
V <sub>max</sub>	32	34	34	40	40	28	28	24	28	40	40	34	40
V <sub>min</sub>	16.5	17.4	21.4	22.8	22.6	19.5	18.6	18.5	18.0	19.0	19.9	19.0	19.4

Хүснэгт 5-аас үзэхэд “Даланзадгад” станцын 1991-2020 оны цаг уурын мэдээгээр жилийн дундаж салхины хурд 3.6 м·с<sup>-1</sup> байна. Сар тус бүрээр нь салхины хурдны дундажийг гаргахад өвөл

бага  $2.5-3.0 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , хавартаа өндөр  $4.0-4.9 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , зуны саруудад  $3.5-4.1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , намар  $3.2-3.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ийн хооронд хэлбэлздэг (Зураг 4).

Салхины дундаж хурдны норм буюу 1961-1990 оны салхины хурдны дундажаас 1991-2020 оны жилийн дундаж хаврын IV, V болон зуны дунд VII сард буурсан, VI сард өөрчлөлтгүй, бусад саруудад өссөн, тухайлбал намар  $0.2-0.4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр, зун VIII сард  $0.3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр, өвлийн саруудад тус бүр  $0.1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр өсчээ. Харин хавар IV сард  $0.3 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр, V болон VII сард тус бүр  $0.1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр буурсан. Жилийн дундаж салхины хурд  $0.1 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  -ээр нэмэгдсэн байна.

Даланзадгад орчимд үнэмлэхүй хамгийн их салхины хурд хавар IV, V болон намар X, XI саруудад тус бүр  $40 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ , өвлийн II, XII болон хавар III сард тус бүр  $34 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  хүрчээ. Энэ хэмжигдэхүүний дундажийн хамгийн их нь хаврын улиралд  $21.4-22.8 \text{ м/с}$  бол хамгийн багадаа өвөл I болон II сард харгалзан  $16.5 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  ба  $17.4 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$  байна.



Зураг 4. Даланзадгад орчмын агаарын даралт, ба салхины дундаж хурдны жилийн явц

Салхины хурдны жилийн явцад хавар, намрын улиралд хоёр удаагийн максимум утга, өвөл, зуны улиралд хоёр удаа минимум утга ажиглагдах бөгөөд хаврынх нь үндсэн их утга байх бөгөөд агаар, хөрс хамгийн хуурай үе, салхины хурд хамгийн их үе хоёр давхцахаас болж жилд тохиолддог хүчтэй салхитай болон шороон шуургатай өдрийн тооны гол хувь нь зөвхөн хаврын саруудад тохиолдоно (Жамбаажамц, 1989).

Хаврын улиралд циклоны идэвхжил ихсэж, орчих мандалд агаарын урсгалын хурд нэмэгдэж ирэх, нөгөө талаар инверсийн эрчимшил суларч, агаар мандалд тогтворгүй үе илэрч эхэлдэг болохоор салхины оронд орон нутгийн уулзүйн үзүүлэх нөлөө ерөнхийдөө багасаж, салхины горим орчил урсгалын хүчин зүйлээр үндсэндээ тодорхойлогдоно (Нацагдорж, 1982).

Зуны улиралд орчих мандалд агаарын урсгалын хурд буурах, даралтын хэвтээ шатлуурын хэмжээ багасан конвекцийн эрчим ихсэх зэрэгтэй уялдан салхины оронд уулзүйн үзүүлэх нөлөө ахин ихсэнэ. Зун хязгаарын үе давхаргад өндөр нэмэгдэх тутам салхины цагийн зүүний дагуух эргэлт ажиглагддаг байна.

Хүснэгт 6-аар Даланзадгад орчмын салхины зүгийн улирлын давтагдлыг 16 зовхисоор нарийвчлан үзүүлээ.

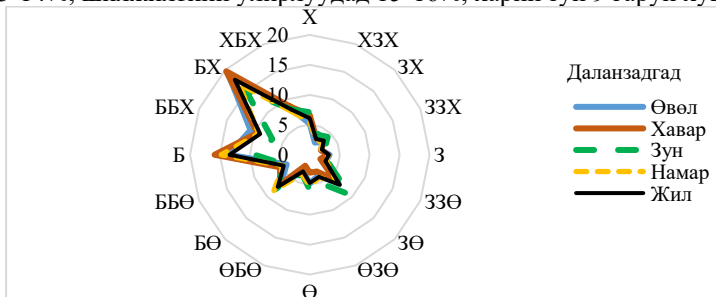
Хүснэгт 6. Салхины зүгийн давтагдал, (%-аар (1991-2020))

