



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA  
SCHOOL OF ARTS AND SCIENCES  
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

*Geographical Issues*

---

*Газарзүйн асуудлууд*

*Volume 26 (02)*

*ISSN: 2312-8534*

*2026*

*Ulaanbaatar*

## Study of near-surface and elevated temperature inversion layers over Ulaanbaatar city, Mongolia

Battsetseg Mendbayar <sup>1,2</sup>, Sanderlger Dorligjav <sup>1\*</sup>, Erdenesukh Sumiya <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Meteorology and Hydrology, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

<sup>2</sup> Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Ulaanbaatar 15160, Mongolia

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

Received: 2026.03.16

Revised: 2026.05.04

Accepted: 2026.05.05

### Abstract

*Intensifications of global warming, climate change, aridity, and human activities are causing significant changes in the regime of atmospheric phenomena and processes. The accumulation of air pollution in settlements during the cold season is a natural phenomenon driven by surface, elevated, and double temperature inversions, as well as their fluctuations. By creating a stable atmospheric state, temperature inversion significantly weakens horizontal wind speed, vertical air movement (convection), and turbulent exchange. Consequently, it is an essential meteorological phenomenon for urban planning, air quality assessment, and the accurate analysis of local microclimates. This research investigated characteristics, specifically frequency, thickness, and intensity of near-surface and elevated temperature inversions over Ulaanbaatar, utilizing radiosonde data from the 'Ulaanbaatar' station and automatic meteorological station records from 2012 to 2024. The results indicate that in Ulaanbaatar, the highest frequency of surface inversions occurs in January (reaching 68%), while elevated inversions are observed year-round with an average frequency of 49%. Notably, the simultaneous occurrence of both surface and elevated inversions in winter reaches 35%, forming a stable atmospheric layer with a total thickness of approximately 700 meters. In recent years (specifically since 2022), an increase in average air temperatures and wind speeds during the cold season has been observed. This trend has had a favorable impact on the dissipation of inversion layers and the dispersion of air pollutants. Consequently, the findings of this study possess significant theoretical and practical value for forecasting urban air quality and identifying high-risk atmospheric conditions associated with temperature inversions.*

**Keywords:** Temperature inversion layer, Near-surface inversion, Elevated inversion, Temperature, Wind speed, Ulaanbaatar city

## Улаанбаатар хотын газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверсийн судалгаа

© Мэндбаяр Батцэцэг<sup>1,2</sup>, Дорлигжав Сандэлгэр<sup>1\*</sup>, Сумьяа Эрдэнэсүх<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Цаг Уур, Ус Судлалын Тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

<sup>2</sup> Ус, Цаг Уур, Орчны Судалгаа, Мэдээллийн Хүрээлэн, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

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

Хүлээн авсан: 2026.03.16

Засварласан: 2026.05.04

Зөвшөөрөгдсөн: 2026.05.05

### Хураангуй

Дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлт, хуурайшил болоод хүний үйл ажиллагааны эрчимжилт нь агаар мандлын үзэгдэл, процессуудын горимд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт авчирч байна. Суурин газарт хүйтний улиралд агаарын бохирдлыг удаан хугацаанд хуримтлуулах байгалийн үзэгдэл болох газрын гадарга орчмын, өндрийн болон хамт ажиглагдсан 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, тухайн газар нутгийн бичил уур амьсгалыг үнэн зөв үнэлэхэд зайлшгүй шаардлагатай судалбал зохих цаг уурын нэг үзэгдэл юм. Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 2012-2024 оны хоорондох Улаанбаатар хотын газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверсийн горим, үзүүлэлтүүдийг харьцуулан судалсан. Судалгаанд “Улаанбаатар” станцын радиозондын болон цаг уурын автомат станцын мэдээг ашиглан инверсийн давтагдал, зузаан, эрчимшилийг тооцоолж гаргав. Үр дүнгээс үзэхэд, Улаанбаатар хотод газрын гадарга орчмын инверс I сард хамгийн өндөр давтагдалтай (68%) байгаа бол өндрийн инверс жилийн турши тогтмол (дунджаар 49%) ажиглагдаж байна. Ялангуяа өвлийн улиралд газрын болон өндрийн инверс давхар үүсэх тохиолдол 35%-д хүрч, нийт 700 орчим метрийн зузаантай агаарын тогтвортой үе давхаргыг бий болгож байна. Сүүлийн жилүүдэд (2022 оноос) хүйтний улирлын агаарын температур болон салхины хурд нэмэгдэж байгаа нь инверсийн задрал болон агаарын бохирдлын сарнилтад эерэгээр нөлөөлөх хандлага ажиглагдлаа. Энэхүү судалгааны үр дүн нь хотын агаарын чанарыг урьдчилан мэдээлэх, инверсийн аюултай нөхцөлийг тогтооход онол-практикийн ач холбогдолтой юм.

**Түлхүүр үгс:** Температурын инверс, Газрын гадаргын инверс, Өндрийн инверс, Температур, Салхины хурд, Улаанбаатар хот

---

© Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: М.Батцэцэг, С.Эрдэнэсүх: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэр, өгүүллийн эх бэлтгэл, өгөгдөл боловсруулалт, өгөгдөл цуглуулалт; Д.Сандэлгэр, С.Эрдэнэсүх: өгөгдөл болон арга зүй боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт.

2312-8534/© 2026 Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

## Оршил

Эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай Монгол орны нутаг дэвсгэр дээр хүйтний улиралд эсрэг циклон тогтвортой байрлаж, газрыг гадарга орчимд температурын инверс тогтвортой үүсэх, удаан хугацаанд дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтийн улмаас инверс цаашид эрчимжих нөхцөлийг бүрдүүлдэг (Эрдэнэсүх, 2008). Уул нуруудын хоорондох хоолой, хөндийн өвөрмөц байрлал хүйтэн агаарыг удаан хугацааны туршид саатуулан барьж түүнийг эрчимжүүлэх газарзүйн таатай нөхцөл болно. Температурын инверстэй үед агаар мандлын тогтвортой төлөв байдалтай тул босоо хөдөлгөөнийг сааруулж, уруудах хөдөлгөөн бий болгодог ба агаарын янз бүрийн хольцууд тоос, өтгөрөлтийн цөм, утаа униар зэргийг газрын гадарга орчимд хуримтлуулж шилжих нөхцөлийг саатуулна (Sumiya et al., 2022). Иймд босоо чиглэлд температур өсдөг агаарын энэ үе давхаргыг саатуулагч үе гэж нэрлэдэг (Ganbat & Baik, 2016; Sumiya et al., 2022). Агаарын газрын гадарга орчмын энэ үе давхарга хүн ам, амьд организм, хот суурин газрын байгаль экологийн хэвийн нөхцөлийг алдагдуулдаг. 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 (Эрдэнэсүх, 2008). 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).

Дэлхий дахинд явагдаж буй хотжилт, хүн ам, нийгэм эдийн засгийн өсөлтийг дагаад агаарын бохирдол тасралтгүй нэмэгдсээр байна (Dorligjav et al., 2015; Kannemadugu et al., 2024; Liang & Yang, 2019; 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., 2022). 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 (Мижиддорж, 1994; Эрдэнэсүх, 2008). 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). Агаарын температур өндрөөшөө өөрчлөлтгүй байвал изотермийн үе гэж тооцно. Температурын босоо чиглэл дэх изотермийн давхаргад түүний градиент  $\gamma=0$  байна. Изотерм нь инверсийн давхаргын тухайн (сул) тохиолдол юм (Матвеев, 2000).

Газрын гадарга орчмын температурын инверс хэд хэдэн замаар үүсдэг. Үүнд: Дулааны гаралтай инверсэд цацрагийн ба нүүлтийн, динамикийн гаралтайд суултын, турбулентын болон фронтын инверсийг хамруулдаг. Температурын инверс нь хавсарсан процессийн үр дүнд цацрагийн хөрөлт ба нүүлтээр, суултын болон цацрагийн дулаан алдалтаар (эсрэг циклоны), турбулент солилцоо болон суултаар үүссэн байж болно. Өвлийн улиралд дунд болон өндөр өргөргүүдэд дэвсгэр гадаргын цацрагийн баланс зөвхөн шөнө төдийгүй өдрийн цагт ч сөрөг г ( $B<0$ ) утгатай байдаг. Дэвсгэр гадаргын хөрөлт тасралтгүй явагдах нөхцөлийг бүрдүүлснээр инверс удаан хугацааны туршид хадгалагдах боломжийг бий болгодог (Брыксин, 1999). Эрс тэс уур амьсгалтай Монгол орны хувьд газрын гадарга орчмын температурын инверс ихэвчлэн цацрагийн хөрөлтөөр (туяарлаар) үүсдэг (Цоозол, 1996).

Цацрагийн инверс үүсэх аятай нөхцөл бол эффектив цацраг их (харьцангуй чийгшил болон үүлшил бага, ялангуяа доод мандлын үүлгүй) хөрснөөс авах дулаан авалт бага (хөрсний эзлэхүүний дулаан багтаамж болон дулаан дамжуулалт бага) нөхцөл бүрдэх явдал юм. Температурын инверсийн үүсэх, сарних явцад салхины хурд, түүний бүтэцэд ихээхэн хэмжээтэй нөлөөлөх буюу өмнө турбулент солилцооны коэффициентийн өөрчлөгдөлт, цаашилбал агаарын дулаан нүүлт (адвекц)-ийн процесстэй нягт холбоотой юм. Газрын гадарга орчим намуун, эсвэл

салхины хурд бага байх нь инверс үүсэх, нэгэнт үүссэн инверсийг улам эрчимжихэд зонхилох нөлөө үзүүлдэг (Мелкая и др., 1986; Ganbat & Baik, 2016; Wang et al., 2017; Wang et al., 2018; Sumiya et al., 2022; Zuga et al., 2023).

