



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

Geographical Issues

Газарзүйн Асуудлууд

Volume 25 (02)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Long-term climate changes in permafrost region of the Mongolian Altai: The case study area in Khovd province

Gankhuyag Nemekhbayar^{1,2*}, Adiya Saruulzaya³, Ariunbold Maralmaa³, Erdenebat Enkhbat⁴

¹Department of Environment and Forest Engineering, School of Engineering and Technology, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 14201, Mongolia

²Department of Geography and Physical Engineering, School of Western Regional, National University of Mongolia, Khovd, Mongolia

³Division of Permafrost Research, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15170, Mongolia

⁴Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, Ulaanbaatar 15160, Mongolia

*Corresponding author: nemekhbayar@num.edu.mn

Received: 2025.04.27

Revised: 2025.06.18

Accepted: 2025.06.25

Abstract

It is an irrefutable fact that climate change is actively occurring rapidly in Mongolia, as confirmed by numerous studies in recent years. This phenomenon is particularly pronounced in high-mountainous regions. We conducted this study to assess climate change in permafrost regions of the Mongolian Altai mountains, and evaluated its impact on permafrost degradation and projected future trends. We selected Khovd province as the case study area. It is located in the Mongolian Altai region. The long-term meteorological data from the Khovd and Baitag stations is definitive. These stations are located in Jargalant and Bulgan soums in Khovd province. Furthermore, climate change projection models used to estimate future trends up to the year 2100. Climate change projection models show that air temperature will increase by between 1.3°C and 7.1°C by 2100. The SSP5-8.5 scenario shows unequivocally that the highest warming is expected, with air temperatures in the study area rising by 5.2 to 7.1°C after the 2070s compared to the average of 1981-2010. The results of this study are clear: over the 82-year period from 1940 to 2021, the air temperature in the study area has increased by approximately 2.5°C to 3°C. Precipitation patterns show variability, with increases of up to 2.44 mm in some areas and decreases of up to 2.73 mm in others. The projections of permafrost degradation are in line with the anticipated impacts of climate change in the Mongolian Altai mountains. It is clear that it will completely disappear by 2099. It is vital to take appropriate, scientifically based responses to reduce and prevent the intensity of climate change and base extinction in this region.

Keywords: Mongolian Altai, climate change, permafrost, air temperature, precipitation, future trends

Монгол Алтайн цэвдэгт бүс нутгийн урт хугацааны уур амьсгалын өөрчлөлт: Ховд аймгийн жишээн дээр

©Ганхуяг Нэмэхбаяр^{1,2*}, Адьяа Саруулзаяа³, Ариунболд Маралмаа³, Эрдэнэбат Энхбат⁴

¹Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, Инженер Технологийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 14201, Монгол Улс

²Газарзүй, физик инженерчлэлийн тэнхим, Баруун Бүсийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Ховд хот, Монгол Улс

³Цэвдэг судлалын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Монгол Улсын шинжлэх ухааны академи, Улаанбаатар 15170, Монгол Улс

⁴Ус, Цаг уур, Орчны Шинжилгээний Мэдээлэл, Судалгааны Хүрээлэн, Улаанбаатар 15160, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: nemekhbayar@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024.04.28

Засварласан: 2025.06.18

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.06.25

Хураангуй

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын өөрчлөлт Монгол оронд эрчимтэй явагдаж байгааг олон судалгаа тогтоосон байдаг. Энэ нь ялангуяа уулархаг бүс нутгуудад түлхүү ажиглагдаж байна. Иймд бид Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг үнэлэх, улмаар уур амьсгалын өөрчлөлт цэвдгийн алдралд хэрхэн нөлөөлж буйг тогтоох, ирээдүйн чиг хандлагыг тодорхойлох үндсэн зорилготой энэхүү судалгааг хийлээ. Бид Монгол Алтайн нуруунд байрлах Ховд аймгийг судалгааны талбайгаар сонгож авсан. Судалгааны талбайд байрлах Ховд аймгийн Жаргалант сумын Ховд, Булган сумын Байтаг станцуудын цаг уурын олон жилийн мэдээг ашиглан дүн шинжилгээ хийсэн. Үүнээс гадна 2100 он хүртлэх ирээдүйн хандлагыг гаргахад уур амьсгалын өөрчлөлтийн загваруудыг ашиглан тодорхойлов. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн загваруудаар 2100 он хүртэлх агаарын температур хамгийн багадаа 1.3°C-ээр, дундаж 4.2°C-ээр, хамгийн ихдээ 7.1°C-ээр дулаарахаар байна. SSP5-8.5: загвараар хамгийн ихээр дулаарах буюу судалгааны талбайн агаарын температур 2070-аад оноос хойш 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад 5.2...7.1°C-ээр нэмэгдэх төлөвтэй байна. Судалгааны үр дүнгээр 1940-2021 оны хоорондох 82 жилийн хугацаанд сонгосон талбайн агаарын температур 2.5-3°C-ээр дулаарсан бол хур тунадасны хэмжээ зарим хэсэгт 2.44 мм-ээр нэмэгдэж, зарим хэсэгт нь 2.73 мм-ээр багассан. Монгол Алтайн нурууны уур амьсгалын өөрчлөлтийн эдгээр таамаглалтай цэвдгийн алдралын үзүүлэлт мөн давхацсан үр дүн гарч байгаа ба судалгааны талбайн цэвдгийн ирээдүйн хандлагын зураглалаар 2099 он гэхэд бүрэн устаж үгүй болох таамаглал ажиглагдаж байна. Иймд энэхүү бүс нутагт уур амьсгалын өөрчлөлт, цэвдгийн алдралын эрчмийг бууруулах, урьдчилан сэргийлэхийн тулд түүнд тохирсон шинжлэх ухааны үндэслэлтэй хариу арга хэмжээ авах нь зайлигүй шаардлагатай.

Түлхүүр үгс: Монгол Алтай, уур амьсгалын өөрчлөлт, цэвдэг, агаарын температур, хур тунадас, ирээдүйн чиг хандлага

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Г.Нэмэхбаяр:** Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдлийн дүн шинжилгээ, үндсэн бичвэр, зураглал боловсруулалт, **А.Саруулзаяа:** Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, **Э.Энхбат:** аргазүй боловсруулалт, зураглал боловсруулалт, **А.Маралмаа:** зураглал боловсруулалт.

Оршил

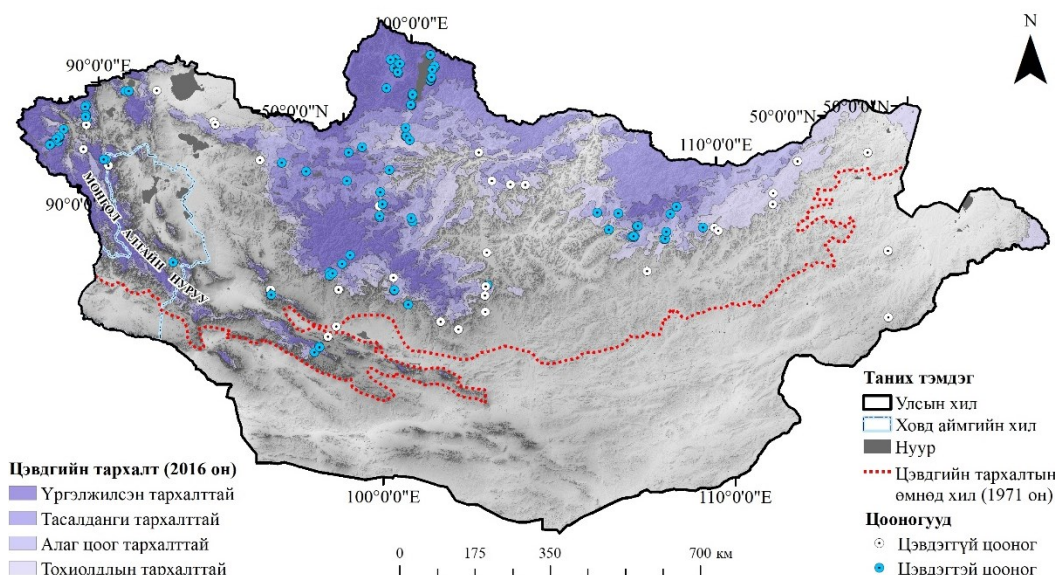
Цэвдэг нь тэг буюу түүнээс доош градуст хоёр ба түүнээс дээш жил орших хөрс чулуулаг юм (French, 2017). Монгол орон Дорнод Сибирийн цэвдгийн өмнөд захад орших ба тэг градуст ойрхон хасах температуртай, уулархаг, хуурай гандуу бүс нутгийн цэвдэгтэй. Өргөн уудам газар нутаг, байгалийн олон бүс бүслүүрийг дамнан оршдог, төв Азийн эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай зэргээс шалтгаалан манай оронд цэвдэг чулуулаг тасалданги, алаг цоог хэлбэрээр тархдаг (Саруулзаяа, 2023). Монгол орны хувьд цэвдэг чулуулаг нь Алтай, Хөвсгөл, Хангай, Хэнтийн уулс болон уулс хоорондын хөндий, хотост ихэвчлэн тархдаг (Walther et al., 2017; Жамбалжав, 2017).

