

Relationship between near ground surface temperature and land cover types of eastern lake Khuvsgul

Enkhjargal Undrakhbayar¹, Dashtseren Avirmed¹, Temuujin Khurelbaatar^{1*}, Maralma Ariunbold¹

¹*Division of Permafrost Research, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia*

*Corresponding author email: temuujinkh@mas.ac.mn

Received: 16 April 2024 / Accepted: 04 November 2024 / Published online: 29 November 2024

ABSTRACT

Mongolia, a country located in Central Asia, is known for its extreme climate and distinct natural landscape. However, in recent years, the effects of global warming have accelerated permafrost degradation, leading to significant ecological and environmental disturbances. This study was conducted to investigate these changes and contribute to the preservation of Mongolia's pristine nature and unique environmental structure. Specifically, the research focuses on the relationship between thawing permafrost and temperature on the eastern shore of Lake Khuvsgul, considering natural factors such as vegetation and snow cover. In the study area, 31 surface temperature monitoring devices were installed at 300-meter intervals across four distinct types of ground cover: grassland, wetland, forest, and shrubland. These temperature readings were then used to calculate various indices. The highest ground surface temperature during the summer, 28.2°C, was recorded at point A-14, while the lowest winter temperature, -19.31°C, was observed at point A-17, both located in grassland areas. The frost number, an index used to measure thawing, registered values below 0.5 only at grassland points, indicating a higher likelihood of permafrost presence at other locations. Additionally, the N-factor, which reflects seasonal temperature variations, was found to be lower in forested areas and higher in grassland areas. Points located in forests were notably cooler in the summer and warmer in the winter compared to those points in grasslands. The surface temperature during winter was also affected by the snow accumulation that year, becoming colder as the snow cover increased. Furthermore, the N-factor decreased with thicker snow during the winter season. Snow cover duration in 2022-2023 was 9-11 days longer compared to the previous year (2021-2022).

Keywords: *Permafrost, Temperature, Land cover, Khuvsgul lake*

Хөвсгөл нуурын зүүн эргэ дэх газрын гадаргын температур болон газрын бүрхэвчийн хэв шинж хоорондын хамаарал

Ундрахбаяр Энхжаргал¹, Дашцэрэн Авирмэд¹, Тэмүүжин
Хүрэлбаатар^{1,*}, Маралмаа Ариунболд¹

¹Цэвдэг судлалын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи,
Улаанбаатар, Монгол

*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: temuijinkh@mas.ac.mn

Хүлээн авсан: 2024 оны 04 сарын 16 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2024 оны 11 сарын 04 өдөр /

Нийтлэгдсэн: 2024 оны 11 сарын 29 өдөр

ХУРААНГУЙ

Монгол орон нь төв Азид орших эрс тэс уур амьсгалтай орнуудын нэг бөгөөд байгалийн зүй тогтоц, бүтцээрээ бусад орнуудаас онцлогтой. Сүүлийн жилүүдэд явагдаж буй дэлхийн дулааралтай холбоотойгоор Монгол орны цэвдгийн алдрал эрчимжиж байгаль, экологийн тэнцвэрт байдал алдагдсаар байна. Тийм ч учраас тухайн бүс нутгийн байгалийн унаган төрх, өвөрмөц бүтцийг хадгалах зорилгоор энэхүү судалгааг хийх шаардлага тулгараад байна. Бид тус судалгааны хүрээнд Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт орших цэвдэг болон температур хоорондын хамаарлыг байгалийн хүчин зүйлс болох ургамал, цасан бүрхэвчтэй холбон тайлбарлахыг зорьсон. Судалгааны талбайд нийтдээ 31 ширхэг гадаргын температур хэмжигч багажуудыг 300 метрийн зайтайгаар өөр өөр дөрвөн газрын бүрхэвчийн хэв шинж бүхий байршилд (Нуга, Намаг, Ой, Сөөг) суурилуулан тэдгээрийн утгуудыг ашиглаж зарим индексүүдийг тооцоолсон. Хөлдөлт болон гэсэлтийн индексийн хувьд газрын гадарга дээрх хамгийн дулаан температур зуны улиралд А -14 цэгт 2282°C байсан бол хамгийн хүйтэн температур өвлийн улиралд А-17 цэгт -1931°C-тэй тус тус нугад байрлах дэх цэгүүдэд бүртгэгдсэн байна. Frost number буюу цэвдгийн индекс нь зөвхөн нугад орших цэгүүдэд 0.5-аас доош утгуудыг үзүүлж бусад цэгүүдэд цэвдэг байх магадлал өндөртэйг илтгэсэн. Харин хүйтэн болон дулааны улирлын N-factor нь ойтой цэгүүдэд бага, нугад байх цэгүүдэд өндөр байгаа нь ажиглагдсан. Зуны улиралд ойтой цэгүүд, нугад орших цэгүүдээс харьцангуй сэрүүн байдаг бол өвлийн улиралд дулаан байдаг нь ажиглагдсан. Мөн өвлийн улирлын гадаргын температур тухайн жилд орсон цасны жингээс хамааран сэрүүсэж байсан бол цасны зузаанаас хамаарч өвлийн улирлын N-factor багасаж байгаа зүй тогтол гарсан. 2022-2023 оны тогтвортой цасан бүрхүүлтэй өдрүүд өмнөх оныхоос (2021-2022) 9-11 хоногоор урт үргэлжилсэн байна.