Сар	Намуун	X	XЗХ	ЗХ	ЗЗХ	З	ЗЗӨ	ЗӨ	ӨЗӨ	Ө	ӨБӨ	БӨ	ББӨ	Б	ББХ	БХ	ХБХ
Өвөл	23.0	5.2	2.2	3.0	2.1	3.3	2.9	6.8	3.7	4.8	3.0	7.0	4.2	13.6	10.7	19.4	8.3
Хавар	10.8	6.6	2.9	3.4	2.0	3.0	1.9	5.9	3.0	3.0	2.0	7.0	5.4	15.9	9.5	19.7	8.7
Зун	13.8	7.1	3.6	4.2	2.7	3.6	3.3	9.4	5.2	5.9	3.4	8.1	4.4	9.2	6.8	15.0	8.2
Намар	17.6	5.5	2.7	2.9	2.0	3.1	3.0	6.4	4.1	5.2	3.5	8.5	4.8	14.8	9.2	16.7	7.8
Жил	16.3	6.1	2.8	3.3	2.2	3.2	2.8	7.1	4.0	4.7	3.0	7.6	4.7	13.4	9.0	17.7	8.2

Зураг 5 болон Хүснэгт 6-аас үзэхэд өвөл салхи хэмжсэн нийт хэмжилтийн 23%-д нь, хавар бараг 11%-д нь, зун мөн 14 орчим хувьд нь, намрын улиралд 17-18%-д нь “намуун” буюу салхигүй тогтуун байдаг байна. “Намуун” байх тохиолдлын жилийн дундаж давтагдал 16.3% байлаа.

Даланзадгад орчимд баруун хойд (БХ) зүгийн салхи хамгийн их давтагдалтай буюу тухайн бүс нутгийн хувьд зонхилох салхины зүг гэж үзэж болно. Баруун хойд (БХ) зүгийн салхины жилийн дундаж давтагдал 17-18%, нарийвчлан авч үзвэл энэ зүгийн салхи өвөл нийт салхины хэмжилтийн 19 гаруй хувь, хавар 19-20%, зун 15%, намар 16-17%-ийн давтагдалтай тус тус ажиглагдана.

Дараагийн давтагдал ихтэй салхины зүг бол баруун (Б) зүгийн салхи юм. Энэ зүгийн салхины жилийн давтагдал 13 гаруй хувь байна. Хүснэгтээс үзвэл баруун (Б) зүгийн салхины давтагдал өвөл 13-14%, шилжилтийн улирлуудад 15-16%, харин зун 9 гаруй хувь байдаг.



Зураг 5. Даланзадгад орчмын салхины чиглэлийн давтагдал (%-аар)

Даланзадгад орчим баруун, баруун хойд (ББХ) зүгийн салхины жилийн давтагдал 9% байна. Энэ зүгээс салхилах салхины давтагдал өвөл бараг 11%, шилжилтийн улирлуудад 9-10%, зун бараг 7% байдгийг хүснэгт, диаграммаас харж болно (Хүснэгт 6, Зураг 5).

**Хүйтний улирлын газрын гадарга орчмын температурын инверсийн үзүүлэлтүүд**

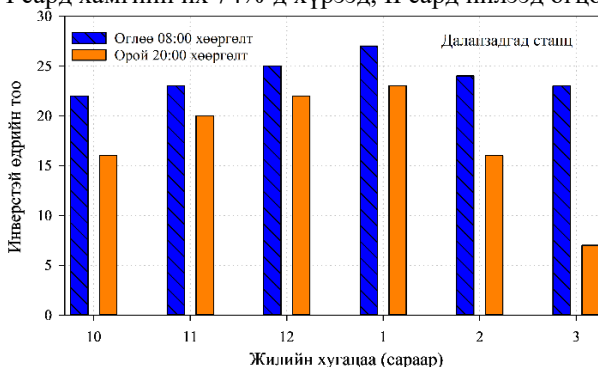
**Температурын инверсийн давтагдал:** Температурын инверсийн давтагдал гэдэг нь энгийнээр тохиолдлын тоог хувиар илэрхийлсэн үзүүлэлт юм. Тухайлбал энэ үзүүлэлтийг 80% гэж тооцоолсон бол 30 хоногтой сарын хувьд 24 хоногт нь инверс ажиглагдсан гэсэн үг юм. Температурын инверс үүслийн хувьд олон төрөлтэй боловч газрын гадарга орчмын инверс ихэвчлэн дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтөөр (туяарлаар) үүсдэг. Иймд газрын гадаргын туяарал харьцангуй их байх жилийн хүйтний улиралд болон хоногийн шөнийн хугацаанд давтагдал их байдгийг тогтоосон (Матвеев, 2000).