Хонхор, хотгор газараас цацрагийн инверс ихээхэн хамаардаг нь цацрагийн 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. Температурын үнэмлэхүй бага 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).

Агаар мандал бүхий л чиглэлдээ жигд биш орчин ба физик хэмжигдэхүүнүүд нь орон зай, цаг хугацаагаар үргэлж өөрчлөгдөн хувьсаж байдаг (Чогсом, 2010). Агаар мандал нь үргэлж турбулент байдалд оршиж байдаг ба тэнд турбулент хуйлралын өөрчлөлт бүхий тасралтгүй процесс явагдаж байдаг. Дулааны турбулент хөдөлгөөн нь дулааны улиралд агаар мандлын хязгаар үе давхаргад үүсдэг ба хамгийн их хөгжил нь үд дунд бий болдог байна. Энэ нь босоо хөгжлийн үүлтэй холбоотой юм (Ууганхүү, 2004).

Өндрийн инверсийн үүсэх нөхцөл нь манангийн үүсэлтэй ихээхэн холбоотой. Манангийн температурын бууралт нь температурын босоо чиглэл дэх хуваарилалтанд урвуу нөлөөтэй байна. Манангийн зузаан 200-300 м хүртэл өндөрт тархаж ихэсэхэд эффектив цацруулалт нам температурыг тогтмол хадгалж байдагтай холбоотой (Эрдэнэсүх, 2008).

- Өндрийн инверс нүүлтийн манангийн 30-35%-д ажиглагддаг. Инверсийн дор үүссэн манан түүний нөлөөгөөр үүлшлийг бий болгох ба түүнийг хөөрсөн манангийн үүлшил гэж нэрлэнэ.

- Өндрийн инверсийн нөлөөгөөр манан сарниж, үүл үүсэх процесс салхины хурд их байвал агаар мандлаас газрын гадарга руу чиглэсэн дулаан авалтаас хамаарч бүүр хурдан явагдана. Газар орчим салхины хурд ихэсэхэд инверс богино хугацаанд суларч улмаар манан арилна.

Том хотуудад өндрийн инверсийн давтагдал, газрын гадарга орчмын инверсээс их ажиглагддаг нь судалгаагаар тогтоогдсон. Москва хотод инверсийн нийт 57% давтагдал байдаг бол үүний газрын гадарга орчмынх 13%, харин өндрийн инверс 44% байдаг. Хүн ам багатай Обнинск хотын хувьд эсрэг газрын гадарга орчмын инверсийн давтагдал 38%, өндрийн инверсийн давтагдал 15% ажиглагддаг байна. Харин Улаанбаатар хотод ажиглагдсан нийт инверсийн давтагдал 16% газрын гадарга орчмынх, харин 40% нь өндрийн инверс байдаг. Энэ бол хотын “дулаан арал”-тай холбоотой болохыг Г.И.Марчук тогтоожээ (Byambatsolmon et al., 2024; Эрдэнэсүх, 2008).

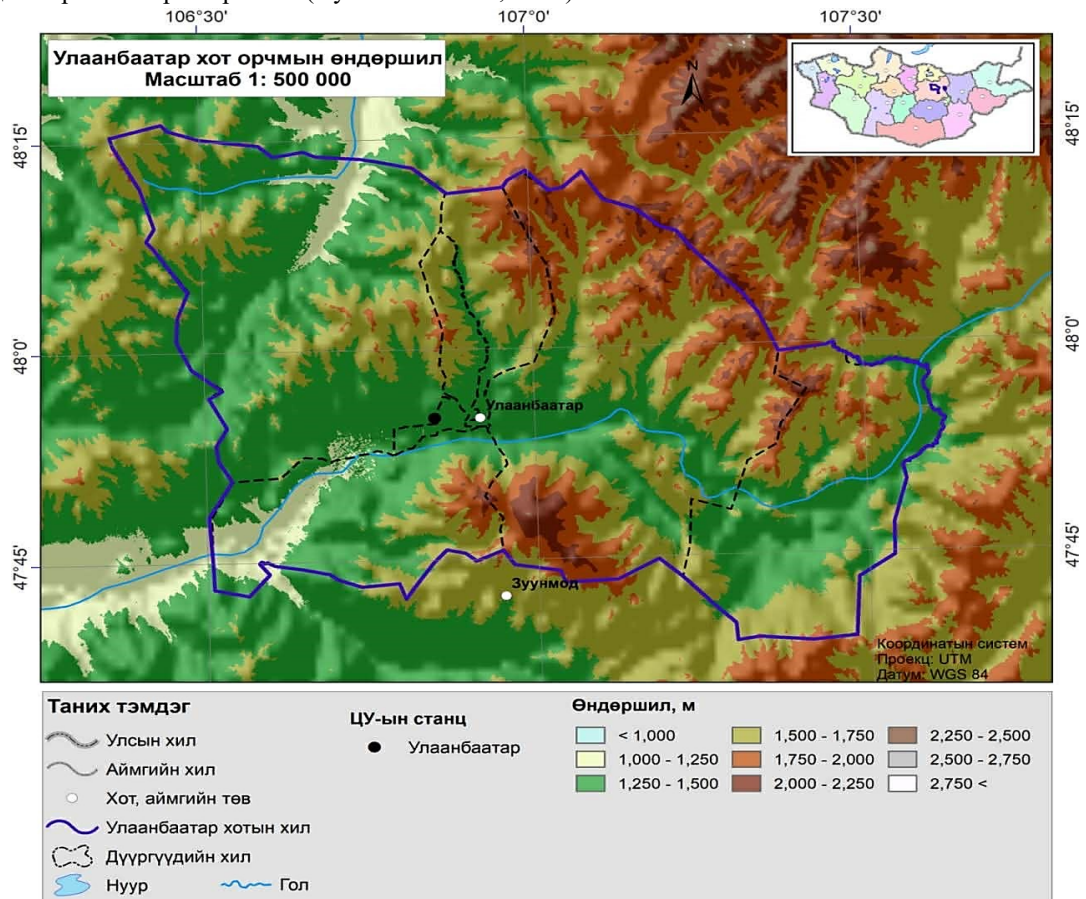
Өндрийн инверс нь агаар мандлын доод давхаргад температурын хэвийн босоо тархалт алдагдаж, өндөрсөх тусам буурах ёстой температур нэмэгдэх үзэгдэл юм. Ийм нөхцөлд газрын гадаргын ойролцоох хүйтэн агаар дээрээс нь дулаан агаараар “таглагдан”, босоо холилдол саармагжиж, агаарын солилцоо эрс багасдаг. Үүний улмаас тоосонцор болон бохирдуулагч бодисууд доод давхаргад хуримтлагдаж, агаарын чанар муудах нөхцөл бүрдэнэ. Өндрийн инверс нь ихэвчлэн салхи багатай, цэлмэг шөнө газрын гадарга эрчимтэй хөрөх үед, мөн эсрэг циклон давамгайлсан тогтвортой цаг агаарын нөхцөлд үүсдэг. Уулсаар хүрээлэгдсэн хот, хотгор газар нутагт хүйтэн агаар доош сууж хуримтлагддаг тул инверсийн давтамж, үргэлжлэх хугацаа өндөр байдаг. Иймд инверсийн давтамж, үргэлжлэх хугацааг судлах нь агаарын бохирдлын улирлын хэлбэлзэл, тархалтын онцлогийг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой юм (Эрдэнэсүх, 2008). Улаанбаатар хотын газрын гадарга орчмын температурын инверсийг олон судлаачид судалсан харин өндрийн болон хамт ажиглагдсан инверсийн судалгааг хийгдээгүй учир энэ судалгааг хийх үндэслэл болсон. Энэхүү судалгааг аэро уур амьсгалын болон агаар мандлын хязгаарын үе давхаргын физикийн суурь судалгаанд цаашилбал уур амьсгалын горим, агаарын бохирдлыг урьдчилан мэдээлэхэд дээр дурдсан судалгаагаар тогтоосон үр дүн ашиглах боломжтой гэж үзэж

байна. Энэхүү судалгааны үндсэн зорилго нь Улаанбаатар хот орчмын газрын гадарга орчмын ба өндрийн температурын инверсийн үзүүлэлтүүд хэрхэн өөрчлөгдөж байгааг илрүүлэх явдал гэж тодорхойллоо. Энэхүү зорилгын хүрээнд дараах зорилтуудыг дэвшүүллээ. Үүнд:

- Температурын инверсийн дулааны болон динамикийн нөхцөлийг тодорхойлох;
- Газрын, өндрийн болон хамт тохиолдсон температурын инверстэй өдрийн тоо буюу давтагдлыг гаргах;
- Газрын гадарга, өндрийн болон хамт тохиолдсон температурын инверсийн эрчимшлийг тодорхойлох;
- Газрын, өндрийн болон хамт тохиолдсон температурын инверсийн зузааныг тодорхойлох;
- Температурын инверсийн үндсэн үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн хандлагыг илрүүлэх юм.