Монгол орны цэвдэг нь температур, газарзүйн байрлал, ландшафт, геологийн онцлогоос хамаарч бүс нутаг бүрт харилцан адилгүй байдаг. Алтай, Хангайн уулсын цэвдгийн тархалтад өндрөөс хамаарсан зүй тогтол хүчтэй илэрдэг бол, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсад гадаргын хэлбэр төрх, газрын бүрхэвч, хурдас чулуулгаас хамаарна. Үүнээс гадна уулархаг нутгийн цэвдгийн тархалтад өргөрөг, зүг зовхисын нөлөө хүчтэй илэрдэг. Цэвдгийн тархалтын онцлог болон ландшафт, физик газарзүйн мужлалд үндэслэн (Цэгмид, 1969; Даш, 2010) Монгол орныг Монгол алтай, Говь-алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтий, Хянганы уулархаг цэвдэгт бүс болгон 6 ангилсан байдаг. Монгол улсын засаг захиргааны нэгжээр авч үзвэл цэвдгийн тархалтаар Хөвсгөл, Завхан, Архангай, Хэнтий, Баян-Өлгий аймгууд (8.3-20.7%) эхний тавд ордог бол Дорноговь, Өмнөговь, Дундговь, Говьсүмбэр, Сүхбаатар гэсэн говь, хээрийн бүсэд орших 5 аймгийн газар нутагт огт цэвдэггүй болно (Жамбалжав, 2017). Гэвч эдгээр аймгуудын газар нутаг улирлын хөлдөлттэй бүсэд оршино.

Орос-Монголын хамтарсан хээрийн экспедицийн хүрээнд 1971 онд 1:1,500,000 масштабтай геокриологийн зургийг уламжлалт аргаар зохиосон ба нийт газар нутгийн 63%-д цэвдэгтэй (Гравис, 1971) гэж тогтоосон. Уг зурагт Монгол орны цэвдгийг тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, ховор алаг цоог, тохиолдлын, өнжмөл цэвдэгт бүслүүрүүдэд ба улирлын хөлдөлтийн бүсэд хуваасан байдаг. Цэвдэг тархах боломжит хувиар нь үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт >80%, тасалданги тархалттай бүслүүрт 40-80%, алаг цоог тархалттай бүслүүрт 10-40%, ховор алаг цоог тархалттай бүслүүрт 1-10%, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт <1% гэж ангилсан байдаг. Энэхүү зургийг 2016 онд цэвдгийн дээд хилийн жилийн дундаж температур (ТТОР загвар)-ыг ашиглан урт хугацааны цэвдгийн мониторингийн цэгүүдийн температурын мэдээнд үндэслэн шинэчлэн зурагласан ба Монгол орны нийт газар нутгийн 29.3%-д цэвдэг (Зураг 1) тархаж буйг тодорхойлсон (Yamkhin et al., 2022). Сүүлийн жилүүдэд ТТОР загварыг ашиглан цэвдгийн тархалтын зураглалд өргөн ашиглах болсон бөгөөд судлаачид дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагасын цэвдгийн зураглалыг ч мөн энэхүү загварыг ашиглан гаргасан (Obu et al., 2019).

Сүүлийн 45 жилийн хугацаанд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр Монгол орны цэвдгийн өмнөд хил Хангай, Хэнтийн нуруунд ойролцоогоор 94-178 км-ээр ухарсан бол өндрийн зүй тогтлын хувьд 240-900 м-ээр дээш шуугдсан зүй тогтол ажиглагдаж байна (Жамбалжав, 2017). Үүнээс гадна Монгол орны Алтай, Хөвсгөл, Хангайн уулархаг бүсэд тархсан мөстлөг 35%-иар буурч эрчимтэй гэсэлтэд орж буйг судалсан бол тухайн бүсэд мөстлөгийн гаралтай нууруудын динамик зүй тогтлыг ч мөн нарийвчлан гаргасан байдаг (Walther et al., 2023, 2004; Kamp et al., 2022, Enkbold et al., 2024). Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр Монгол орны цэвдэг чулуулагт температурын эрчимтэй өөрчлөлт илрээд зогсохгүй, шинж чанарын өөрчлөлт идэвхижиж, цэвдэг чулуулаг алдралд орж байна (Adiya, 2023; Streletskiy et al., 2015). Ялангуяа энэхүү өөрчлөлт нь өндөр уулын цэвдэгтэй бүс нутагт ихээр ажиглагдах болсон. Үүний нэг жишээ нь Монгол Алтайн нуруу ба энэхүү уулархаг бүс нутагт Монгол орны цэвдгийн 14.8% тархдаг. Тус бүс нутагт үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 31,158 км², тасалданги тархалттай цэвдэг 14,462 км², алаг цоог тархалттай цэвдэг 11,459 км², тохиолдлын тархалттай цэвдэг 11,571 км² талбайг тус тус эзэлнэ (Жамбалжав, 2016). Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн хэмжээнд ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын урт хугацааны цэвдгийн мониторингийн 33 цооногтой (Зураг 1).

Цэвдэг нь уур амьсгалын бүтээгдэхүүн бөгөөд тухайн бүс нутагт тархсан цэвдгийн алдралыг үнэлэхэд хамгийн чухал хүчин зүйлийн нэг нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөл юм (Gavrilova, 1993; Murton, 2021). Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүс нутгийн уур амьсгалын урт хугацааны өөрчлөлтийг нарийвчлан судалсан судалгаа маш цөөхөн хийгдсэн байдаг (Walther et al., 2017; Adiya, 2023). Иймд уур амьсгалын урт хугацааны хандлагыг тодорхойлсноор тухайн бүс нутгийн хүрээлэн буй орчин, цэвдэгт хэрхэн нөлөөлж буйг харьцуулан судлах нь шинжлэх ухааны ач холбогдолтой ба уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр цаашид авах хариу арга хэмжээг тодорхойлоход үнэ цэнтэй судалгаа болно. Энэхүү судалгаагаар бид Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн тархалтыг урт хугацааны уур амьсгалын өөрчлөлттэй харьцуулан судлах зорилго тавьсан. Уг судалгааны зорилгын хүрээнд дараах 3 зорилтыг дэвшүүлэв: 1) Монгол Алтай нурууны уур амьсгалын өөрчлөлтийг цаг уурын мэдээ ашиглан тодорхойлох (1940-2021), 2) Судалгааны талбайн уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн чиг хандлагыг тооцох (2021-2100), 3) Цэвдгийн тархалт болон уур амьсгалын урт хугацааны өөрчлөлтийг харьцуулан, дүн шинжилгээ хийх зорилтыг дэвшүүлсэн.