Хүйтний улиралд Даланзадгад орчим 2012-2021 онд ажиглагдсан газрын гадарга орчмын температурын инверсийн давтагдлыг Хүснэгт 7-д үзүүлээ. Аэрологийн хэмжилтээр хүйтний улирлын өглөөний газрын гадарга орчмын температурын инверсийн давтагдлын дундаж 79%, оройн хөөргөлтөөр тогтоосон дундаж 58%, хүйтний улирлын дундаж давтагдал 69% байна.

Хүснэгт 7. Температурын инверсийн давтагдал (Даланзадгад аэрологийн станц)

Хугацаа	X	XI	XII	I	II	III	Дундаж
Өглөөний хэмжилт (%-иар)	73	76	81	87	85	73	79
Оройн хэмжилт (%-иар)	53	67	73	74	58	21	58
Зөрүү (%-иар)	20	9	8	13	27	52	21

Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улирлын газрын гадарга орчмын температурын инверс ажиглагдах давтагдал 73-87% буюу сард 23-27 өдөр байна. Харин оройн хэмжилтийн 21-74%-д температурын инверс ажиглагдах ба 7-23 өдөр инверстэй байна. Даланзадгад орчмын өглөө ажиглагдах инверсийн давтагдлын өвлийн улирлын явц XII сараас (81%) эхлэн өсөөд, I сард хамгийн их уггандаа буюу 87% хүрээд, II сард 85% болж буурах бол оройн хэмжилтээр XII сард 73%-ийн давтагдал ба I сард хамгийн их 74%-д хүрээд, II сард нилээд огцом 58% болж буурдаг.



Зураг 6. Даланзадгад орчимд хүйтний улиралд тогтох инверстэй өдрийн тоо

Өвлийн улирлын инверсийн давтагдлыг судалсан судлаачид дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлттэй холбож тайлбарласан байдаг (Sumiya, 2008; Баасанхүү & Гомболүүдэв, 1996; Жадамбаа, 1972). Үүний тод илрэл нь өглөө, орой ажиглагдсан инверсийн зөрүүгээр илэрч байна. Өглөө, оройны инверсийн давтагдлын зөрүүг жилээр авч үзвэл XI, XII, I, II саруудад ихэвчлэн тогтвортой, тухайлбал энэ саруудад инверс өдрийн цагт арилдаггүй, арилсан ч богино хугацаанд дахин үүсдэг (Sumiya, 2008).

Хүснэгт 7-г үзвэл өглөө, орой ажиглагдсан инверсийн зөрүү хүйтэн агаарын масс тогтвортой суурьших үед хамгийн бага буюу XII сард 8%, үүнээс хоёр тийш буурах ба хүйтний улирлын эхэнд 20% бол улирлын төгсгөлд 52% болж огцом нэмэгдэнэ. Нар гийгүүлэл болон дэвсгэр гадаргын цацрагийн баланс хүйтний улирлын эхнээс буураад, тэдгээрийн хамгийн бага утга XII эсвэл I сард ажиглагдаж, улмаар улирлын төгсгөлд эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийн их утга харгалзана. Ийм учраас өглөө, орой ажиглагдах температурын инверсийн давтагдлын зөрүү нар гийгүүлэл болон дэвсгэр гадаргын цацрагийн баланс, үнэн хэрэгтээ цацрагийн хөрөлттэй (туяарал) шууд хамааралтай юм.

Зураг 6-аас үзвэл хүйтний улирлын төгсгөлд нарны өндөр (тусгалын өнцөг) нэмэгдсэнээр оройн хэмжилтээр III сард ердөө 7 өдөр инверс ажиглагдах ба өглөөнийхөөс даруй 3 гаруй дахин буурсан байна.

**Температурын инверсийн эрчимшил:** Температурын инверсийн үе давхаргын дээд болон доод хил дээрх температурын зөрүүг түүний эрчимшил гэнэ. Газрын гадарга орчмын инверсийн эрчимшил өндөрт үүсэх инверсийн эрчимшлийг бодвол нилээд их байна. Учир нь газрын гадарга орчмын инверсэд дэвсгэр гадаргын хөрөлт илүү их нөлөөлдөгтэй холбоотой (Цоозол, 1996).

“Даланзадгад” аэрологийн өртөөний хэмжилтээр тогтоосон газрын гадарга орчмын инверсийн гол үзүүлэлт болох эрчимшлийг Хүснэгт 8-аар үзүүллээ. Хүйтний улирлын өглөөний хэмжилтээр ажиглагдсан температурын инверсийн эрчимшлийн дундаж 5.9°C, оройн хэмжилтийн дундаж эрчимшил 2.1°C буюу өглөөдөө оройнхоос бараг 3 дахин хүчтэй инверс тогтдог гэж үзэж болно (Хүснэгт 8).