Түлхүүр үгс: Цэвдэг, Температур, Нуга, Ой, Хөвсгөл нуур

1. ОРШИЛ

Цэвдэг нь зөвхөн уур амьсгал төдийгүй гадаргын усны нөөцийг бүрдүүлж, тухайн орчны экосистемийн тогтвортой байдлыг хангагдгаараа онцлогтой. Цэвдгийн тархалт нь нарны цацраг, өндөршил, өргөрөг, налуу, газрын гадарга зэрэг хоорондоо шууд ба шууд бус хамааралтай олон хүчин зүйлүүдээс хамаарч байдаг [1]. Сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй явагдах болсон дэлхийн дулааралтай холбоотойгоор ихээр ажиглагдах болсон цэвдгийн алдралд улс орнууд анхаарлаа хандуулсаар байна. Гийм ч учраас дэлхийд цэвдгийн тархалтаараа дээгүүр эрэмбэлэгддэг манай улсын хувьд тус сэдвийн хүрээнд нарийн судалгаа шинжилгээ хийх шаардлага үүсэж байгаа юм.

Монголын цэвдэг нь Алтай, Хангай, Хөвсгөл, Хэнтийн уулсын системээр голчлон тархсан байдаг. Эдгээрээс хамгийн хурдацтай буюу эрчимтэй дулаарч байгаа нь Хөвсгөлийн нутаг дэвсгэр бөгөөд гадаргын жилийн дундаж температур $0.1-0.3^{\circ}\text{C}$ -ээр нэмэгдэж, идэвхтэй давхарга (улирлын гэсэлтийн гүн) $5-20$ см-ээр багассан байна [2]. Хөвсгөлийн уулархаг бүс нутагт орших цэвдэг нь хөндий болон хотгор газруудад дунджаар $50-100$ м зузаантай -1°C ээс -2°C -ийн хооронд байх бол өндөр уулархаг бүсэд $100-250$ м, -1°C -ээс -3°C хооронд оршино [3]. Тухайн нутаг дэвсгэрийн цэвдгийн дундаж температур 10 жил тутамд $0.2-0.4^{\circ}\text{C}$ хооронд дулаарч байгаа нь судалгаагаар тогтоогдсон байна [4]. Тус бүс нутаг нь зөвхөн уур амьсгалын өөрчлөлт төдийгүй малын бэлчээрлэлт, хүний үйл ажиллагааны нөлөөгөөр ихээхэн өөрчлөгдсөөр байна [5]. Судалгааны талбай болох Хөвсгөл нуур нь цэвдгийн тархалтаараа үргэлжилсэн бүсэд орох бөгөөд ой мод, чийг намгархаг газрууд олон байдгаараа бусад нутгуудаас онцлогтой юм [6].

Энэхүү судалгаагаар Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт 31 ширхэг гадаргын температур хэмжигч багажуудыг суурилуулж, тэдгээрийн утга судалгааны талбайн бичил уур амьсгалтай ямар холбоо хамааралтай байгааг тайлбарлахыг зорьсон. Дээрх зорилгын хүрээнд гадаргын жилийн дундаж температур (ГЖДТ), цэвдгийн индекс (Frost Number), хүйтэн болон дулааны улирлын N-factor (N_f , N_t) зэргийг тооцоолон, газрын гадаргад нөлөө үзүүлэгч байгалийн зарим хүчин зүйлс болох ургамал болон цасан бүрхэвч хоорондын харилцан хамаарлыг судалсан.