### Судалгааны талбай

Монгол орны нийслэл Улаанбаатар хот нь Хэнтийн уулархаг мужид х.ө 47°93', з.у 106°98'-д төвтэйгээр далайн түвшинээс дээш 1260-1350 метрийн өндөрт 470.4 мянга га талбай бүхий нутаг дэвсгэрийг хамран оршино (Nyam-Osor et al., 2024).

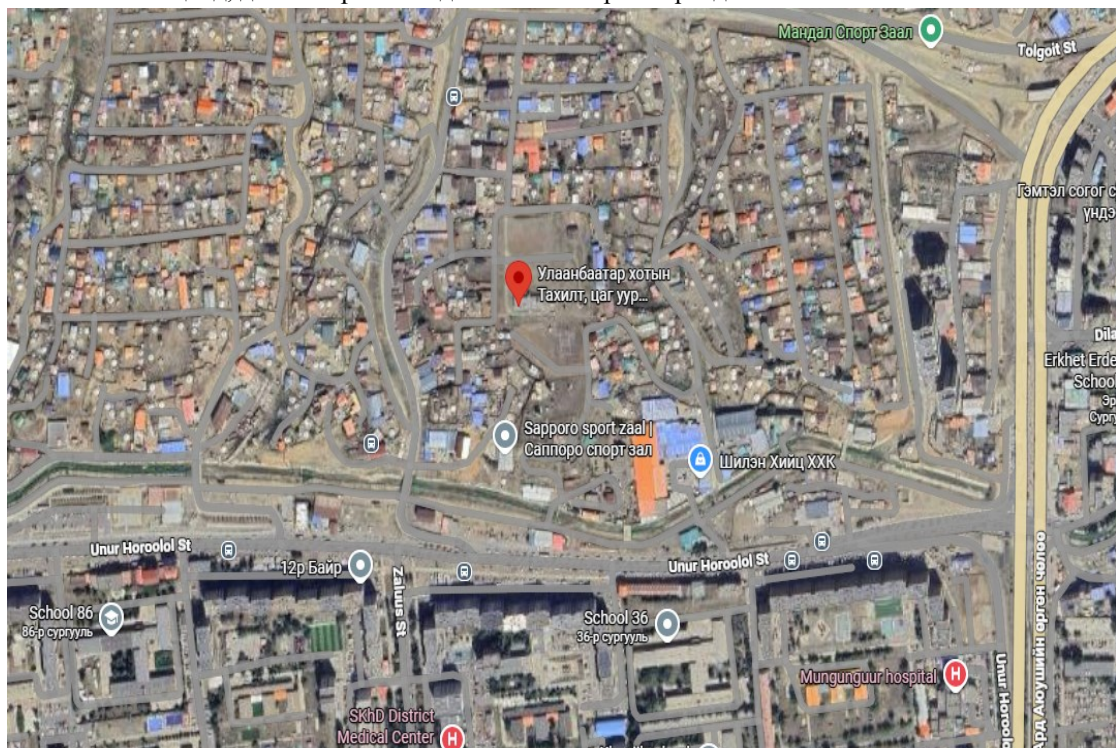


Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил

Улаанбаатар хот Хэнтийн нурууны шувтрах үзүүр Асралт хайрхан (2799 м) уулын өвөр талаар Богдхан (2268 м) уулын ард, Чингэлтэй (1949 м) уулын өвөрт, зүүн талаараа Баянзүрх (1834 м), баруун талаараа Сонгионхайрхан (1652 м) уулсаар хүрээлэгдэн орших (Enkhbold et al., 2024) тул агаарын инверс тод илэрдэг онцлогтой (Эрдэнэсүх, 2008). Хотын дундуур Туул голын хөндий, хүрээлсэн уулын бэл дагасан ойт хээрийн бүсэд оршдог. Монгол орны уур амьсгалын гол онцлог

бол жилийн дөрвөн улирлын ялгаа ихтэй, энэ шинжээрээ агаарын температурын хэлбэлзэл өндөр, хур тунадас бага, уур амьсгалд өргөрөгийн болон хөндийн бүслүүрийн ялгаа тодорхой илэрдэг явдал юм (Жамбаажамц, 1989). Улаанбаатар хот орчмын дэвсгэр гадаргын өөрчлөлт нь хотжилтын болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөлөл нь агаарын бохирдол, бичил (микро), бэсрэг (мезо) уур амьсгалын цоо шинэ хүчин зүйлийг бий болгодог. Хот орчмын физик нөхцөл нь барилга байгууламж, үйлдвэржилт, хүний үйл ажиллагаа буюу зориудын үйл ажиллагаанаас алдагдаж хэв шинж нь өөрчлөгдсөн. Иймд барилга байгууламжийн байршил, өндөр, нам, гудамж болон цэцэрлэгт хүрээлэнгийн өтгөн сийрэг мод, бут гол горхи, усан сан, авто тээврийн хэрэгслийн хөдөлгөөн, хүн амын нягтшил зэргээс хамааран хотын уур амьсгал хэмээх өөр нэг бичил уур амьсгал хэв шинж буй болж үүсдэг байна ( Намхайжанцан & Нацагдорж, 2008; Ganbat & Baik, 2016; Ganbat et al., 2013; Дорлигжав et al., 2021; Sumiya et al., 2022; Kannemadugu et al., 2024).

Судалгааны хөөргөлтийн цэг “Улаанбаатар” аэрологийн станц нь х.ө-ийн 47°55', з.у-ийн 106°52' солбилцолд, далайн түвшнээс дээш 1306 метрт байрладаг.



Зураг 2. “Улаанбаатар” цаг уурын өртөөний байршил

### Судалгааны өгөгдөл, арга зүй

Улаанбаатар хотын Ус, цаг уур, орчны шинжилгээний төвийн аэрологийн өртөө нь 1945 оны III сараас хоногт 1 удаа, 1950 оны IX сараас хоногт 2 удаа хөөргөлт хийж тасралтгүй чөлөөт агаар мандлын судлагааг “Метеорит” (МАРЗ төрлийн радиозонд бүхий) ОХУ-ын радиолокаторийн системийг ашиглан хөөргөлт хийж дараагийн шинэчлэл 2012 оноос эхлэн Франц улсын Засгийн газрын тусламжаар суурилагдсан Модем SR10 радарын систем болон түүний иж бүрдэл тандалтын системийн М-10 төрлийн өндөр нарийвчлалтай радиозондыг ашиглан (Хүснэгт 1) өглөө, орой тогтмол хоёр удаагийн хэмжилт хийж байна (Идэрчулуун, 2013).

Хүснэгт 1. М10 төрлийн радиозондын техникийн үзүүлэлт

д/д	Үзүүлэлтүүд	Хэмжилтийн хязгаар	Нарийвчлал
1	Температур	+60°C...-100°C	±0.2 °C... ±0.5 °C
2	Даралт	1100 гПа...3гПа	±0.5 гПа ... ±1.0 гПа
3	Чийг	0...100%	2...5%
4	Салхины хурд	0...100 м/с	0.15 м/с
5	Салхины зүг	0°...360°	1°
6	Өндөр	0...45 км	±5м



Улаанбаатар хотын газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверсийн судалгааны ажлыг дараах аргазүйн бүдүүвчийн дагуу гүйцэтгэсэн (Зураг 3).



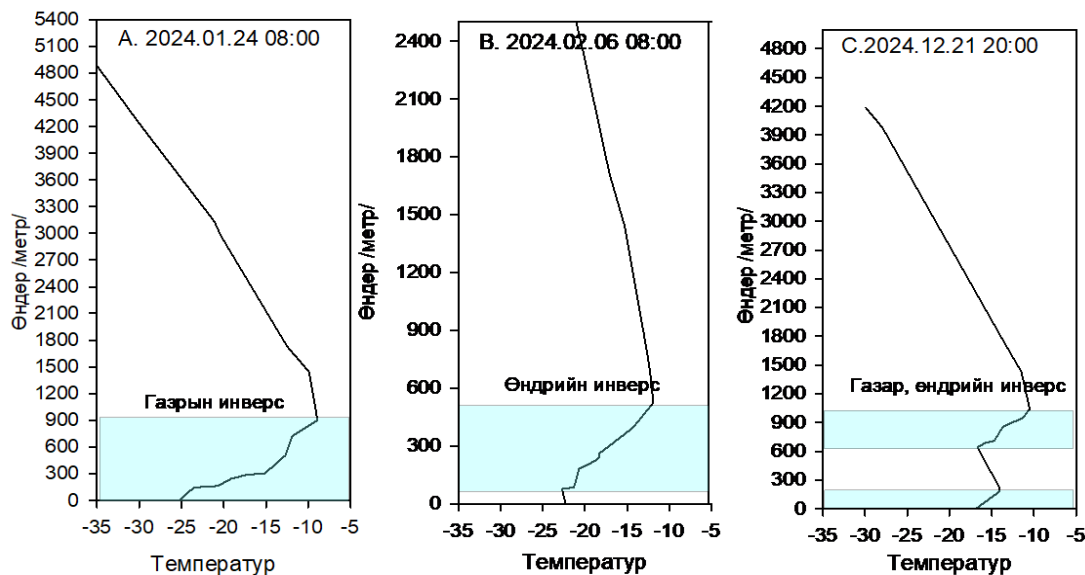
Зураг 2. Судалгааны арга зүйн бүдүүвч

Судалгааг 2012-2024 оны радиозондын хөөргөлтийн мэдээнээс Улаанбаатар хот орчимд үүссэн газрын гадаргын, өндрийн болон газар гадарга, өндрийн температурын инверс хамт ажиглагдсан өгөгдлийг түүвэрлэн авч ашиглав. Газрын гадаргын, өндрийн болон газрын гадарга, өндрийн температурын инверс хамт ажиглагдсан тохиолдлын өндрийн тархалтыг дараах байдлаар үзүүлэв (Зураг 3).