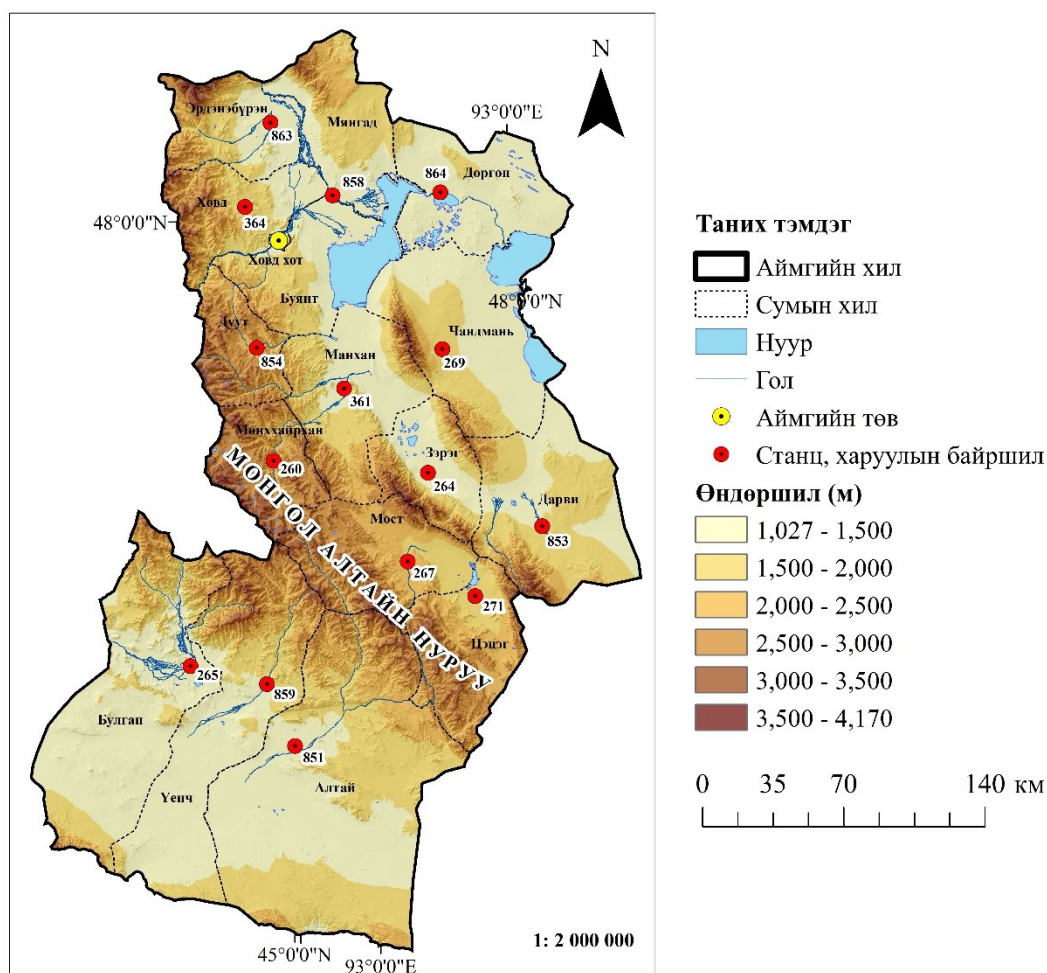


Зураг 1. Монгол орны цэвдгийн тархалт ба Монгол Алтайн нуруу орчмын цэвдгийн тархалт (Гравис 1971; Жамбалжав, 2016).

Судалгааны талбай

Энэхүү судалгаанд Монгол Алтайн нуруунд орших Ховд аймгийн газар нутгийг судалгааны талбайгаар сонгож авсан ба тус аймгийн Цэцэг, Мөст, Мөнххайрхан, Дуут, Жаргалант, Булган, Үенч, Алтай сумын газар нутагт Монгол Алтайн нурууны гол нурууд оршдог онцлогтой (Зураг 2). Монгол Алтайн нуруу нь баруун хойноос зүүн урагш чиглэн аажмаар намсахын зэрэгцээ хэд хэдэн нуруу болж салаалдаг (Цэгмид, 1969). Газарзүйн байршил, уулзүйн онцлог, уур амьсгал зэрэгтэй холбоотойгоор геофизиологийн өөрийн гэсэн онцлогийг бүрдүүлдэг. Харьцангуй нимгэн сэвсгэр хурдас, тачир ургамлын бүрхэвч зэрэгтэй холбоотойгоор тус уулсын системд уулзүйн онцлог цэвдэг бүрэлдэн тогтох бичил уур амьсгалын нөхцөлийг бүрдүүлсэн байдаг (Жамбалжав, 2017). Өөрөөр хэлбэл тус уулсын системийн хэмжээнд цэвдэг үүсэн хөгжих, оршин тогтнох гол хүчин зүйлс нь далайн түвшнээс дээш өргөгдсөн байдал болон зүг зовхис юм (Зураг 2). Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн доод хил Хархираа-Түргэний уулсад д.т.д 1850-2010 м, Алтай Таванбогд, Цамбагаравын уулсад 2,000-2,220 м, Мөнххайрхан, Хөх Сэрхийн нуруунд 2,160-2,400 м, Сутай, Алаг хайрхан уулсад 2,500-2,700 м өндөрт тус тус байна (Цэгмид, 1969). Тус бүс нутгийн хэмжээнд ихэвчлэн 10-15м хүртэлх гүнтэй цэвдгийн мониторингийн 33 цооног

байдаг ба Ховд аймгийн Цэцэг сумын нутагт орших Цэцэг нуурын ойролцоо орших урт хугацааны мониторингийн нэг цэг байрладаг. Уг цооногт идэвхтэй давхаргын гүн 2.95 м, цэвдгийн температур 10 м-ийн гүнд -0.12°C байна (Adiya, 2023).



Зураг 2. Судалгааны талбай болон цаг уурын станц, харуулуудын байршил

Судалгааны материал, арга зүй

Цаг уурын станцын мэдээ болон дүн шинжилгээ: Сонгосон судалгааны талбай нь Монгол Алтайн нуруунд орших Ховд аймгийн хэмжээнд нийт 16 цаг уурын станц, харуулууд байрладаг. Эдгээр станц, харуулууд нь аймаг, сумын төв суурин газар байдаг. Хоорондоо ойролцоогоор 24-54 км зайтай оршдог. Ховд аймагт хамгийн анхны цаг уурын станцыг 1937 онд байгуулсан түүхтэй. Одоогийн байдлаар тус аймгийн хэмжээнд 16 цаг уурын станц, харуулууд тогтмол ажилладаг. Гэвч судалгааны талбайн газар нутгийн хувьд өнгөрсөн хугацаанд уур амьсгалын өөрчлөлтийг үнэлэхийн тулд хамгийн урт, тасралтгүй мэдээтэй цөөн хэдэн станцууд байсан учир бид энэхүү судалгаанд Ховд аймгийн Жаргалант, Булган сумын Байтаг цаг уурын станцуудын 1940-2021 оны агаарын температур болон хур тунадасны мэдээг тус тус авч ашигласан.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн загварууд: Дэлхийн олон улс орны уур амьсгалын судалгааны байгууллага, цаг уурч, эдийн засагч, эрчим хүчний салбарын мэргэжилтнүүд, загвар зохион бүтээгчдийн олон жилийн хөгжүүлэлтээр бий болж, шалгагдсан томоохон загварууд байдаг. Энэхүү судалгаанд бид SSPs загварыг ашиглан судалгааны талбайн уур амьсгалын өөрчлөлтийн 2100 он хүртэлх ирээдүйн төлөвийг үнэлсэн. Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудлаарх засгийн

газар хоорондын зөвлөл (International Panel on Climate Change)-ийн AR6 тайланд тэргүүлэх ач холбогдол өгсөн дараах шинэлэг хандлага, загваруудыг ашигласан. Үүнд:

CMIP6: Дэлхийн уур амьсгалын судалгааны хөтөлбөр (World Climate Research Programme)-ийн “Загвар хоорондын харьцуулалтын төсөл (Coupled Model Intercomparison Project)”-ийн 6-р үеийн үр дүн.

RCPs: Хүлэмжийн хийн ялгарал ба цацрагийн хүч (radiative forcings)-ний ирээдүйн төлөвийг тооцсон "Төлөөлөх агууламжийн замнал (Representative Concentration Pathways)"-ын 4 түвшний сценари: 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 ватт/м².

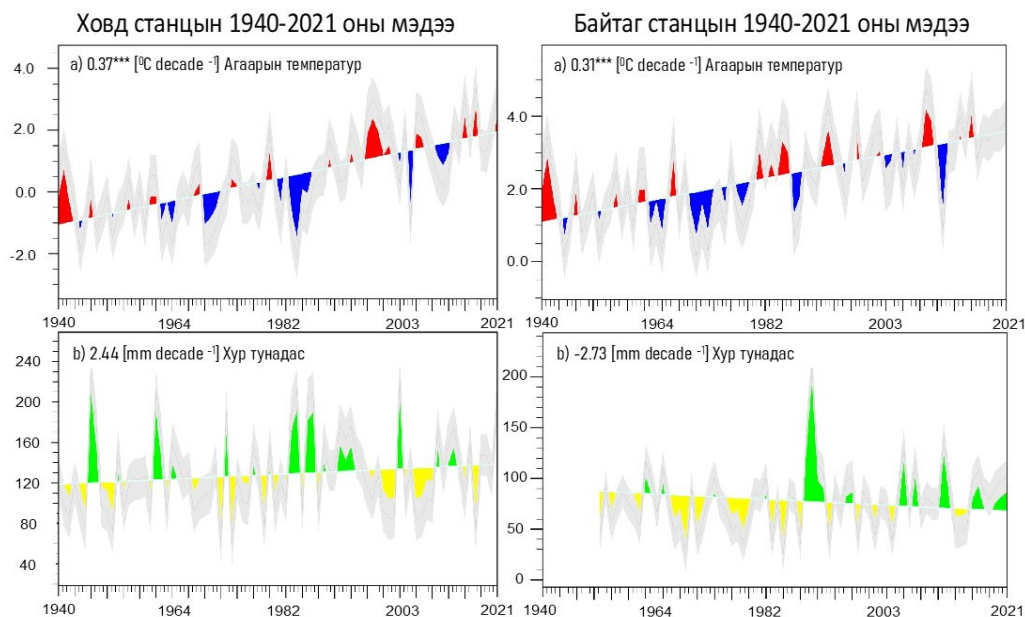
SSPs: Уур амьсгалын бодлого, хүлэмжийн хийн ялгарлын хувилбарууд, дэлхийн хүн ам, нийгэм-эдийн засгийн өсөлт, боловсрол, хотжилт, технологийн хөгжлийн хурдыг тооцсон “Нийгэм-эдийн засгийн хамтын хэрэглээний замнал (Shared Socioeconomic Pathways)”-ын загваруудыг хэлнэ.