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

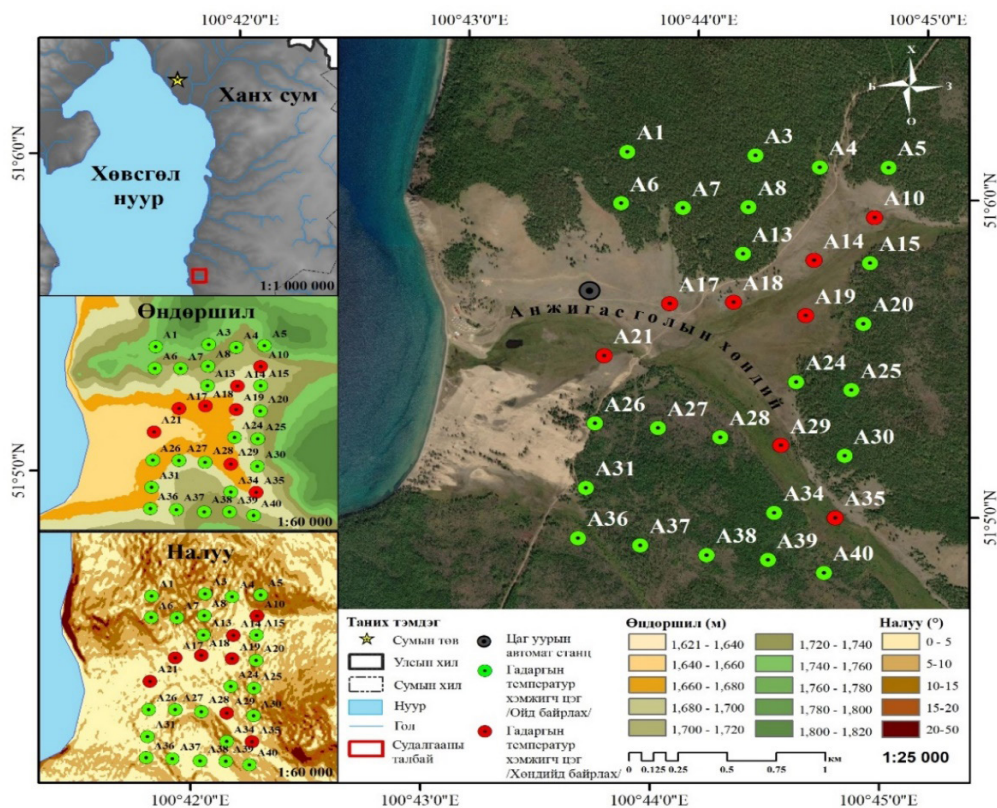
Бидний судалгааны талбай нь засаг захиргааны хувьд Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын нутагт байрлах ба илүү нарийвчилбал Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг дагуух Анжигас голын хөндийд байрлана (Зураг 1). Хөвсгөл нуурын баруун талын уулс голдуу уртрагийн дагуу чиглэлтэй, хад асга бүхий эгц цавчим хажуу, ян сарьдаг бүхий хурц шовх оройтой, өндөр уулсын хэв шинжтэй байдаг бол зүүн хэсэг нь баруун хэсгээсээ нам, бөмбөгөр хавтгайдуу хэлбэртэй, тэгш өндөрлөг шинжтэй дундаж өндөр уулууд зонхилдгоороо онцлогтой [7]. Судалгааны талбайн нутаг дэвсгэрт шинэсэн ой сайн хөгжсөн байх ба сөөглөг ургамал, чийг намгархаг газрууд ихээхэн тохиолдоно.

Судалгааны талбайн өмнөд хэсгийн ой түймэрт автан шинээр сэргэсэн бол хойд хэсгийн ой нь байгалийн унаган төрхөөрөө оршиж байгаа бөгөөд төв хэсэгт нь бут сөөг, чийг намаг болон энгийн бэлчээрийн газруудыг багтааснаараа онцлогтой юм. Тус талбайн гадаргын температур хэмжигч багажуудыг өөр хоорондоо ялгаатай цэгүүдэд 300 метрийн зайтайгаар суурилуулсан. Энэхүү суурилуулсан багажуудын тусламжтайгаар тухайн цэгүүдийн мэдээг авахаас гадна тэдгээрийн утгуудыг ашиглан газарзүйн тогтоц,

байгалийн хүчин зүйлстэй хэрхэн хамаарч буйг тайлбарлах боломжтой юм.