А. 2024 оны I сарын 24-ний өдрийн өглөөний 08:00 цагийн мэдээгээр газрын гадарга орчим - 25.00С байсан бол дээшлэх тусам дулаарсаар далайн түвшнээс дээш 2206 метрийн өндөрт - 9.00С хүрч, 900 метр зузаантай, 16.00С эрчимшилтэй газрын гадарга орчмын температурын инверсийн давхарга үүссэн.

В. 2024 оны II сарын 06-ны өдрийн өглөөний 08:00 цагийн мэдээгээр газрын гадаргаас дээш 300 метрийн өндөр хүртэл температур буураад, харин 300-550 метрийн давхаргад температур өссөнөөр өндрийн температурын инверс үүссэн байна.

С. 2024 оны XII сарын 21-ний өдрийн оройн 20:00 цагийн хөөргөлтийн мэдээгээр газрын гадаргаас 200 метр хүртэл газрын гадаргын инверс, харин 600-1100 метрийн давхаргад өндрийн инверс зэрэгцэн ажиглагдсан.



Зураг 4. Газрын гадарга (А), өндрийн (В) болон газрын гадарга, өндрийн (С) хамт ажиглагдсан температурын инверс

Агаарын босоо, хэвтээ чиглэл дэх солилцоог сааруулдаг агаар мандлын нэг хүчин зүйл нь агаар мандлын температурын инверс буюу саатуулагч давхарга юм. Температурын инверс тогтсон үед хүний үйл ажиллагаатай холбоотойгоор агаар ихээхэн хэмжээтэй бохирдох, цаашилбал бохирдлын давтагдал мөн нэмэгддэг. Температурын инверсийн үед агаар маш тогтвортой төлөвт орших ба инверсийн давхарга агаарын босоо хөдөлгөөн, эмх замбараагүй хугалдалтыг сааруулснаар агаарын янз бүрийн хольц тоос, утаа, конденсацын цөм удаан хугацаагаар хуримтлагдах нөхцлийг бий болдог (Dorligjav et al., 2015; Sumiya et al., 2022).

Уур амьсгалын горим, өөрчлөлтийн хандлагыг гаргахдаа 2010-2025 оны “Улаанбаатар” цаг уурын өртөөний бодит ажиглалтын мэдээг цуглуулж, тэдгээрээс температурын инверсийн горимд нөлөөлдөг агаарын температур, салхины хурд, хур тунадасны зарим статистик үзүүлэлтийг тооцоолсон. Эдгээр тооцоолсон үзүүлэлтийг Монгол орны уур амьсгалын стандарт норм буюу 1981-2010 болон 1991-2020 оны дундаж утгатай харьцуулан үнэлгээ хийлээ.

Судалгааны ажлын хүрээнд өглөө, оройн аэрологийн хөөргөлтийн хугацаа дах агаарын дундаж температур, салхины дундаж хурдыг түүвэрлээд, эдгээр утгуудыг температурын инверсийн үзүүлэлтүүдтэй хир зэрэг хамааралтай байгааг корреляцийн шинжилгээгээр тогтоосон.

### Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

#### **Улаанбаатар хот орчмын агаарын температур, салхины хурдны горим, түүний өөрчлөлт:**

“Улаанбаатар” цаг уурын өртөө орчмын дулаан, хүйтний горимыг гаргахдаа сүүлийн 16 жилийн (2010-2025 он) хэмжилтээр тогтоосон агаарын температурын сар, жилийн дундажийг Хүснэгт 2-ын 2-р мөрөнд, харин горимын өөрчлөлтийг гаргахдаа дээр дурдсан дундаж утгыг уур амьсгалын шинэчилсэн стандарт норм буюу 1991-2020 оны сар, жилийн дундажтай харьцуулан Хүснэгтийн 5-р мөрөнд үзүүлэв.

2010-2025 оны агаарын температурын сарын дундаж, уур амьсгалын шинэчилсэн норм буюу 1991-2020 оны сарын дундажтай харьцуулахад зөвхөн II болон VIII сард тус бүр  $0.1^{\circ}\text{C}$ -ээр хүйтэрсэн, бусад саруудад  $0.1-1.3^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаарсан. Ялангуяа I болон III сард харгалзан  $1.0^{\circ}\text{C}$  ба  $1.3^{\circ}\text{C}$ -ээр огцом дулаарчээ. Агаарын температурын жилийн дундаж  $0.5^{\circ}\text{C}$ -ээр нэмэгдсэн (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Агаарын температурын сар, жилийн дундаж, үнэмлэхүй их, үнэмлэхүй бага утга, “Улаанбаатар” өртөө (°C-ээр)

Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
2010-2025	-20.3	-16.3	-5.4	3.6	10.5	16.9	19.1	16.5	10.5	1.3	-9.9	-18.5	0.7
1991-2020	-21.3	-16.2	-6.7	3.0	10.3	16.6	19.0	16.6	10.0	0.9	-10.6	-19.0	0.2
1981-2010	-21.5	-16.7	-7.7	2.1	10.1	15.7	18.3	16.0	9.5	0.7	-11.0	-18.9	-0.2
$\Delta_1$	1.0	-0.1	1.3	0.6	0.2	0.3	0.1	-0.1	0.5	0.4	0.7	0.5	0.5
$\Delta_2$	0.2	0.5	1.0	0.9	0.2	0.9	0.7	0.6	0.5	0.2	0.4	-0.1	0.4
$T_{max}$	-1.9	6.4	18.9	28.7	32.6	38.3	37.4	36.7	31.7	24.4	12.8	-0.3	38.3
$T_{min}$	-36.7	-33.9	-29.1	-17.0	-8.0	-1.1	5.8	0.0	-8.8	-19.2	-31.3	-33.0	-36.7

Дулаан, хүйтний горимын өөрчлөлтийг нарийвчлан гаргаж уур амьсгалын шинэчилсэн стандарт норм буюу 1991-2020 оны сар, жилийн дундаж болон уур амьсгалын түр норм буюу 1981-2010 оны сар, жилийн дундаж хоорондын зөрүүг хүснэгт 2-ын 6-р мөрөнд үзүүлэв.

Хүснэгт 2-оос үзэхэд уур амьсгалын шинэчилсэн стандарт норм буюу 1991-2020 оны агаарын температурын сарын дундаж, уур амьсгалын түр норм буюу 1981-2010 оны сарын дундажтай харьцуулахад зөвхөн XII сард  $0.1^{\circ}\text{C}$ -ээр хүйтэрсэн, бусад саруудад  $0.2-1.0^{\circ}\text{C}$ -ээр дулаарсан. Тухайлбал зуны саруудад  $0.6-0.9^{\circ}\text{C}$ -ээр, мөн хавар III болон IV сард харгалзан  $1.0^{\circ}\text{C}$  ба  $0.9^{\circ}\text{C}$ -ээр тус тус дулаарсан байна.

Уур амьсгалын шинэчилсэн стандарт нормоос үзвэл агаарын үнэмлэхүй их температур 2010 оны VI сарын 26-ны өдөр  $38.3^{\circ}\text{C}$ , харин үнэмлэхүй бага температур 2012 оны I сарын 30-ны өдөр  $-36.7^{\circ}\text{C}$  хэмжээтэй тус тус хэмжигдсэн байна (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Салхины дундаж хурд, “Улаанбаатар” өртөө (м/с-ээр)

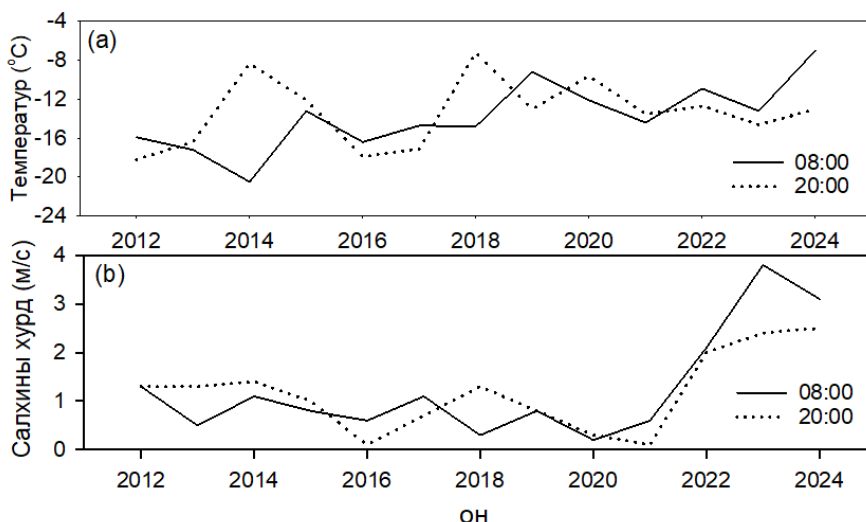
Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Жил
2010-2025	1.2	1.5	2.0	2.5	2.8	2.6	2.3	2.2	2.3	2.0	1.6	1.1	2.0
1991-2020	1.1	1.6	2.2	2.8	3	2.8	2.5	2.4	2.4	2.1	1.6	1.1	2.1
1981-2010	1.3	1.8	2.6	3.4	3.5	3.2	2.8	2.6	2.7	2.3	1.8	1.4	2.5
$\Delta_3$	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.1
$\Delta_4$	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4

Салхины хурдын хувьд 1991-2020 оны хэмжилтийн өгөгдлөөр тогтоосон сар, жилийн дундажийг 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад  $0.2-0.6$  м/с-ээр буурсан. 2010-2025 оны хэмжилтээр тооцоолсон сар, жилийн дундаж утгыг 1991-2020 оны дундаж утгатай харьцуулан үзэхэд XI, XII саруудад өөрчлөлтгүй I сард  $0.1$  м/с-ээр өссөн бол бусад хугацаанд  $0.1-0.3$  м/с-ээр буурсан нь агаар дахь бохирдуулагч хэсгийн сарнилтыг багасах, температурын инверс тогтвортой суурьших динамик нөхцөлийг бүрдүүлж байна.