Хүснэгт 8. Температурын инверсийн эрчимшил (Даланзадгад аэрологийн станц)

Хугацаа	X	XI	XII	I	II	III	Дундаж
Өглөөний хэмжилт (°C-ээр)	4.9	5.5	7.1	6.9	5.9	4.9	5.9
Оройн хэмжилт (°C-ээр)	1.6	2.4	3.1	2.8	1.7	1.2	2.1
Зөрүү (°C-ээр)	3.3	3.1	4.0	4.1	4.2	3.7	3.8

Хүйтний улирлын газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшил өглөөний хэмжилтээр 4.9-7.1°C, харин оройн хэмжилтээр 1.2-3.1°C, бусад газар нутгийнхтай харьцуулахад Даланзадгад орчим хамгийн их эрчимшилтэй инверс XII сард ажиглагддагаараа онцлог юм. Өглөө болон оройн аэрологийн хэмжилтээр тогтоосон температурын инверсийн эрчимшлийн зөрүү 3.1-4.2°C буюу шөнийн туршид үүссэн инверсийн энерги оройнхоос хир зэрэг хүчтэй болохыг илэрхийлж байна. Энэ зөрүү өвлийн саруудад 4.0-4.2°C, тэгэхдээ өдөр уртсахтай холбоотойгоор хамгийн их зөрүү II сард ажиглагдана.

Температурын инверсийн эрчимшлийн хамгийн их бууралт I-II сард шилжихэд 1.1°C, хамгийн их өсөлттэй сар нь XI-XII сард шилжих үед 1.2°C харгалзана. Эндээс “Монгол орны нутагт агаар мандлын ерөнхий орчил урсгалын нөлөөнөөс хамаарч Азийн эсрэг циклоны Монголын муж IX сарын дундуур үүсч, III сарын сүүл IV сарын эхээр сарнидаг байна” гэсэн олон жилийн дундажаар гаргасан судалгаатай тохирч байгаа юм (Калмыкова, 1957).

**Температурын инверсийн зузаан:** Газрын гадарга орчимд температурын инверс үүсч, тогтвортой хадгалагдахад уул зүй ихээхэн үүрэгтэй бөгөөд уулархаг мужид инверсийн зузаан орчны хүрээлэн буй уулсын түвшинтэй ойролцоо буюу түүнээс бага байдаг. Тухайн газар нутгийн хувьд хүрээлэн буй уулс гаднаас ирэх агаарын урсгалын зонхилох чиглэлд яаж байрлаж байгаагаас хамаарна. Мөн харьцангуйгаар хүрээлэн буй уулсын өндөр бага байхад тэнд үүсч буй инверсийн зузаан нь дундажаар их байх тохиолдол ч байх бөгөөд энэ нь тухайн нутагт инверс үүсэх, эрчимжихэд уул зүйн нөлөө бараг байхгүй гэдгийг харуулахын зэрэгцээ инверс гол төлөв газрын гадаргуу орчмоос хонхор газарт туяарлаар хөрч, зарим тохиолдолд дээгүүр нь дулаан агаар нүүж ирсэний улмаас хөгждөг байна (Sumiya, 2008).

Монгол оронд ялангуяа өндөр уулсаар хүрээлэгдсэн их хотгор газар байрлах өртөөн дээр ажиглагдах газрын гадарга орчмын температурын инверсид уул зүйн нөлөө маш тод илэрч байдаг. Энэ нь нам дор хонхор газарт хүйтэн агаар ихээр хуримтлагдаж, мөн газрын гадарга туяарлаар ихээхэн хөрч, нөгөө талаас хүрээлэн буй өндөр уулсын нөлөө байдгаас инверс хүчтэй тогтож, хөгжих нөхцөл бүрддэгийг харуулна. Температурын инверсийн зузаан тухайн газар нутгийн онцлог, өөрөөр хэлбэл судлаж буй газар нутгийн эргэн тойрны уулсын харьцангуй өндөр, далайн түвшнээс дээших өндөр, газарзүйн адрашил, ландшафт цаашилбал агаар мандлын орчил урсгал, дэвсгэр гадаргын нарны цацраг авах ба өөрийн туяарал зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарна (Sumiya, 2008).

Даланзадгад орчим ажиглагдсан газрын гадарга орчмын температурын инверсийн зузааныг дараах хүснэгт 9-д үзүүлэв.