Цэвдгийн алдралын ирээдүйн хандлага: Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр бүс нутгийн болон тив, дэлхийн хэмжээнд цэвдгийн алдралын ирээдүйн өөрчлөлтийг маш олон эрдэмтэн судлаач нар загварчлалын аргаар тооцож гаргасан байдаг (Guodong et al., 2007; Marchenko et al., 2008; Schuur et al., 2011; Schaefer et al., 2011). Эдгээр судалгааны үр дүнгээс харахад 2100 он гэхэд Хойд Америк, Төвөдийн Тэгш Өндөрлөгийн хэмжээнд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 50%-аас илүү нь алдралд орох бол Дорнод Сибирийн цэвдгийн 25% хүртэлх хувь нь алдралд орно гэж төсөөлсөн байдаг. Харин Монгол орны цэвдэгт бүс нутгийн хэмжээнд алдрал 2040 онд нийт газар нутгийн 29%-д, 2070 онд 20.7%-д хүрэх ирээдүйн төсөөллийг тооцоолсон (Dagvadorj et al., 2001). Сүүлийн үеийн судалгаанаас үзвэл манай орны хэмжээнд цэвдгийн алдралын ирээдүйн хандлагыг 2016-2099 болон 2021-2100 оны хооронд ур амьсгалын ирээдүйн өөрчлөлтийн загвар болох RegCM4-HadGEM загвар, RCP2.6 болон 8.5-аар үнэлсэн судалгааны ажлууд цөөнгүй хийгдсэн байна (Жамбалжав, 2017; Saruulzaya and Enkhbat, 2021). Иймд бид энэхүү судалгаанд өмнө нь хийгдсэн цэвдгийн алдралын ирээдүйн хандлагын үр дүнгээс Монгол Алтайн нурууны сонгосон судалгааны талбайд уур амьсгалын өөрчлөлтийн хандлагатай харьцуулан дүн шинжилгээ хийлээ.

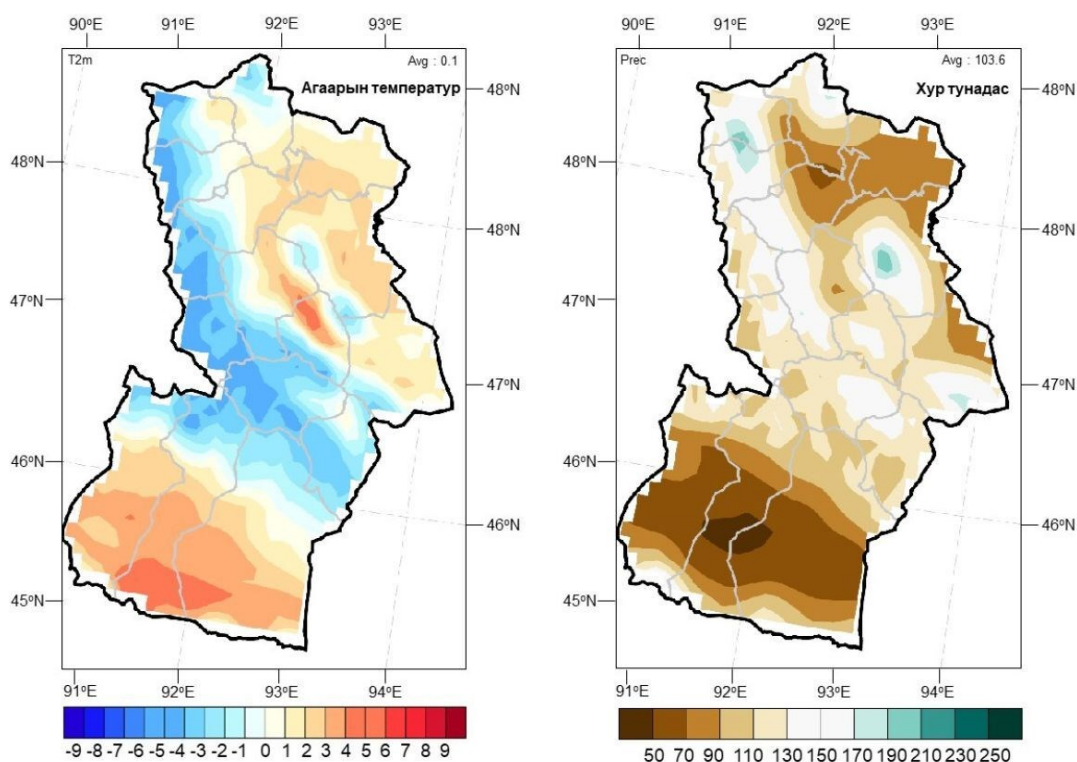
Судалгааны үр дүн

Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсийн урт хугацааны уур амьсгалын өөрчлөлт: Монгол Алтайн нуруунд орших судалгааны талбайн хэмжээнд хамгийн урт, тасралтгүй мэдээний цуваатай Жаргалант сумын Ховд, Булган сумын Байтаг станцуудын 1940-2021 оны жилийн дундаж агаарын температур, жилийн нийлбэр хур тунадасны мэдээг авч тооцсон. Судалгааны хугацаанд жилийн дундаж агаарын температур сүүлийн 82 жилийн хугацаанд 2.5-3.0°C-ээр нэмэгдсэн (99% статистик үнэмшилтэй) бол жилийн нийлбэр хур тунадас 10 жил тутамд Ховд станцад 2.44 мм-ээр нэмэгдэж, Байтаг станцад бага зэрэг (2.73 мм-ээр) багассан үзүүлэлттэй байна (Зураг 3).

Судалгааны талбайн 9 км х 9 км-ийн тороор гаргасан зургаас үзэхэд олон жилийн дундаж температур, хур тунадасны орон зайн тархалтад уулзүйн нөлөө их, баруун хойноос зүүн урагш чиглэсэн тархалттай байсан (Зураг 4). Монгол Алтай нуруунаас урагш агаарын температур +1...+5°C, хур тунадас 50-90 мм, Алтайн нурууны бүсэд агаарын температур -1...-5°C, хур тунадас 90-170 мм, Алтайн нуруунаас зүүн хойш Их нууруудын хотгорт агаарын температур 0...+4°C, хур тунадас 70-190 мм тус тус байна.