Зураг 5-аар 2012-2024 оны “Улаанбаатар” өртөөний хүйтний улирлын 08:00 болон 20:00 цагийн агаарын температур, салхины хурдын дундаж утгын өөрчлөлтийг үзүүлээ.

Зураг 5а-аас үзвэл өглөө, оройн аэрологийн хэмжилтийн хугацаан дах хүйтний улирлын агаарын дундаж температур өсөх хандлагатай, ялангуяа өглөө 08:00 цагийн дундаж илүү огцом дулаарч байгаа нь тогтоогдлоо.

Зураг 5б-д “Улаанбаатар” өртөөний хүйтний улирлын өглөө 08:00 цаг, орой 20:00 цагт хэмжигдсэн салхины дундаж хурдны өөрчлөлтийн хандлагыг харуулав. Зургаас үзвэл 2012-2021 оныг хүртэл дээр дурдсан хугацаан дах салхины дундаж хурд өөрчлөлт бага, харин 2022 оноос огцом нэмэгдсэн нь энэ үзүүлэлт ерөнхий хандлагаараа өсөх шалтгаан болжээ.



Зураг 5. Хүйтний улирлын дундаж 08:00 болон 20:00 цагийн (а) температур ба (б) салхины хурд

**Температурын инверсийн үзүүлэлтүүдийн горим:**

*а. Температурын инверсийн давтагдал*

Температурын инверсийн давтагдал гэдэгт инверстэй өдрийн тохиолдлын тоог хувиар илэрхийлсэн үзүүлэлтийг хэлнэ. Температурын инверс үүслийн хувьд олон төрөлтэй боловч газрын гадарга орчмын инверс ихэвчлэн дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлтөөр үүсдэг (Эрдэнэсүх 2008). Газрын гадаргын туяарал харьцангуй их байх жилийн хүйтний улиралд болон хоногийн шөнийн хугацаанд давтагдал их байдгийг тогтоосон (Матвеев, 2000).

“Улаанбаатар” өртөөний 2012-2024 оны аэрологийн хөөргөлтөөр газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверс ажиглагдсан өдрийн тоо болон давтагдлыг Хүснэгт 4-д үзүүлээ. Өглөө 08:00 цагийн ажиглалтаар газрын гадарга орчмын температурын инверсийн давтагдлын дундаж 28%, оройн 20:00 цагийн хөөргөлтөөр тогтоосон дундаж давтагдал 14%, харин 08:00 цагт өндрийн температурын инверсийн давтагдал 49%, 20:00 цагийн хөөргөлтөөр тогтоосон давтагдлын дундаж 21% байв (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверстэй өдрийн тоо, давтагдал (%-иар)

Хугацаа	Цаг	Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
Газрын гадарга	08:00	Инверстэй өдрийн тоо	21	17	12	4	1	0	0	1	5	10	12	18	101
		Давтагдал	68	61	39	13	3	0	0	3	17	32	40	58	28
	20:00	Инверстэй өдрийн тоо	14	7	1	1	-	-	-	-	2	4	8	15	50
		Давтагдал	45	25	3	3	-	-	-	-	7	13	27	48	14
Өндрийн инверс	08:00	Инверстэй өдрийн тоо	16	14	14	15	16	11	12	14	15	14	19	19	179
		Давтагдал	52	50	45	50	52	37	39	45	50	45	63	61	49
	20:00	Инверстэй өдрийн тоо	15	10	4	2	2	1	2	1	2	5	13	17	75
		Давтагдал	48	36	13	7	6	3	6	3	7	16	43	55	21

Хүйтний улирлаар тооцоолон гаргахад өглөө 08:00 цагийн хөөргөлтөөр газрын гадаргын инверсийн давтагдал 50%, харин өндөрт ажиглагдсан инверсийн давтагдал 35% байна. Орой

20:00 цагийн хөөргөлтөөр газрын гадарга орчмын температурын инверсийн давтагдал 27%, өндөрт ажиглагдсан инверсийн давтагдал 53% хүрдэг онцлог илэрлээ.

Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улиралд газрын гадарга орчимд температурын инверс ажиглагдсан өдрийн тоо 10-21 (давтагдал нь 33-67%), оройн хэмжилтээр температурын инверс ажиглагдсан өдрийн тоо 1-15 (давтагдал 3-47%) байна. Дээрхи хүснэгт 4.-өөс үзвэл өглөөний хэмжилтээр жилийн 101-102 өдөр температурын инверстэй буюу давтагдал нь 28%-д хүрнэ. Орой 20:00 цагийн хэмжилтээр ойролцоогоор жилийн 50 өдөр инверс ажиглагддаг ба давтагдал нь 14% байна.

Өндрийн температурын инверсийн давтагдлыг авч үзвэл өглөө 08:00 цагийн ажиглалтаар жилийн туршид сар бүр 11-19 өдөр инверс ажиглагддаг, давтагдал нь 36-62% хооронд хэлбэлзэнэ. Дээрхи хүснэгт 6.-аас үзвэл орой 20:00 цагийн хөөргөлтөөр өндрийн инверстэй өдрийн тоо 1-17, давтагдал нь 3-55%-д хүрнэ. Өглөөний хэмжилтийн бараг 50%-д нь буюу 179-180 өдөр өндрийн инверс ажиглагддаг. Оройн хэмжилтээр жилд бараг 21%-ийн давтагдалтай буюу 75 өдөр өндрийн инверс ажиглагдана.

Температурын инверсийн давтагдлыг судалсан судлаачид энэ үзүүлэлтийг дэвсгэр гадаргын цацрагийн хөрөлттэй холбож тайлбарласан байдаг. Ялангуяа шөнийн туршид дэвсгэр гадарга хөрсөнөөр жилийн туршид газрын гадаргын инверс тасралтгүй үүсэх ба хөөрөлт хийхээс өмнө нар мандсан тохиолдолд өндрийн инверс болж босоо чиглэлийн дагуу шилждэг (Баасанхүү & Гомболүүдэв, 1996; Жадамбаа, 1972; Эрдэнэсүх, 2008).

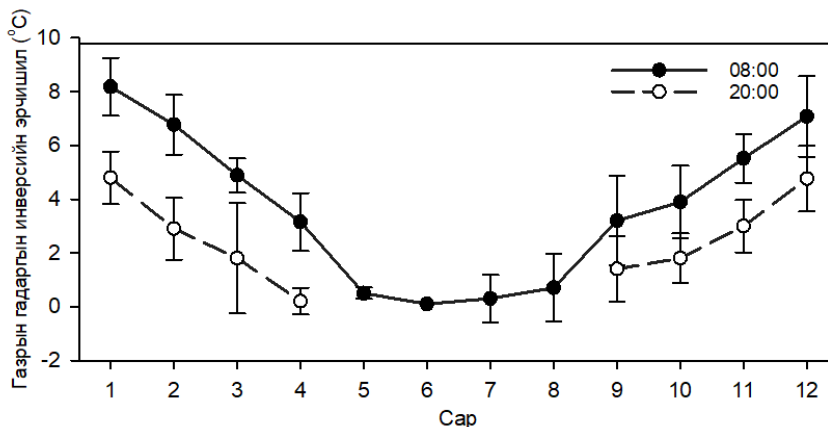
#### *b. Температурын инверсийн эрчимшил*

Температурын инверсийн үе давхаргын дээд болон доод хил дээрх температурын зөрүүт 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). Газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверсийн эрчимшлийг үзүүлэв (Хүснэгт 5).