Тухайн судалгааны ажлыг тайлбарлахад хялбар байлгах үүднээс 31 цэгүүдийг газарзүйн байршлаас нь хамаарч нуга, намаг, ой, сөөг гэсэн 4 гадаргын төрлүүдэд хуваасан. Тус судалгааны ажил нь өргөргийн 100°43'0" уртрагийн 51°60" байршилд 2021-2023 оны өгөгдөлд суурилсан. Нийт цэгүүдийн ихэнх хэсэг нь ойгоор бүрхэгдсэн байх бөгөөд судалгааны явцад бид ойтой цэгүүдийг хойд болон

өмнөд гэсэн хоёр хэсэгт хуваасан. Өмнөд хэсэгт байрлах цэгүүд (A-15, A-20, A-26, A-27, A-28, A-31, A-34, A-36, A-37, A-38, A-39, A-40) нь уулынхаа ар хажууд байрлах бөгөөд хойд хэсэгт орших цэгүүд (A-1, A-3, A-5, A-6, A-7, A-8, A-13, A-24, A-25, A-30) уулынхаа өвөр энгэрт байрлана. Хээрийн хэв шинж зонхилсон газарт нугын 5 цэг (A-10, A-14, A-17, A-18, A-21) байрлана. Харин A-19 цэгт намаг, A-4, A-29, A-35 цэгүүдэд сөөглөг гадаргын төрлүүд оршино.



Зураг 1. Судалгааны талбайн температур хэмжигч багажуудын байршил болон өндөр, налуугийн үзүүлэлтүүд.

3. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Судалгааны талбай нь Хөвсгөл нуурын зүүн эргийн Анжигас голын хөндийд орших бөгөөд тэнд суурилуулсан гадаргын

температур хэмжигч 31 цэгийн мэдээг авч ашигласан. Хэмжигч багажууд нь НОВО компанийн pendant temp загварын автомат багаж бөгөөд агаарын температурыг

-20°C-ээс 70°C, усны температурыг -20°C-ээс 50°C хүртэл ±0.5°C-ийн нарийвчлалтайгаар бүртгэдэг. Тус цэгүүдэд гадаргын температур хэмжигч багажуудыг 2021 оны 7 сарын 2-ны өдрөөс одоог хүртэл дөрвөн цагийн давтамжтай хэмжилт хийхээр тохируулсан бөгөөд нарны шууд тусгал тусахаас сэргийлэн 3-5 см-ийн гүнд суурилуулсан.

Бид харилцан адилгүй газарт байрласан цэгүүдийг гадаргын температурт үндэслэн тухайн цэгүүдийн хөлдөлт, гэсэлтийн индексийг дараах байдлаар тооцоолов.

$$TI = \int_0^{\theta} (T_s - T_f) dt \approx \sum_0^{\theta} \bar{T} (T_s > 0^{\circ}\text{C}) \quad (1)$$

$$FI = \int_0^{\theta} (T_s - T_f) dt \approx \sum_0^{\theta} \bar{T} (T_s < 0^{\circ}\text{C}) \quad (2)$$

Үүнд: FI, TI хөлдөлт гэсэлтийн индекс, θ тухайн улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн хоногууд, T_s , T_f нь гадаргын температур болон хөлдөх температур (0°C), \bar{T} нь тухайн хоногийн гадаргын температур болно [8]. Хөлдөлт, гэсэлтийн индекс (FI, TI)-ийг агаарын температур тэг хэмээс доош ба түүнээс дээш байх үеийн хуримтлагдсан тоогоор тодорхойлно [9].

$$N_f = \frac{FI_s}{FI_n}, \quad N_t = \frac{TI_s}{TI_n} \quad (3)$$

Хүйтэн болон дулааны улирлын N-factor нь агаар болон гадаргын температурын зөрүүгээр илэрхийлэгдэнэ [10]. Уг индексийг тооцоолоход агаар болон гадаргын хоногийн дундаж температур нэмэх (5 дугаар сараас эхлэх), хасах (10 дугаар сараас эхлэх) байх үеийн температуруудын нийлбэрийг бодож гаргана. Үүнд: N_f ; N_t хүйтэн болон дулааны улирлын N-factor, FI_s ; FI_n газрын гадарга болон агаарын хасах температурын нийлбэр, TI_s ; TI_n газрын гадарга болон агаарын нэмэх температурын нийлбэр.