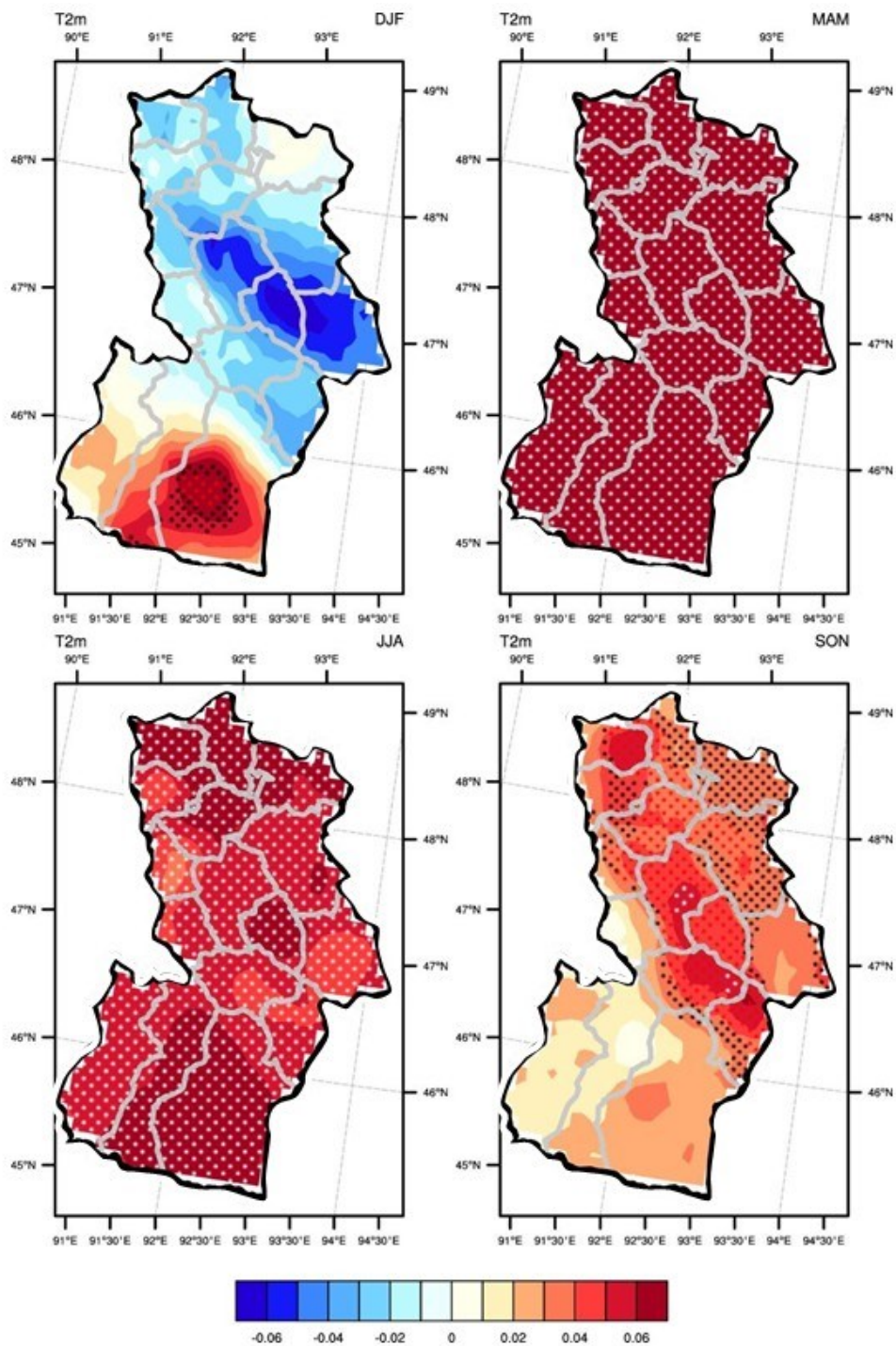


Зураг 3. Жилийн дундаж агаарын температур болон жилийн нийлбэр хур тунадасны урт хугацааны хандлага (1940-2021 он).

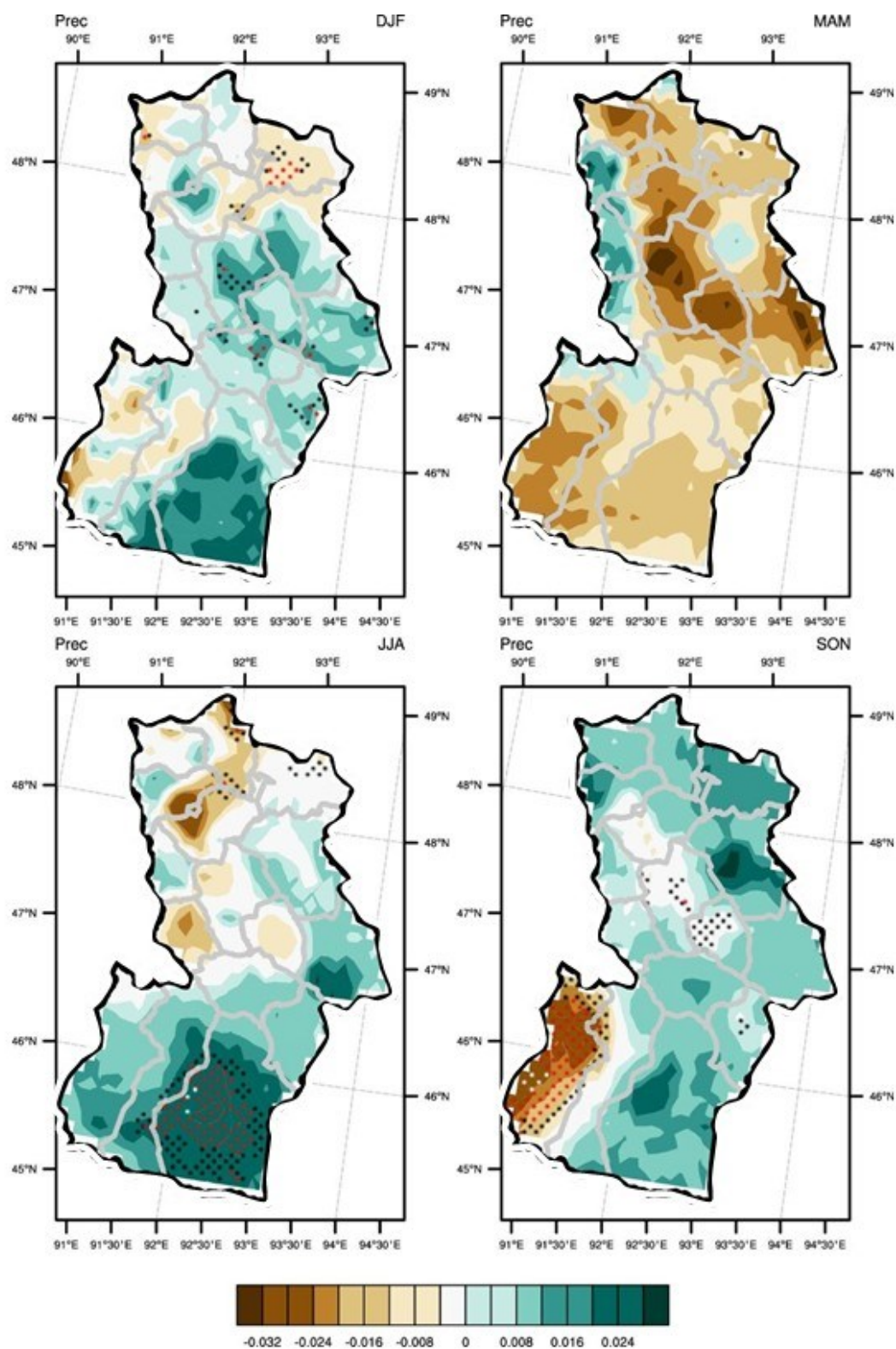


Зураг 4. 1985-2021 оны олон жилийн дундаж агаарын температур, хур тунадас

Үүнээс гадна 9 км х 9 км-ийн торын цэг бүр дээрх 1985-2021 оны хоорондох агаарын температур болон хур тунадасны улирлын өөрчлөлтийг тус тус харууллаа (Зураг 5 ба 6). Улирлын өөрчлөлтийг өвөл (12, 1, 2 дугаар сар DJF), хавар (3, 4, 5 дугаар сар MAM), зун (6, 7, 8 дугаар сар), намар (9, 10, 11 дүгээр сар SON)-аар тооцож гаргасан. Статистик үнэмшилийг шалгахдаа МК (Mann-Kendall)-ын аргыг ашигласан (Wang et al., 2020).



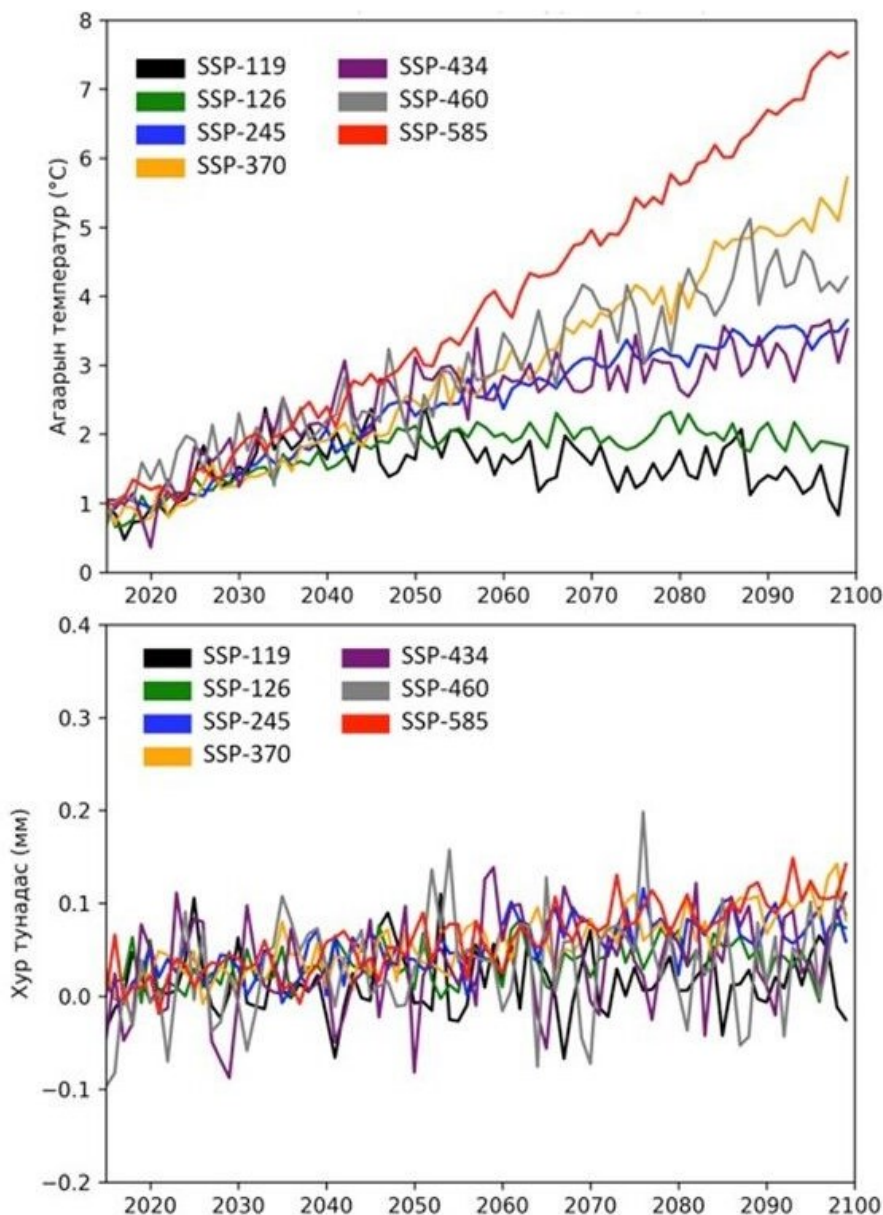
Зураг 5. 1985-2021 оны агаарын температурын улирлын өөрчлөлт (DJF, MAM, JJA, SON). Цэг нь 90 хувиас дээших статистик үнэлшлийг илэрхийлнэ.