Хүснэгт 9. Температурын инверсийн зузаан, м-ээр (Даланзадгад аэрологийн станц)

Хугацаа	X	XI	XII	I	II	III	Дундаж
Өглөөний хэмжилт (метрээр)	188	192	236	213	203	186	203
Оройн хэмжилт (метрээр)	116	152	172	155	130	111	139
Зөрүү (метрээр)	72	40	64	58	73	75	64

Өглөөний хэмжилтээр тогтоосон инверсийн дундаж зузаан 203 м, оройн хэмжилтээр тооцоолсон инверсийн дундаж утга 139 м байна. Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улиралд газрын гадарга орчмын инверсийн зузаан 186-236 м, оройн хэмжилтээр 111-172 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Өглөө болон орой үүссэн температурын инверсийн зөрүү 40-72 м, энэ үзүүлэлтийн дундаж 64 м хүрнэ. Эндээс хүйтний улиралд шөнийн туршид дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтөөр (туяарал) үүссэн температурын инверсийн зузаан, орой нарны өндөр буурах үед үүссэн инверсийн үе давхаргаас зузаан байна (Хүснэгт 9).

### **Температурын инверс ба агаарын бохирдлын хоорондын хамаарал**

Өмнөговь аймгийн Байгаль орчны шинжилгээний лабораторийн бүрэлдхүүнд агаарын чанарын “Даланзадгад” харуул 2008 оны X сарын 01-ний өдөр байгуулагдан агаарын чанарын гол үзүүлэлтүүдийн хэмжилтийг тогтмол хийх болсон. Тухайлбал хүхэрлэг хий ( $SO_2$ ), азотын давхар исэл ( $NO_2$ )-ийн агууламжийг өдөрт 3 удаа 08.00, 14.00, 20.00 цагуудад хэмжиж, Байгаль орчин, хэмжилзүйн төв лабораторид өгөгдлийг дамжуулдаг бол 2015 оны I сараас эхлэн  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  тоосонцорын агууламжийг тогтоосон 5 цэгт тасралтгүй хэмжих болжээ.

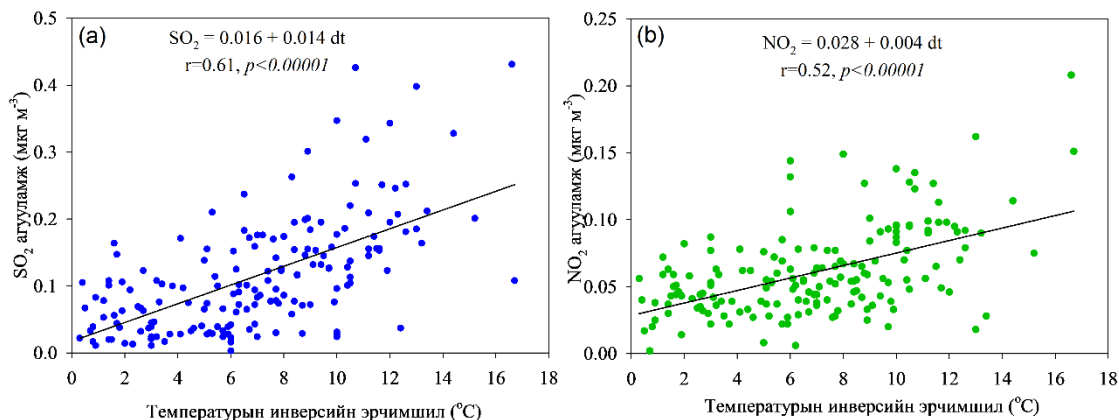
Энэхүү судалгааны хүрээнд Даланзадгадын газрын гадарга орчмын температурын инверсийн шинж чанарын үндсэн үзүүлэлт болох түүний эрчимшил, агаарын чанарын үзүүлэлтүүдэд тухайлбал хүхэрлэг хий ( $SO_2$ )-н болон азотын давхар исэл ( $NO_2$ )-ийн агууламжид хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойлох оролдлогыг хийлээ. Судалгаа хийхдээ өглөөний хэмжилтээр тогтоосон газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшил, хүхэрлэг хий ( $SO_2$ ) болон азотын давхар исэл ( $NO_2$ )-ийн агууламжийн 08.00, 14.00 ба 20.00 цагийн хэмжилт хооронд корреляцийн хамаарлыг гаргалаа. Мөн оройны хэмжилтээр тодорхойлсон температурын инверсийн эрчимшил, тухайн өдрийн 20.00 цагийн болон маргааш өдрийнх нь 08.00, 14.00 цагийн агаарын чанарын дээр дурдсан үзүүлэлтүүдийн агууламжид хэрхэн нөлөөлж байгааг корреляцийн шинжилгээгээр илэрхийлэхэд дараах үр дүн гарсан болно.