Хүснэгт 5. Газрын гадарга орчмын ба өндрийн температурын инверсийн эрчимшил

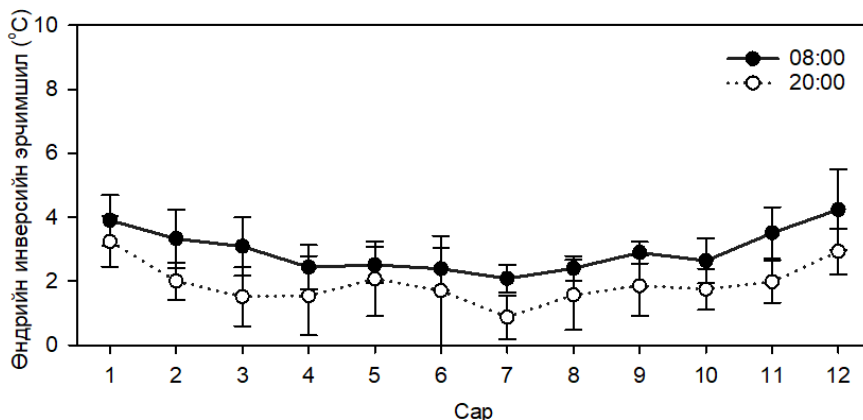
Төрөл	Хугацаа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
Газрын гадарга	08.00	8.2	6.8	4.9	3.2	0.5	0.1	0.3	0.7	3.2	3.9	5.5	7.1	3.7
	20.00	4.8	2.9	1.8	0.2	-	-	-	-	1.4	1.8	3.0	4.8	1.7
Өндрийн инверс	08.00	3.9	3.3	3.1	2.4	2.5	2.4	2.1	2.2	2.9	2.4	3.5	4.2	2.9
	20.00	3.2	1.8	1.5	1.4	1.9	1.0	0.8	1.0	1.6	1.6	2.0	2.9	1.7

Хүснэгт 5 болон Зураг 7-оос үзвэл “Улаанбаатар” өртөөний өглөө 08:00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшлийн дундаж 3.7°C, орой 20:00 цагийн хэмжилтийн дундаж эрчимшил 1.7°C буюу өглөө оройнхоос хоёр гаруй дахин хүчтэй инверс тогтдог. Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улиралд газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшил 3.9°C-8.2°C, оройн хэмжилтээр энэхүү үзүүлэлт 1.8-4.8°C хооронд хэлбэлзэж байгаа нь “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 байна (Калмыкова, 1957).



Зураг 7. Газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшлийн жилийн явц

Өглөө 08:00 цагийн хэмжилтээр өндрийн температурын инверсийн эрчимшлийн дундаж 2.9°C, орой 20:00 цагийн хэмжилтээр 1.7°C буюу өглөөгүүр харьцангуй хүчтэй өндрийн инверс тогтдог. Аэрологийн өглөөний хөөргөлтөөр жилийн турш ажиглагдсан өндрийн инверсийн эрчимшил 2.1-4.2°C, оройн хөөргөлтөөр тогтоосон өндрийн температурын инверсийн эрчимшлийн хамгийн бага утга VII сард 0.8°C, хамгийн их утга I сард 3.2°C хүрнэ (Хүснэгт 5, Зураг 8).



Зураг 8. Өндрийн температурын инверсийн эрчимшлийн жилийн явц

*с. 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. 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 (Эрдэнэсүх, 2008).

Температурын инверсийн зузаан тухайн газар нутгийн онцлог, өөрөөр хэлбэл судлаж буй газар нутгийн эргэн тойрны уулсын харьцангуй өндөр, далайн түвшнээс дээших өндөр, газарзүйн адраашил, ландшафт цаашилбал агаар мандлын орчил урсгал, дэвсгэр гадаргын нарны цацраг авах ба өөрийн туяарал зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарна (Эрдэнэсүх, 2008).

“Улаанбаатар” өртөөний 2012-2024 оны өгөгдлөөр тогтоосон газрын гадарга болон өндрийн инверсийн зузааныг үзүүлэв (Хүснэгт 6).

Хүснэгт 6. Газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверсийн зузаан (м-ээр)

Төрөл	Цаг /сар	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
Газрын гадарга	08:00	522	450	411	366	104	22	163	162	351	372	429	468	318
	20:00	498	372	152	34	43				186	206	362	462	197
Өндрийн инверс	08:00	395	348	302	297	298	280	285	266	299	290	339	381	315
	20:00	356	327	299	314	233	195	253	219	212	268	334	363	281

Өглөө 08:00 цагийн хэмжилтээр тогтоосон газрын гадарга орчмын температурын инверсийн жилийн дундаж зузаан 318 м, харин орой 20:00 цагийн хэмжилтээр энэ үзүүлэлт 197 м хүрдэг. Өмнө дурдсанаар шөнийн туршид туяарлаар дэвсгэр гадарга ихээхэн хөрөх тул өглөө хүчтэй, харьцангуй зузаан температурын инверсийн давхарга газрын гадарга орчимд үүсэж, хөгждөг байна. Өглөөний хэмжилтээр хүйтний улирлын температурын инверсийн зузаан 372-522 м, харин оройн хэмжилтээр 152-498 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 6).

Өглөө 08:00 цагийн хэмжилтээр өндрийн температурын инверсийн зузааны дундаж 315 м, орой 20:00 цагийн хэмжилтээр 281 м буюу өглөө оройныхоос бага зэрэг зузаан инверс тогтдог. Аэрологийн өглөөний хөөргөлтөөр жилийн турш ажиглагдсан өндрийн инверсийн зузаан 266-395 м, оройн хөөргөлтөөр тогтоосон өндрийн температурын инверсийн зузаан 195-363 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 6).

#### *Температурын инверсийн үзүүлэлт, тэдгээрийн өөрчлөлтийн хандлага:*

“Улаанбаатар” өртөөний газрын гадарга орчим ажиглагдсан температурын инверстэй өдрийн тоог өмнө хийгдсэн (Sumiya et al., 2022) судалгааны ажлуудын үр дүнтэй хийсэн харьцуулалтыг Хүснэгт 7-д үзүүлэв. 1957-2004 оны өглөө 08.00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн судалгаатай (Эрдэнэсүх, 2008) харьцуулахад температурын инверстэй өдрийн тоо 74 өдрөөр буюу 42 гаруй хувиар, 2012-2020 оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай (Sumiya et al., 2022) харьцуулахад энэ үзүүлэлт 7 өдрөөр буюу 6 гаруй хувиар тус тус буурсан. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны (Эрдэнэсүх, 2008) 08:00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан инверстэй өдрийн тоог бидний гүйцэтгэсэн судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 42 өдрөөр буюу бараг 32%-иар, 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай (Sumiya et al., 2022) харьцуулахад ердөө 3 өдрөөр буюу 3 гаруй хувиар тус тус буурчээ (Хүснэгт 7).

Хүснэгт 7. Температурын инверсийн давтагдлын харьцуулалт

Судалгаа	Хамрах хугацаа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
08:00 цаг														
Эрдэнэсүх, 2008	1957-2004	27	23	19	10	6	5	4	6	12	17	21	25	175
Sumiya et al., 2022	2012-2020	21	18	12	4	2	1	1	2	5	12	12	18	108
	2012-2024	21	17	12	4	1	0	0	1	5	10	12	18	101
20:00 цаг														
Эрдэнэсүх, 2008	1957-2004	23	16	8	3	2	2	1	2	7	12	17	23	116
Sumiya et al., 2022	2012-2020	13	8	2	1	0	0	0	0	2	5	8	15	54
	2012-2024	14	7	1	1	0	0	0	0	2	4	8	15	52

1957-2004 оны орой 20.00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн дээр дурдсан судалгаатай харьцуулахад температурын инверстэй өдрийн тоо 64 өдрөөр буюу 55 гаруй хувиар, 2012-2020

оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай харьцуулахад энэ үзүүлэлт зөвхөн 2 өдрөөр буюу бараг 4%-иар тус тус буурчээ. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны 20:00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан инверстэй өдрийн тоог энэхүү судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 50 өдрөөр буюу бараг 51%-иар, 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай харьцуулахад ердөө 2 өдрөөр буюу 4%-иар тус тус буурсан болохыг тогтоолоо (Хүснэгт 8).

Хүснэгт 8. Газрын гадарга орчмын ба өндрийн температурын инверс хамт ажиглагдсан өдрийн тоо

Хугацаа	Үзүүлэлт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
08:00, 20:00	Инверстэй өдрийн тоо	10	6	3	1	-	-	-	-	-	2	5	11	38
	Давтагдал (%)	32	21	10	3	-	-	-	-	-	6	17	35	10

Газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверс хамт ажиглагдсан өдрийн тоо болон давтамжийг дээрхи Хүснэгт 8-д үзүүлэв. Газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверс жилийн хүйтний улиралд ихэнхдээ зэрэгцэн ажиглагддаг, ялангуяа өвлийн саруудад 6-11 өдөр буюу 21-35%-ийн давтагдалтай ажиглагдана. Дулааны улиралд аэрологийн хөөргөлт хийхээс өмнө нар мандаж, дэвсгэр гадарга халснаар түүнтэй нийлэх агаарын хэсэг халж тэлснээр газрын гадарга орчмын температурын инверс дээш хөөрөхийн зэрэгцээ эрчимшил нь суларна.

Улаанбаатар” өртөөний газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшлийг өмнө хийгдсэн (Эрдэнэсүх, 2008, Sumiya et al., 2022) судалгааны ажлуудын үр дүнтэй харьцуулж Хүснэгт 9-д үзүүлэв. 1957-2004 оны өглөө 08:00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн судалгаатай (Эрдэнэсүх, 2008) харьцуулахад температурын инверсийн эрчимшил 0.8°C-ээр, 2012-2020 оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай (Sumiya et al., 2022) харьцуулахад энэ үзүүлэлт 0.4°C-ээр тус тус буурсан. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны 08:00 цагийн хэмжилтээр температурын инверсийн эрчимшил бидний гүйцэтгэсэн судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 0.6°C-ээр буурсан, харин 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай харьцуулахад өөрчлөлтгүй байв (Хүснэгт 9).