Зураг 6. 1985-2021 оны хур тунадасны улирлын өөрчлөлт (Хар цэгүүд нь 90 хувиас дээших статистик үнэмшлийг илэрхийлнэ)

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн төсөөлөл (2021-2100): Уур амьсгалын өөрчлөлтийн олон загварын үр дүнгээс Монгол Алтайн нурууны агаарын температур, хур тундасны хувьд дараах төсөөлөл гарч байна (Зураг 7).

SSP1-1.9: Уур амьсгалын өөрчлөлтийн асуудлаарх засгийн газар хоорондын зөвлөл (IPCC)-ийн хамгийн өөдрөг хувилбараар Монгол Алтайн нурууны цэвдэгт бүсийн агаарын температур 2050 он хүртэл 10 жил тутам 0.3°C -ээр өсөх ба ялгаруулалт тэг болсноос хойш 2100 он хүртэл 10 жил тутам 0.3°C -ээр буурах төлөвтэй байна. 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад 2060 он хүртэл $1.3 \dots 1.8^{\circ}\text{C}$ -ээр нэмэгдэж байгаад өсөлт нь саарч 2100 он гэхэд 2030 оны түвшинд хүрнэ.



Зураг 7. Судалгааны талбайн агаарын температур ($^{\circ}\text{C}$) болон хур тунадас (мм/хоног)-ны ирээдүйн төсөөлөл

SSP1-2.6: Дэлхийн CO_2 ялгаруулалт эрс багасгах ч хурдан биш, 2050 оноос хойш тэг болох, дэлхийн агаарын температур 2100 он гэхэд 1.8°C орчимд тогтворжих, нийгэм, эдийн засгийн

тогтвортой байдлын төсөөлөл SSP1-1.9 сценаритай ижил хувилбар. Энэ хувилбараар судалгааны талбайн агаарын температур 2040 оноос хойш 1.9...2.0°C-ээр нэмэгдэнэ.

SSP5-8.5: 2050 он гэхэд одоогийн CO₂ ялгаралтын түвшин ойролцоогоор хоёр дахин нэмэгдэх, хамгийн ихээр дулаарах энэ хувилбараар судалгааны талбайн агаарын температур 2070-аад оноос хойш 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад 5.2...7.1°C-ээр нэмэгдэх төлөвтэй. Үүнээс зайлсхийх бүх арга хэмжээг авах хэрэгтэй.

Бусад хувилбар: Агаарын температур тасралтгүй нэмэгдэж 2100 он гэхэд 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад 3.3...5.1°C-ээр нэмэгдэх төлөвтэй байна (Зураг 7, Хүснэгт 1). Судалгааны талбайн хур тунадасны ирээдүйн төсөөллийг мөн Зураг 5 болон Хүснэгт 1-д үзүүлэв. Бүх хувилбараар хур тунадас маш бага хэмжээгээр нэмэгдэх төлөвтэй. 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад SSP1-1.9 хувилбараар хур тунадасны өсөлт хамгийн бага 0.003-0.023 мм/хоног бол SSP5-8.5 хувилбараар өсөлт хамгийн их 0.027-0.114 мм/хоног байна (статистик үнэмшил 84%).

Хүснэгт 1. Судалгааны талбайн агаарын температур болон хур тунадасны ирээдүйн өөрчлөлтийн төсөөлөл 2021-2100 он.

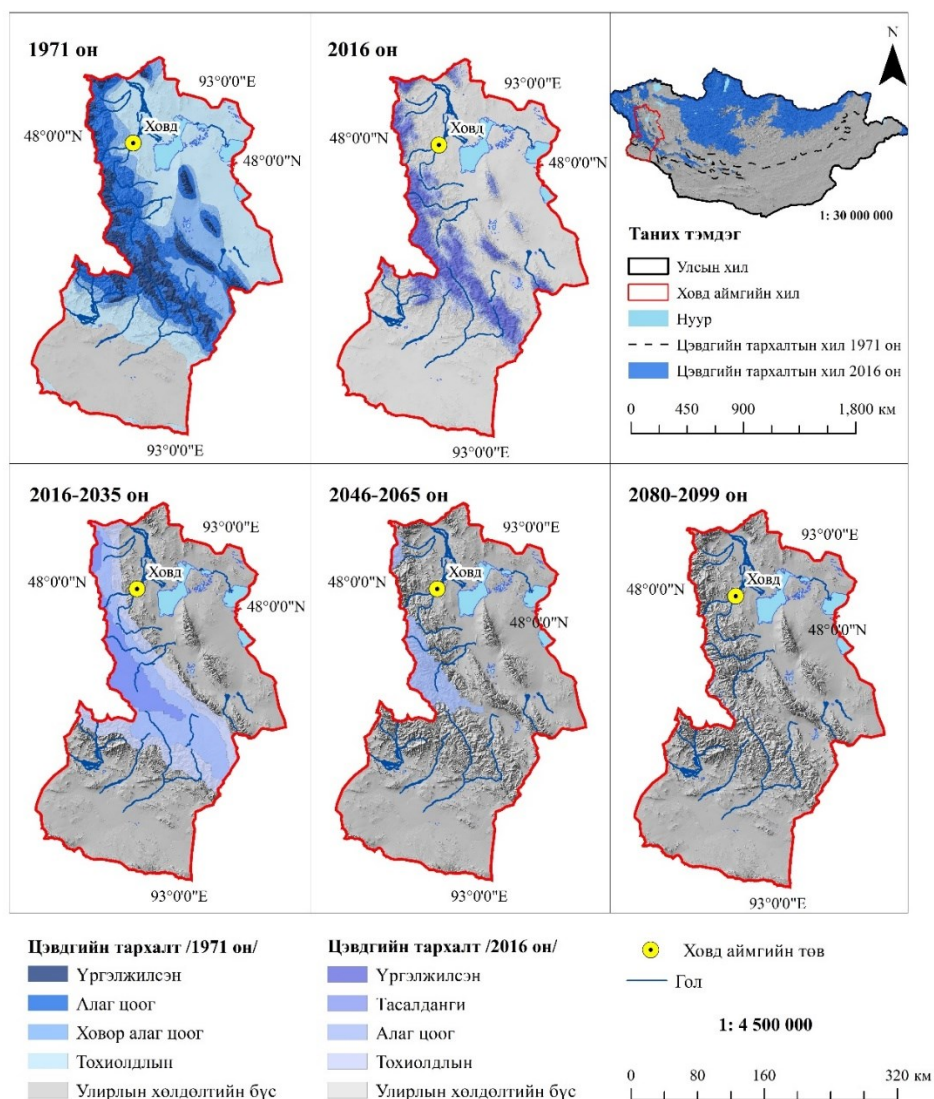
Агаарын температурын ирээдүйн өөрчлөлтийн төсөөлөл (1981-2010 оны дундажтай харьцуулсан өөрчлөлт, °C)							
Хугацаа	SSP 119	SSP 126	SSP 245	SSP 370	SSP 434	SSP 460	SSP 585
2021-2030	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5	1.7	1.4
2031-2040	1.9	1.5	1.7	1.6	2.1	2.0	2.1
2041-2050	1.7	1.9	2.1	2.1	2.5	2.4	2.8
2051-2060	1.8	2.0	2.5	2.7	2.8	2.8	3.5
2061-2070	1.6	2.0	2.8	3.3	2.8	3.5	4.4
2071-2080	1.5	2.0	3.1	3.9	3.0	3.6	5.2
2081-2090	1.6	2.0	3.3	4.6	3.1	4.3	6.2
2091-2100	1.3	1.9	3.5	5.1	3.3	4.3	7.1
Хур тунадасны ирээдүйн өөрчлөлтийн төсөөлөл (1981-2010 оны дундажтай харьцуулсан өөрчлөлт, мм/хоног)							
Хугацаа	SSP 119	SSP 126	SSP 245	SSP 370	SSP 434	SSP 460	SSP 585
2021-2030	0.022	0.015	0.033	0.027	0.009	0.006	0.027
2031-2040	0.003	0.026	0.026	0.037	0.030	0.043	0.028
2041-2050	0.019	0.038	0.048	0.045	0.011	0.019	0.049
2051-2060	0.017	0.029	0.040	0.051	0.052	0.060	0.056
2061-2070	0.021	0.040	0.079	0.061	0.047	0.022	0.071
2071-2080	0.011	0.054	0.069	0.073	0.037	0.066	0.090
2081-2090	0.011	0.045	0.078	0.083	0.052	0.021	0.094
2091-2100	0.023	0.044	0.073	0.105	0.055	0.050	0.114

Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн өөрчлөлт ба ирээдүйн хандлага: Монгол Алтайн нуруунд цэвдэг үүсэн хөгжих, оршин тогтнох гол хүчин зүйл нь далайн төвшнөөс дээш өргөгдсөн байдал болон зүг зовхис юм (Жамбалжав, 2017). 1971 онд Орос-Монголын хамтарсан хээрийн экспедицийн хүрээнд хийгдсэн геофизикийн зургийг 2016 оны цэвдгийн тархалтын зурагтай харьцуулахад (Зураг 1) Монгол Алтайн нуруунд цэвдгийн үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрийн талбай буурсан байна. Үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрийн цэвдгийн талбайн өөрчлөлт бага байгаа боловч тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрийн эзлэх талбай ихээхэн багасжээ. Өөрөөр хэлбэл цэвдгийн тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт цэвдгийн алдрал хамгийн эрчимтэй явагдаж байгаа нь харагдаж байна. Үүний үр дүнд улирлын хөддөлтийн бүсийн эзлэх талбай тодорхой хэмжээгээр нэмэгдсэн байна (Зураг 8).

Дээрх үр дүнг тоо баримтаар дурьдвал Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 0.08%-иар, тасалданги, алаг цоог тархалттай бүслүүр 70.69%-иар, ховор алаг цоог тархалттай бүслүүр 13.6%-иар, тохиолдлын тархалттай бүслүүр 23%-иар тус тус буурч улирлын хөддөлттэй бүсийн талбайн хэмжээ 10.93 дахин нэмэгдсэн байна. Энэхүү үр дүнгээс харахад тасалданги, алаг цоог тархалттай бүслүүр хамгийн их алдралд орж, улирлын хөддөлттэй газар нутгийн хэмжээ ихээр нэмэгдсэн нь цэвдэг идвэхтэй алдралд орж байгааг харуулж байна.

Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн тархалтын ирээдүйн өөрчлөлтийн хандлагыг эрдэмтэн Жамбалжав (2017) RegCM4-HadGEM загвараар 2016-2099 онд тооцож гаргасан үр дүнг харуулав (Зураг 8). Энэхүү судалгааны үр дүнгээр Монгол Алтайн нуруунд орших Ховд аймгийн хэмжээнд судалгааны талбайн газар нутагт тархсан цэвдэг нь үргэлжилсэн бүсэд 2016-2035 онд 0.03%, тасалданги бүсэд 1.11%, алаг цоог 10.65%, тохиолдлын бүсэд 6.40%-иар буурсан байна. Тэгвэл 2046-2065 онд зөвхөн алаг цоог цэвдгийн тархалт 5.75% үлдсэн бол цэвдэг нь 2099 он гэхэд бүрэн хайлж дуусах ирээдүйн төсөөлөлтэй байна.

Цэвдгийн өөрчлөлтийг тодорхойлдог гол үзүүлэлт бол идэвхтэй давхаргын зузаан ба гүний градиентын дагуу хэмжсэн температур юм (Romanovsky et al., 2010). Цэвдэг нь уур амьсгалын бүтээгдэхүүн бөгөөд аливаа өөрчлөлтөд өндөр мэдрэмтгий байдаг. Дулаарлын нөлөөгөөр тэг градуст ойрхон хасах температуртай цэвдэг нь гэсэж, цэвдгийн өмнөд хил хойшоо ухрах, алдарч үгүй болсоор байна. Монгол Алтайн нурууны цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захаар идэвхтэй давхаргын зузаан нэмэгдэх үзэгдэл ч элбэг ажиглагдаж байна. Жишээ нь Ховд аймгийн Цэцэг сумын нутагт орших Цэцэг нуурын ойролцоо орших урт хугацааны мониторингийн цэгт 2018 онд идэвхтэй давхаргын гүн 2.95 м хүрч, цэвдгийн температур 10 м-ийн гүнд -0.116°C байна (Adiya, 2023).



Зураг 8. Судалгааны талбайн цэвдгийн ирээдүйн өөрчлөлт

Судалгааны хэлэлцүүлэг

Олон улсын цэвдэг судлаачдын анхаарлыг татаж судалгааны талбарын нэг нь Монгол улс бөгөөд өмнөх судалгааны ажлуудад уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөнд эрчимтэй өртөж орон гэдгийг онцолсон байдаг (Borodavko et al., 2018). Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүс нутгийг хамарсан дунд хугацаанд хийсэн судалгааны дүн үр дүнгээс харахад 1940-2017 оны хооронд агаарын дундаж температур 2.08°C -аар нэмэгдсэн гэсэн судалгааны үр дүнгүүд байдаг (Khishigsuren and Bayasgalan, 2007; Borodavko et al., 2018). Бидний судалгааны үр дүнгээр 1940-2021 оны олон жилийн дундаж агаарын температурыг авч үзэхэд температур 82 жилд $2.5\text{--}3.0^{\circ}\text{C}$ -ээр нэмэгдсэн нь бусад судалгааннны үр дүнтэй ойролцоо байна. Иймд Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсэд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр агаарын температур бүс нутаг болон дэлхийн дунджаас хоёр дахин их байгаа нь ажиглагдахын зэрэгцээ энэ нь тус бүс нутгийн цэвдгийн гэсэлт, ирээдүйн хандлагатай нэмэгдэх суурь нөхцөл болно.

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутагт орших нийт 33 цооногийн мэдээнээс харахад Цагааннуур-1 цооногийн 10 метрийн гүний температур нь 1985 онд -0.8°C байсан бол 2017 онд -0.39°C болж, харин уулын хажуугийн Цагааннуур-2 цооногийн 10 метрийн гүний температур 1983 онд -1.2°C байсан бол 2017 онд -0.51°C болж тус тус нэмэгдсэн байгааг өмнөх судалгаануудаар тогтоосон байна (Жамбалжав, 2017). Харин Баян-Өлгий аймгийн Толбо сумын нутагт Хашаат-2 цооногийн 10 метрийн гүний температур 2009 онд -1.51°C байсан бол 2016 онд -1.07°C болж өөрчлөгдсөн байна. Цэнгэл сумын нутаг дахь Цэнгэл-1 цооногийн 10 метрийн гүний температур 2010 онд -0.03°C байсан бол 2016 онд $+0.024^{\circ}\text{C}$ болж, Цэнгэл-3 цооногийн 10 метрийн гүний температур 2010 онд -2.33°C байсан бол 2015 онд -2.36°C болж, Цэнгэл-4 цооногийн 10 метрийн гүний температур 2010 онд -3.5°C байсан бол 2016 онд -3.41°C болж тус тус өөрчлөгдсөн байна. Монгол Алтайн уулархаг бүс нутагт орших эдгээр цооногийн цэвдгийн температурын урт хугацааны өөрчлөлт 10 жил тутамд 0.15°C - 0.18°C -ээр дулаарч байгаа зүй тогтол ажиглагдаж байна.

Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүс нутагт цаг уурын станц, харуулууд тогтмол хэмжилтүүд хийж байгаа боловч урт хугацааны мэдээ нь тасалдалт ихтэй ч энэхүү судалгаанд бүрэн цуваатай мэдээ авч ашигласан. Түүнчлэн цаг уурын мэдээнд тулгуурлан зөвхөн Монгол Алтайн нурууны уур амьсгалын болон хур тунадасны өөрчлөлтийн олон жилийн явцыг гаргаж үзэхэд энэ нь манай орны цэвдэгтэй бүсүүдээс илүү эрчимтэй байна. Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсэд уур амьсгалын өөрчлөлт болон цэвдгийн алдралыг холбож, тэдгээрийн урт хугацааны өөрчлөлтийг судалсан судалгаа төдийлөн байхгүй ч, энэхүү газарт тархсан нууруудын өөрчлөлт (1971-2021)-ийн судалгаа хийгдсэн байдаг (Adiya, 2023). Зарим эрдэмтэд 1956–2017 оны хоорондох цаг уурын олон жилийн мэдээлэлд үндэслэн Монгол орны Баруун бүс нутгийн температурын өөрчлөлтийг тодорхойлоход тус бүс нутгийн агаарын жилийн дундаж температур 60 жилийн хугацаанд 2.3°C -аар нэмэгдсэн гэж тогтоогдсон (Borodavko et al., 2018). Монгол оронд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр агаарын температур дэлхийн дунджаас хоёр дахин их байгаа (Saruulzaya et al., 2016) бөгөөд энэ нь бидний судалгааны талбайд хийсэн урт хугацааны агаарын температур, хур тунадасны хандлагатай ижил төстэй үр дүн ажиглагдсан.