Хүснэгт 10. Температурын инверсийн эрчимшил, агаарын хийн бохирдуулагчдын хамаарал

Хугацаа	08.00 цаг		14.00 цаг		20.00 цаг	
	Өглөөний хэмжилтээр тогтоосон инверсийн эрчимшил	$SO_2$	$NO_2$	$SO_2$	$NO_2$	$SO_2$
	0.61	0.52	0.42	0.31	0.46	0.43
Хугацаа	20.00 цаг		08.00 цаг		14.00 цаг	
	$SO_2$	$NO_2$	$SO_2$	$NO_2$	$SO_2$	$NO_2$
Оройн хэмжилтээр тогтоосон инверсийн эрчимшил	0.36	0.37	0.36	0.42	0.38	0.34

Шөнийн туршид эрчимжсэн инверс, өглөөний агаарын чанарт дунд зэргийн хүчтэй ( $SO_2$ -той  $r=0.61$ ,  $NO_2$ -той  $r=0.52$ ,  $p<0.0001$ ) нөлөөллийг үзүүлдэг. Бусад хугацаанд Даланзадгад орчим тогтсон инверс нь агаарын чанарт сул хүчтэй ( $r=0.31-0.46$ ,  $p<0.0001$ ) нөлөөг үзүүлнэ гэж үзэж болохоор байна. Хэрэв цаашид хүн амын тоо өсөж, улмаар гэр хорооллын өрхийн болон тээврийн

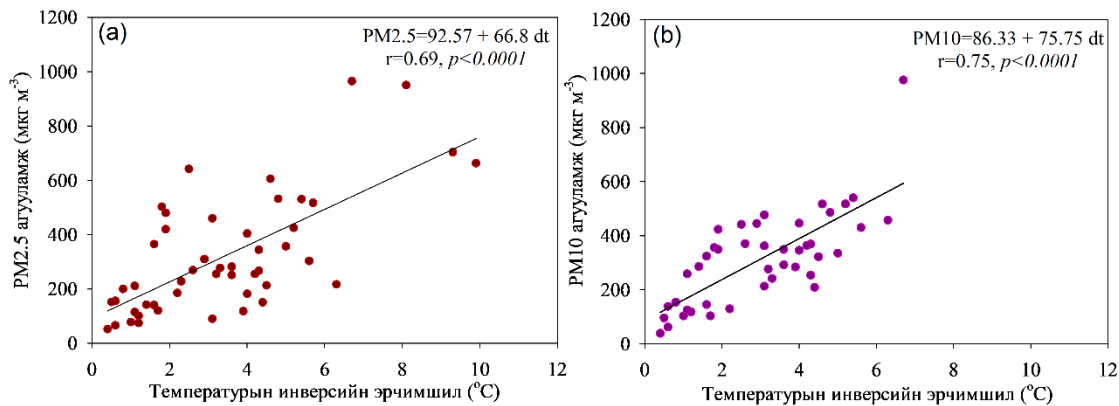
хэрэгслийн тоо нэмэгдэх тохиолдолд ялангуяа өглөө болон оройн оргил ачааллын үед агаарын чанар муудах боломжтой болох нь корреляцийн шинжилгээний дүнгээс харагдаж байна (Хүснэгт 10, Зураг 7).



Зураг 7. Температурын инверсийн эрчимшил болон (a) SO<sub>2</sub>, (b) NO<sub>2</sub> бохирдуулагчдын хоорондын хамаарал

Хүснэгт 11. Температурын инверсийн эрчимшил, тоосонцор хоорондын хамаарал

Хугацаа	Хоногийн дундаж	
Өглөөний хэмжилтээр тогтоосон инверсийн эрчимшил	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
	0.62	0.69
Оройн хэмжилтээр тогтоосон инверсийн эрчимшил	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
	0.69	0.75



Зураг 8. Температурын инверсийн эрчимшил болон (a) PM<sub>2.5</sub>, (b) PM<sub>10</sub> тоосонцрын хоорондын хамаарал

Даланзадгад орчимд өглөөгүүр тогтсон инверсийн эрчимшил, PM<sub>2.5</sub> болон PM<sub>10</sub> тоосонцрын хоногийн нийлбэр агууламж хоорондын корреляцийн коэффициент харгалзан  $r=0.62$  болон  $r=0.69$ ,  $p<0.0001$  байгаа явдал нь дээр дурдсан хэмжээстэй тоосонцор хуримтлагдахад инверс дунд зэргийн, харин орой үүсдэг температурын инверсийн эрчимшил, PM<sub>2.5</sub> болон PM<sub>10</sub> тоосонцрын хоногийн нийлбэр агууламж хоорондын корреляцийн хамаарал харгалзан  $r=0.69$  болон  $r=0.75$ ,  $p<0.0001$  гарсан нь оройн хэмжилтээр ажиглагдсан температурын инверс нь дээр дурдсан хэмжээстэй тоосонцор хуримтлагдахад дунд зэрэг болон хүчтэй нөлөөллийг үзүүлдэг гэж дүгнэж болно (Хүснэгт 11, Зураг 8).