Хүснэгт 9. Температурын инверсийн эрчимшлийн харьцуулалт (°C-ээр)

Судалгаа	Хамрах хугацаа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
08:00 цаг														
Эрдэнэсүх С (2008)	1957-2004	8.8	7.4	4.6	2.9	2.3	1.5	1.5	2.2	3.3	4.5	6.5	8.4	4.5
Sumiya, et al., (2023)	2012-2020	8.2	6.5	4.8	3.5	1.3	1.9	0.6	1.5	3.7	4.4	5.5	7.1	4.1
	2012-2024	8.2	6.8	4.9	3.2	0.5	0.1	0.3	0.7	3.2	3.9	5.5	7.1	3.7
20:00 цаг														
Эрдэнэсүх С (2008)	1957-2004	6.4	4.3	2.4	1.6	2.4	1.7	1.3	1.8	2.1	2.6	4.3	6.6	3.1
Sumiya, et al., (2023)	2012-2020	5.1	3.4	4	2.2	0	0	0	0	2.5	2.5	3.3	4.7	2.3
	2012-2024	4.8	2.9	1.8	0.2	0	0	0	0	1.4	1.8	3	4.8	1.7

1957-2004 оны орой 20:00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн дээр дурдсан судалгаатай харьцуулахад температурын инверсийн эрчимшил 1.4°C-ээр, 2012-2020 оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай харьцуулахад энэ үзүүлэлт 0.6°C-ээр тус тус буурчээ. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны 20.00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан инверсийн эрчимшлийг энэхүү судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 1.3°C-ээр, 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай харьцуулахад 0.7°C-ээр тус тус буурсан болохыг тогтоов (Хүснэгт 10).

Хүснэгт 40. Газрын гадарга орчмын болон өндрийн инверс хамт ажиглагдсан үеийн эрчимшил (°C-ээр)

Төрөл	Хугацаа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
Газрын гадаргын инверс	08:00	6.4	6.3	4.4	1.2	-	-	-	0.2	0.4	2.6	3.6	6.4	2.8
	20:00	3.6	2.4	0.1	-	-	-	-	-	0.3	0.6	2.5	4.4	1.2
Өндрийн инверс	08:00	1.6	2.2	2.1	0.8	-	-	-	0.1	0.4	1.0	1.9	2.9	1.1
	20:00	2.4	1.2	0.1	-	-	-	-	-	0.1	0.4	1.4	2.5	0.7

Хүснэгт 10-т газрын гадарга орчмын болон өндрийн инверс хамт ажиглагдсан үеийн тэдгээрийн эрчимшлийг үзүүлээ. Өглөө, оройн аль ч хөөргөлтийн хувьд дэвсгэр гадаргатай нийлж байрладаг, босоо чиглэлийн дагуу агаарын даралт (нягт) буурдагтай холбоотой газрын гадарга орчимд үүссэн инверсийн эрчимшил өндрийн инверсийнхээс их байх шалтгаан болно. Тухайлбал хүйтний улиралд өглөөний хөөргөлтөөр газрын гадарга орчмын болон өндрийн температурын инверс зэрэгцэн ажиглагдаж байх тохиолдолд газрын гадаргын инверсийн эрчимшил 5.0°C, харин өндрийн инверсийн эрчимшил 2.0°C буюу 2.5 дахин хүчтэй, оройн хөөргөлтөөр газрын гадаргын инверсийн эрчимшил 2.3°C, өндрийн инверсийн эрчимшил 1.3°C буюу 1.7 дахин хүчтэй инверс тогтдог.

Улаанбаатар” өртөөний газрын гадарга орчмын температурын инверсийн зузааныг өмнө хийгдсэн (Эрдэнэсүх, 2008, Sumiya et al., 2022) судалгааны ажлуудын үр дүнтэй харьцуулж Хүснэгт 10.-д үзүүлэв. 1957-2004 оны өглөө 08.00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн судалгаатай (Эрдэнэсүх, 2008) харьцуулахад температурын инверсийн зузаан бараг 300 м-ээр, 2012-2020 оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай (Sumiya et al., 2022) харьцуулахад энэ үзүүлэлт 109 м-ээр тус тус буурсан. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны 08:00 цагийн хэмжилтээр температурын инверсийн зузаан бидний гүйцэтгэсэн судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 276 м-ээр, харин 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай харьцуулахад ердөө 28 м-ээр тус тус буурсан байв (Хүснэгт 11).

Хүснэгт 11. Температурын инверсийн зузааны харьцуулалт (м-ээр)

Судалгаа	Хамрах хугацаа	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
08:00 цаг														
Эрдэнэсүх, 2008	1957-2004	796	719	615	548	535	489	488	484	558	648	737	791	617
Sumiya et al., 2022	2012-2020	549	449	427	354	295	290	353	356	403	428	459	509	427
	2012-2024	522	450	411	366	104	22	163	162	351	372	429	468	318
20:00 цаг														
Эрдэнэсүх, 2008	1957-2004	705	553	314	266	273	298	286	315	294	340	556	732	411
Sumiya et al., 2022	2012-2020	518	419	395	375	0	0	0	0	191	202	375	493	247
	2012-2024	498	372	152	34	43	0	52	0	186	206	362	462	197

1957-2004 оны орой 20:00 цагийн хэмжилтээр хийгдсэн дээр дурдсан судалгаатай харьцуулахад температурын инверсийн зузаан 214 м-ээр, 2012-2020 оны өгөгдлөөр хийсэн судалгаатай харьцуулахад энэ үзүүлэлт 50 м-ээр тус тус буурчээ. Хүйтний улиралд 1957-2004 оны 20:00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан инверсийн зузааныг энэхүү судалгааны үр дүнтэй харьцуулан үзэхэд 191 м-ээр, 2012-2020 оны хэмжилтийн утгатай харьцуулахад 58 м-ээр тус тус буурсан болохыг тогтоолоо.

Газрын гадарга орчмын болон өндрийн инверс хамт ажиглагдсан үеийн тэдгээрийн зузааныг үзүүлээ. Газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверс жилийн хүйтний улиралд ихэнхдээ зэрэгцэн ажиглагддаг (Хүснэгт 12).

Хүснэгт 12. Газрын гадарга орчмын ба өндрийн температурын инверс хамт ажиглагдсан зузаан /метрээр/

Төрөл	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	жил
08:00 цаг													
Газрын гадарга	363	323	342	121	-	-	-	56	30	172	249	350	167
Өндрийн инверс	328	341	348	144	-	-	-	47	35	156	288	301	166
20:00 цаг													
Газрын	346	274	13	-	-	-	-	-	17	47	246	349	108
Өндрийн инверс	273	202	13	-	-	-	-	-	25	35	302	305	96

Өглөө 08:00 цагийн аэрологийн хэмжилтээр зэрэгцэн ажиглагдсан газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверсийн зузаан бараг ижил 166-167 м, харин 20:00 цагийн хэмжилтээр өндрийн инверсийн зузаан газрын гадарга орчмынхоос бага зэрэг зузаан буюу 12 м-ээр их байна. Энэ байдал нар шингэснээр (нарны өндөр буурснаар) дэвсгэр гадарга хөрч, улмаар түүний дээр байрлах агаар шахагдсанаас болж газрын гадарга орчмын инверсийн зузаан өндрийн инверсийнхээс бага болдог гэж үзэж байна. Хүйтний улиралд дээрхи хоёр төрлийн инверс хамт ажиглагдсан тохиолдолд 08.00 цагийн хэмжилтээр газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверсийн зузаан харгалзан 300 м ба 294 м өөрчлөлт багатай бол 20.00 цагийн хэмжилтээр өндрийн инверсийн зузаан газрын гадарга орчмынхоос 24 м-ээр их байдаг.

**Температурын инверсийн хураангуй статистик үзүүлэлтүүд:**

Газрын гадарга орчмын, өндрийн болон газар, өндрийн температурын инверсийн давхаргын үзүүлэлтүүдийн статистик дүн шинжилгээг хийв (Хүснэгт 13).

Хүснэгт 13. Температурын инверсийн үзүүлэлтүүдийн хураангуй статистик (2012-2024)

Үзүүлэлт	Газрын гадарга орчмын инверс		Өндрийн температурын инверс		Газрын гадарга орчмын ба өндрийн инверс хамт ажиглагдсан			
	Зузаан (м)	Эрчимшил (°C)	Зузаан (м)	Эрчимшил (°C)	Газрын гадаргын		Өндрийн	
					Зузаан (м)	Эрчимшил (°C)	Зузаан (м)	Эрчимшил (°C)
Дундаж	439	5.4	325	2.8	323	5.2	332	2.2
Стандарт алдаа	5.9	0.1	3.0	0.1	8.0	0.1	8.0	0.1
Стандарт хазайлт	26.4	3.4	17.6	2.6	17.6	3.1	17.6	1.7
Амплитуд	1890	28.3	2090	71.8	1780	23.5	1360	14.7
Минимум	10	0	12	0	10	0	10	0
Максимум	1900	17.9	1370	30.2	1270	17.5	1260	14.3
Тоо	1970		3308		485			

Статистик үзүүлэлтүүдийг авч үзвэл дундаж байдлаар газрын гадарга орчимд өндрөөсөө илүү эрчимшилтэй, зузаан инверс тогтдог байна. Харин үнэмлэхүй утгаар хамгийн эрчимшилтэй инверс өндөрт ажиглагдсан байна. 2012-2024 оны хооронд ажиглагдсан нийт инверсийн тохиолдлын 34% нь газрын гадаргын, 57% нь өндрийн инверс байдаг бол үлдсэн 9% нь газар өндөрт давхар инверс тохиолдсон байна.

## Дүгнэлт

Судалгааны ажлын хүрээнд хийгдсэн тооцоо, шинжилгээнд үндэслэн дараах дүгнэлтүүдийг гаргав.