Судалгааны үр дүнгээс харахад 1940 оноос хойш агаарын температур нэмэгдэж дулаарал эрчимтэй явагдсан байна. Харин Монгол Алтайн нурууны цэвдэгт бүс нутагт цэвдгийн алдрал өнгөрсөн хугацаанд нэмэгдсэн бол 2016-2100 хооронд цэвдгийн ирээдүйн хандлагаар цэвдэг үгүй болох төлөв ажиглагдаж байна.

Ялангуяа уур амьсгалын өөрчлөлтийн олон загварын SSP5-8.5 загвараар гаргасан 2050 он гэхэд хамгийн ихээр дулаарах хувилбараар судалгааны талбайн агаарын температур 2070-аад оноос хойш 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад $5.2\text{--}7.1^{\circ}\text{C}$ -ээр нэмэгдэхээр байна. Энэхүү уур амьсгалын өөрчлөлтийн ирээдүйн хандлага нь судалгааны талбайн газар нутагт тархсан цэвдгийн алдрал 2099 он хүртэл бүрэн хайлж дуусах ирээдүйн хандлага илэрч байна.

Дүгнэлт

Монгол Алтай нурууны уур амьсгалын өөрчлөлтийг цаг уурын мэдээ ашиглан тодорхойлоход агаарын температур сүүлийн 82 жилд 2.5-3°C-ээр, хур тунадасны хэмжээ 10 жил тутамд 2.44 мм-ээс 2.73 мм-ээр өөрчлөгдсөн.

Олон жилийн дундаж температур, хур тунадасны орон зайн тархалтад уулзүйн нөлөө их, баруун хойноос зүүн урагш чиглэсэн тархалттай байв.

Судалгааны талбайн уур амьсгалын өөрчлөлтийн 2100 он хүртэлх ирээдүйн төлөвийн үнэлгээг хийсэн. Ховд аймгийн агаарын температур 2050 он хүртэл 10 жил тутам 0.3°C-ээр өсөх ба ялгаруулалт тэг болсноос хойш 2100 он хүртэл 10 жил тутам 0.3°C-ээр буурах төлөвтэй. 1981-2010 оны дундажтай харьцуулахад 2060 он хүртэл 1.3...1.8°C-ээр нэмэгдэж байгаад өсөлт нь саарч 2100 он гэхэд 2030 оны түвшинд хүрэх төсөөлөлтэй байна.

Уур амьсгалын ирээдүйн хандлага болон Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн урт хугацааны өөрчлөлтийн үр дүнгүүд маш өндөр хамааралтай байгаа нь бидний судалгааны үр дүнгээс тодорхой нотлогдож байна. Иймд уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр алдрах цэвдгийн эрчмийг бууруулж, урьдчилан сэргийлхийн тулд шинжлэх ухааны үндэслэлтэй хариу арга хэмжээ авах шаардлагатай.

Бодлогын түвшинд хариу арга хэмжээ авснаар Монгол Алтайн нурууны цэвдэгт бүс нутаг уур амьсгалын нөлөөгөөр учирч болох эрсдэлээс урьдчилан сэргийлж, усны нөөц, бэлчээрийн даац, мөнх цасны хайлалтыг сааруулах боломж бүрдэнэ.

Талархал

Энэхүү судалгааг хийж гүйцэтгэх нөхцөл бүрдүүлж, удирдан чиглүүлсэн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын дарга, доктор А.Саруулзаяа болон Цэвдэг судлалын салбарын судлаач нарт талархал илэрхийлье. Түүнчлэн энэхүү өгүүллийг засаж, сайжруулахад үнэтэй цагаа зарцуулж санал, зөвлөмж өгсөн хоёр шүүмжлэгч нартаа талархал илэрхийлье.

Ном зүй

1. Гравис, Г., (1971). *Геокриологические условия Монгольской*. Москва.
2. Даш, Д., (2010). *Монгол орны ландшафт-экологийн асуудлууд*, Улаанбаатар.
3. Цэгмид, Ш., (1969). *Монгол орны физик газарзүй*, Улаанбаатар.
4. Саруулзаяа, А., (2023). *Цэвдгийн өөрчлөлт бидний амьдралд, "Мөнхийн үсэг" ХХК*.
5. Жамбалжав, Я., Гансүх, Я., Тэмүүжин, Х., Цогт-Эрдэнэ, Г., Ундрахцэцэг, Ц., Саруулзаяа, А., Амарбаясгалан, Ё., Дашцэрэн, А., & Нарангэрэл, С. (2016). *Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг (1: 1,000,000)*. Улаанбаатар
6. Жамбалжав, Я., (2017). *Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт*, Адмон ХХК. Улаанбаатар.
7. Adiya, S. and N. Nyam-Osor (2023). Lake changes in the permafrost region of the Mongolian Altai Mountain (1970-2021). *Mongolian Journal of Geography and Geoecology* 60 (44): 106-115.
8. Borodavko, P. S., E. S. Volkova, M. A. Melnik, A. S. Litvinov and O. Demberel (2018). Climate change impact on high-altitude geomorphological systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing.
9. Dagvadorj, D., Tumurbaatar, D., Natsagdorj, L., Batjargal, Z., and Mijiddorj, R. (2001). Climate change and its impacts on permafrost in Mongolia. *Proceedings of International Symposium on Mountain And Arid Land Permafrost*. pp. 10-20.
10. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Seong, Y. B., Gonchigjav, Y., Dingjun, L., & Ganbold, B. (2024). Geomorphological study of the origin of Mongolian Altai Mountains Lake depressions: implications for the relationships between tectonic and glacial processes. *Mongolian Geoscientist*, 29(58), 1-18.
11. French, H. M. (2017). *The periglacial environment*, John Wiley & Sons.

12. Gavrilova, M. K. (1993). *Climate and permafrost*. 4(2): 99-111.
13. Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., ... & Wang, G. (2020). Re-evaluation of the power of the Mann-Kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8, 14.
14. Murton, J. B. (2021). What and where are periglacial landscapes?. *Permafrost and Periglacial Processes*, 32(2), 186-212.
15. Obu, J., Westermann, S., Bartsch, A., Berdnikov, N., Christiansen, H. H., Dashtseren, A., ... & Zou, D. (2019). Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale. *Earth-Science Reviews*, 193, 299-316.
16. Kamp, U., Walther, M., & Dashtseren, A. (2022). Mongolia's cryosphere. *Geomorphology*, 410, 108202.
17. Khishigsuren, S. and A. J. T. K. J. o. Q. R. Bayasgalan (2007). "Glaciations of Mongolia." **21**(2): 34-38.
18. Adiya, S., & Erdenebat, E. (2021, November). Permafrost Distribution in Mongolia Under the Scenarios of RCP2. 6 and RCP8. 5. In *Environmental Science and Technology International Conference (ESTIC 2021)* (pp. 121-125). Atlantis Press.
19. Saruulzaya, A., Ishikawa, M., & Jambaljav, Y. (2016). Thermokarst lake changes in the southern fringe of Siberian permafrost region in Mongolia using Corona, Landsat, and ALOS satellite imagery from 1962 to 2007. *Advances in Remote Sensing*, 5(04), 215.
20. Streletskiy, D., Anisimov, O., & Vasiliev, A. (2015). Permafrost degradation. In *Snow and ice-related hazards, risks, and disasters* (pp. 303-344). Academic Press.
21. Yamkhin, J., Yadamsuren, G., Khurelbaatar, T., Gansukh, T. E., Tsogtbaatar, U., Adiya, S., ... & Natsagdorj, S. (2022). Spatial distribution mapping of permafrost in Mongolia using TTOP. *Permafrost and Periglacial Processes*, 33(4), 386-405.
22. Romanovsky, V. E., Smith, S. L., & Christiansen, H. H. (2010). Permafrost thermal state in the polar Northern Hemisphere during the international polar year 2007–2009: a synthesis. *Permafrost and Periglacial processes*, 21(2), 106-116.
23. Walther, M., & Kamp, U. (2023). Mountain permafrost: A reflection on the periglacial environment in Mongolia. *Geosciences*, 13(9), 274.
24. Walther, M., Kamp, U., Nandintsetseg, N. O., Dashtseren, A., & Temujin, K. (2024). Glacial Lakes of Mongolia. *Geographies*, 4(1), 21-39.
25. Walther, M., Dashtseren, A., Kamp, U., Temujin, K., Meixner, F., Pan, C. G., & Gansukh, Y. (2017). Glaciers, permafrost and lake levels at the Tsengel Khaikhan Massif, Mongolian Altai, during the Late Pleistocene and Holocene. *Geosciences*, 7(3), 73.