## Дүгнэлт

1991-2020 оны агаарын температурын дундаж 1961-1990 оны нормоос 0.4-2.3°C-ээр давсан, ялангуяа II сард 2.3°C, III сард 2.0°C-ээр, жилийн дундаж нь 1.4°C-ээр дулаарсан. Энэхүү хүйтний улирлын сарууд болоод жилийн дулаарал нь судалгааны нутагт газрын гадарга орчмын температурын инверс үүсэх нөхцөл болон нэгэнт үүссэн инверсийн үзүүлэлтүүдийг бууруулах хүчин зүйл болж байна.

Салхи хэмжсэн нийт хэмжилтийн өвөл 23%-д нь, хавар бараг 11 хувьд нь, зун мөн 14 орчим хувьд нь, намрын улиралд 17-18%-д нь “намуун” буюу салхигүй тогтуун байдаг байна. Хүйтний улиралд “намуун” эсвэл салхины хурд багатай байх нь газрын гадарга орчмын температурын инверс үүсэх, улмаар эрчимжих таатай нөхцөл болно.

Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улирлын газрын гадарга орчмын температурын инверс ажиглагдах давтагдал 73-87% буюу сард 23-27 өдөр байна. Харин оройн хэмжилтийн 21-74%-д температурын инверс ажиглагдах ба 7-23 өдөр инверстэй байна.

Хүйтний улирлын газрын гадарга орчмын инверсийн эрчимшил өглөөний хэмжилтээр 4.9-7.1°C, харин оройн хэмжилтээр 1.2-3.1°C, бусад газар нутгийнхтай харьцуулахад Даланзадгад орчим хамгийн их эрчимшилтэй инверс XII сард ажиглагдгаараа онцлог юм. Өглөө болон оройн аэрологийн хэмжилтээр тогтоосон температурын инверсийн эрчимшлийн зөрүү 3.1-4.2°C буюу шөнийн туршид үүссэн инверсийн энерги оройнхоос хир зэрэг хүчтэй болохыг илэрхийлж байна.

Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улиралд газрын гадарга орчмын инверсийн зузаан 186-236 м, оройн хэмжилтээр 111-172 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Өглөө болон орой үүссэн температурын инверсийн зөрүү 40-72 м, энэ үзүүлэлтийн дундаж 64 м хүрнэ. Эндээс хүйтний улиралд шөнийн туршид дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтөөр (туяарал) үүссэн температурын инверсийн зузаан, орой нарны өндөр буурах үед үүссэн инверсийн үе давхаргаас их байдгийг тогтоолоо.

Даланзадгадад шөнийн туршид эрчимжсэн инверс, өглөөний агаарын чанарт дунд зэргийн хүчтэй ( $\text{SO}_2$ -той  $r=0.61$ ,  $\text{NO}_2$ -той  $r=0.52$ ,  $p<0.0001$ ) нөлөөллийг үзүүлдэг бол харин орой үүсдэг температурын инверсийн эрчимшилтэй  $\text{PM}_{2.5}$  болон  $\text{PM}_{10}$  тоосонцрын хоногийн нийлбэр агууламж хоорондын корреляцийн хамаарал харгалзан  $r=0.69$  болон  $r=0.75$ ,  $p<0.0001$  гарсан нь оройн хэмжилтээр ажиглагдсан температурын инверс нь дээр дурдсан хэмжээстэй тоосонцор хуримтлагдахад дунд зэрэг болон хүчтэй нөлөөллийг үзүүлдэг гэж дүгнэж болохоор байна.

## Талархал

Уг судалгааг МУИС-ийн Өндөр түвшний судалгаа (P2022-4403) төсөлт ажлын хүрээнд гүйцэтгэв. Судалгааны ажилд хянан магадлагаа хийж үнэтэй санал, зөвлөгөө өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье.