“Улаанбаатар” өртөөний 2012-2024 оны 08:00 цагийн хэмжилтээр жилийн 101-102 өдөр газрын гадарга орчмын температурын инверстэй буюу давтагдал нь 28%-д хүрнэ. Харин 20:00 цагийн хэмжилтээр ойролцоогоор жилийн 50 өдөр инверс ажиглагддаг ба давтагдал нь 14% байна. Тэгвэл өндрийн температурын инверсийн давтагдлыг авч үзвэл 08:00 цагийн ажиглалтаар жилийн туршид сар бүр 11-19 өдөр инверс ажиглагддаг, давтагдал нь 36-62% хооронд хэлбэлзэнэ. 20:00 цагийн хэмжилтээр өндрийн инверстэй өдрийн тоо 1-17, давтагдал нь 3-55%-д хүрнэ. 08:00 цагийн хэмжилтийн бараг 50%-д нь буюу 179-180 өдөр өндрийн инверс ажиглагддаг бол 20:00 цагийн хэмжилтээр жилд бараг 21%-ийн давтагдалтай буюу 75 өдөр өндрийн инверс ажиглагдана.

“Улаанбаатар” өртөөний 08:00 цагийн хэмжилтээр ажиглагдсан газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшлийн дундаж 3.7°C, харин 20:00 цагийн хэмжилтийн дундаж эрчимшил 1.7°C буюу өглөө оройнхоос хоёр гаруй дахин хүчтэй инверс тогтдог. 08:00 цагийн хэмжилтээр хүйтний улиралд газрын гадарга орчмын температурын инверсийн эрчимшил 3.9°C-8.2°C, тэгвэл 20:00 цагийн хэмжилтээр энэхүү үзүүлэлт 1.8-4.8°C хооронд хэлбэлзэж байгаа нь “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 байна.

08:00 цагийн хэмжилтээр тогтоосон газрын гадарга орчмын температурын инверсийн жилийн дундаж зузаан 318 м, харин 20:00 цагийн хэмжилтээр энэ үзүүлэлт 197 м хүрдэг. Шөнийн туршид туяарлаар дэвсгэр гадарга ихээхэн хөрөх тул өглөө хүчтэй, харьцангуй зузаан температурын инверсийн давхарга газрын гадарга орчимд үүсэж, хөгждөг байна. 08:00 цагийн хэмжилтээр хүйтний улирлын температурын инверсийн зузаан 372-522 м, харин 20:00 цагийн хэмжилтээр 152-498 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ.

Газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверс жилийн хүйтний улиралд ихэнхдээ зэрэгцэн ажиглагддаг болохыг тогтоолоо. 08:00 цагийн аэрологийн хэмжилтээр зэрэгцэн ажиглагдсан газрын гадаргын болон өндрийн температурын инверсийн зузаан бараг ижил 166-167 м, харин 20:00 цагийн хэмжилтээр өндрийн инверсийн зузаан газрын гадарга орчмынхоос бага зэрэг зузаан буюу 12 м-ээр их байна. Энэ байдал нар шингэснээр (нарны өндөр буурснаар) дэвсгэр гадарга хөрч, улмаар түүний дээр байрлах агаар шахагдсанаас болж газрын гадарга орчмын инверсийн зузаан өндрийн инверсийнхээс бага болдог гэж үзэж байна.

## Талархал

Энэхүү судалгааны ажилд хянан магадлагаа хийж үнэтэй санал, зөвлөгөө өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье. Уг судалгааг МУИС-ийн өндөр түвшний “Улаанбаатар хотын бичил уур амьсгалын судалгаа (P2023-4594)” сэдэвт төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

## Номзүй

1. Баасанхүү, Г., & Гомболүүдэв, П. (1996). Монгол орны нутаг дэвсгэр дээрхи температурын инверсийн онцлог зарим шинж. *УЦУЭШХ-ийн бүтээл*, 18.
2. 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.
3. Дорлигжав, Д., Ганпүрэв, Д., Алтанболд, Э., Төгс-Эрдэнэ, Э., Энх-Амгалан, Д., Даваадорж, Д., Жаргалсайхан, Б. (2021). Барилгын сүүдэрлэлт, нарны шууд тусгал, эрчим хүчний хэрэглээний харилцан хамаарал (Орон сууцны хорооллын жишээн дээр). *Geographical Issues*, 21(1), 59-75. <https://journal.num.edu.mn/gi/article/view/30>
4. Жадамбаа, Ш. (1972). *Роль инверсий температуры воздуха в процессах усиления зимнего антициклона над Азией. Труды ГМЦ* [Doctorial,
5. Жамбаажамц, Б. (1989). *Монгол орны уур амьсгал*. Улсын хэвлэх үйлдвэр.
6. Идэрчулуун, Н. (2013). *Улаанбаатар хотын газрын гадарга орчмын температурын инверсийн горим, өөрчлөлт* Улаанбаатар.
7. Калмыкова, Н. М. (1957). О формировании сибирского антициклона. *Метеорология и гидрология*, 4, 20-24.
8. Матвеев, Л. (2000). *Физика атмосферы*. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат.
9. 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.
10. Мижиддорж, Р. (1994). Жилийн дундаж температурын хандлагыг тодорхойлоход статистик тайлал хийх аргыг ашиглах нь. *УЦУЭШХ-ийн бүтээл*, 17, 12-18. (“Орчлон” хэвлэлийн компани)
11. Намхайжанцан, Г., & Нацагдорж, Л. (2008). Богд хан уулын уур амьсгалын онцлог шинж.
12. Ууганхүү, Т. (2004). *Улаанбаатар хот орчмын хязгаарын үе давхарга дахь цаг уурын хэмжигдэхүүнүүдийн горим*
13. Цоозол, М. (1996). Монгол орон дахь газрын гадарга орчмын температурын инверс. *МУИС-ийн Эрдэм шинжилгээний бичиг*, 125(2).
14. Чогсом, Д. (2010). *Ерөнхий цаг уур: Агаар мандлын физик*. Сорхон цагаан ХХК.
15. Эрдэнэсүх, С. (2008). *Монгол орны газрын гадарга орчмын температурын инверсийн судалгаа. Газарзүйн ухааны докторын диссертаци* Улаанбаатар.
16. Andrews, D. G. (2010). *An introduction to atmospheric physics*. Cambridge University Press.
17. Byambatsolmon, B., Ganpurev, D., Sandelger, D., Myagmartseren, P., Erdenejargal, B., & Azjargal, D. (2024). Relationship between different urban surfaces and the urban heat island (A case study of the Ulaanbaatar city): Хотын ялгаатай гадаргуу ба хотын дулааны арал хоорондын хамаарал (Улаанбаатар хотын жишээн дээр). *Geographical Issues*, 24(01), 48-62. <https://journal.num.edu.mn/gi/article/view/6997>
18. Dorligjav, S., Sumiya, E., & Purevjav, G. (2015). Influence of photochemistry and Meteorology on seasonal variations of surface ozone [Original research]. *Papers in Meteorology and Hydrology*, 35(9), 48-59. Institute of Hydrology, Meteorology and Environment, Mongolia

19. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2024). New geomorphological districts of lakes in Mongolia. *Mongolian Journal of Geography and Geoecology*, 61(45), 1-18. <https://doi.org/10.5564/mjgg.v61i45.3235>
20. 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. <https://doi.org/10.1007/s13143-016-0007-y>
21. Ganbat, G., Han, J.-Y., Ryu, Y.-H., & Baik, J.-J. (2013). Characteristics of the urban heat island in a high-altitude metropolitan city, Ulaanbaatar, Mongolia. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 49(4), 535-541. <https://doi.org/10.1007/s13143-013-0047-5>
22. 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.3853>
23. Kannemadugu, H. b. s., Dorligjav, S., Taori, A., Bothale, R. V., & Chauhan, P. (2024). Long term trends in global air pollution potential and its application to ventilation corridors. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 17(9), 2057-2071.
24. Liang, W., & Yang, M. (2019). Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 21, 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.suscom.2018.11.007>
25. Nyam-Osor, N., Dorligjav, S., Magsar, A., Sumiya, E., Bumtsend, T., Shaariibuu, G., Matsumoto, T. (2024). Estimation of Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment in Ulaanbaatar and a Potential Approach for Emission Reductions. In *EcoDesign for Sustainable Products, Services and Social Systems II* (pp. 127-141). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-3897-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-99-3897-1_9)
26. Sumiya, E., Dorligjav, S., Purevtseren, M., Gombodorj, G., Byamba-Ochir, M., Dugerjav, O., Tsegmid, B. (2022). Climate patterns affecting cold season air pollution of ulaanbaatar city, Mongolia. *Climate*, 11(1), 4. <https://doi.org/10.3390/cli11010004>
27. 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. <https://doi.org/10.2151/sola.2017-017>
28. 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.
29. West, J. (2018). Asia's Stunted Economic Development. In J. West (Ed.), *Asian Century... on a Knife-edge: A 360 Degree Analysis of Asia's Recent Economic Development* (pp. 19-55). Springer Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7182-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7182-9_2)
30. Zuga, Z., Sandelger, D., Baasansuren, B., Amarjargal, D., & Erdenesukh, S. (2023). Study of climate regime and near-surface temperature inversion of Dalanzadgad city, South Mongolia: Даланзадгад орчмын уур амьсгалын горим, газрын гадарга орчмын температурын инверсийн судалгаа. *Geographical Issues*, 23(01), 102-117. <https://journal.num.edu.mn/gi/article/view/4052>