## Ном зүй

1. Баасан, Т. (2003). *Монгол орны элс*. Улаанбаатар хот. 56-75
2. Баасанхүү, Г., & Гомболүүдэв, П. (1996). Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрхи температурын инверсийн онцлог зарим шинж. *УЦУЭШХ-ийн бүтээл*, 18.
3. Брыксин, В. Н. (1999). Причины формирования температурных инверсий земной поверхности и приземного слоя воздуха в горных районах. *Изв. АН сер. Географическая*, 3, с. 33 – 39.
4. Доржготов, Д. (2003). *Монгол орны хөрс*. Улаанбаатар.
5. Жадамбаа, Ш. (1972). Роль инверсий температуры воздуха в процессах усиления зимнего антициклона над Азией. *Труды ГМЦ*.
6. Жамбаажамц, Б. (1989). *Монгол орны уур амьсгал*. Улаанбаатар: Улсын хэвлэх үйлдвэр.
7. Калмыкова, Н. М. (1957). О формировании сибирского антициклона. *Метеорология и гидрология*, 4, 20-24.
8. Константинов, П. (1995). Приземные инверсии в долинах и на междуречьях центральной части Среднесибирского плоскогорья. *Метеорология и гидрология*(10), 35-41.
9. Матвеев, Л. (2000). Физика атмосферы. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат.
10. Мелкая, И. Ю., Надеждина, Е. Д., & Шкляревич, О. Б. (1986). Эволюция пограничного слоя под влиянием радиационного охлаждения подстилающей поверхности в ночные часы. *Метеорология и гидрология*, 10, с.53-61.
11. Мижиддорж, Р. (1994). Жилийн дундаж температурын хандлагыг тодорхойлоход статистик тайлал хийх аргыг ашиглах нь. *УЦУЭШХ-ийн бүтээл*, 17, 12-18.

12. Нацагдорж, Л. (1982). БНМАУ-ын нутаг дэвсгэр дээрхи агаар мандлын орчил урсгал, цаг агаарын аюултай үзэгдэл. *УЦУШИ-ийн ЭШБүтээл*, 6.
13. Селиванов, Е. И. (1972). *Неотектоника и геоморфология Монгольской народной республики*: Недра.
14. УЦУОШТ, Ө. а. (2019). *Өмнөговь аймгийн уур амьсгалын лавлах*. Даланзадгад: Өмнөговь аймгийн ЗДТГ.
15. Цоозол, М. (1996). Монгол орон дахь газрын гадарга орчмын температурын инверс. *МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг*, 125(2).
16. Andrews, D. G. (2010). *An introduction to atmospheric physics*: Cambridge University Press.
17. Ganbat, G., & Baik, J.-J. (2016). Wintertime winds in and around the Ulaanbaatar metropolitan area in the presence of a temperature inversion. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52(3), 309-325. doi:10.1007/s13143-016-0007-y
18. Gerelchuluun, B., & Ahn, J.-B. (2014). Air temperature distribution over Mongolia using dynamical downscaling and statistical correction. *International Journal of Climatology*, 34(7), 2464-2476. doi:<https://doi.org/10.1002/joc.3853>
19. Kai, K., Kawai, K., Ito, A., Aizawa, Y., Minamoto, Y., Munkhjargal, E., & Davaanyam, E. (2021). Dust Hotspot in the Gobi Desert: A Field Survey in April 2019. *SOLA*, 17, 130-133. doi:10.2151/sola.2021-023
20. Liang, W., & Yang, M. (2019). Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1-9.
21. Shi, R., & Conrad, S. A. (2009). Correlation and regression analysis. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 103(4), S35-S41.
22. Soyol-Erdene, T.-O., Ganbat, G., & Baldorj, B. (2021). Urban Air Quality Studies in Mongolia: Pollution Characteristics and Future Research Needs. *Aerosol and Air Quality Research*, 21(12), 210163. doi:10.4209/aaqr.210163
23. Sumiya, E. (2008). *Study on near-surface temperature inversion of Mongolia*. (Doctor of Philosophy). National University of Mongolia, Ulaanbaatar city.
24. Sumiya, E., Dorligjav, S., Purevtseren, M., Gombodorj, G., Byamba-Ochir, M., Dugerjav, O., . . . Tsegmid, B. (2023). Climate Patterns Affecting Cold Season Air Pollution of Ulaanbaatar City, Mongolia. *Climate*, 11(1). doi:10.3390/cli11010004
25. Wang, M., Kai, K., Jin, Y., Sugimoto, N., & Dashdondog, B. (2017). Air particulate pollution in Ulaanbaatar, Mongolia: Variation in atmospheric conditions from autumn to winter. *SOLA*, 13, 90-95.
26. Wang, M., Kai, K., Sugimoto, N., & Enkhmaa, S. (2018). Meteorological factors affecting winter particulate air pollution in Ulaanbaatar from 2008 to 2016. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(3), 244-254.
27. West, J., & West, J. (2018). Asia's Stunted Economic Development. *Asian Century... on a Knife-edge: A 360 Degree Analysis of Asia's Recent Economic Development*, 19-55.
28. Yembaa, B. (2021). *The Physical Geography of Mongolia*: Springer.