$$F_n = \frac{\sqrt{FI}}{\sqrt{FI} + \sqrt{TI}} \quad (4)$$

Frost number буюу цэвдгийн индекс нь цэвдгийн тархалтын өөрчлөлтийг тодорхойлоход ашигладаг бөгөөд хөлдөлтийн индексийг хөлдөлт ба гэсэлтийн индексийн (FI, TI) нийлбэртэй харьцуулж тэдгээрээс язгуур авснаар бодож олно [11].

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) буюу ургамлын нормчилсон индекс нь тодорхой талбайн ургамал бүрхэвчийн мэдээг зайнаас тандан судлахад ашигладаг индекс юм. Ургамал бүрхэвч нь нарнаас ирж буй ойрын хэт улаан туяаг (NIR) ойлгож, улаан туяаг (RED) шингээдэг бөгөөд тус энергийг тооцож дээрх индексийг боловсруулдаг. Энд: NIR- ойрын хэт улаан туяаны муж, RED- улаан туяаны муж орно [12].

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (5)$$

Судалгааны талбай дахь цасны жинг цэгүүдийн ойролцоо харилцан адилгүй байхаар (зарим цэгүүд хүн болон малын нөлөөнд өртөн өөрчлөгдсөн байдаг) 50 см өндөр, 10 см диаметртэй цилиндрээр хэмжин авсан. Нэг цэгт дунджаар 2-оос 8 удаагийн хэмжилт хийн тухайн хэмжилтүүдийн дундаж утгаар цасны зузаан, жин зэрэг үзүүлэлтүүдийг авч тус судалгаанд ашигласан. Мөн бид өвлийн улирлын тогтвортой цасан бүрхүүлтэй өдрүүдийн тоог гаргасан бөгөөд тэдгээрийг газрын гадаргуу тогтмол 0°C -ээс доош байх өдрүүдээр тооцсон. Цас хайлж буй эхэн үед агаарын температур 0°C -ээс дээш байж болох ч газрын гадаргууг 0°C байлгадаг. Энэ нь газрын гадаргууг тодорхой хэмжээгээр хөргөж, ГЖДТ-ыг бууруулахад хүргэдэг [13].

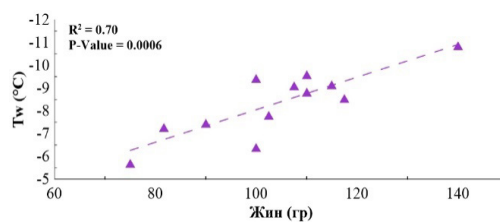
4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Хөвсгөл нуурын зүүн эргийн температурын мэдээллүүдийг ашиглан тухайн цэгүүдийн бичил уур амьсгал өөр хоорондоо хэрхэн хамаарч буйг тогтоосон. Гадаргын налуу 1 – 12 градуст орших бөгөөд зүг зовхисын хувьд баруун, хойд, зүүн, урд гэсэн хэсгүүдэд байрлана. Өндөршил нь д.т.д 1611 – 1724 м хооронд ой мод, бут сөөг, намгархаг газар болон хөндий газрууд зонхилно (Хүснэгт 1). Судалгааны цэгүүдийн гадаргын жилийн дундаж температур (ГЖДТ) нь (А-35) сөөглөг цэгт -1.67°C хамгийн хүйтэн байсан бол хамгийн дулаан температур (А-14) нугад 2.08°C тус тус бүртгэгдсэн. Зуны улиралд газрын гадарга дээр хамгийн их дулаан (ТI) ирсэн нь нугад байрлах цэгт (А-14) 2282°C байсан бол өвлийн улиралд хамгийн их хөрсөн (F1) нь (А-17) мөн адил нугад -1931°C тэмдэглэгдсэн. Эдгээр цэгүүдээс нугын цэгүүдэд халалт их явагдаж, эсрэгээрээ ой болон, намагтай цэгүүдэд илүү сэрүүн байсан нь ажиглагдаж байв.

Frost number буюу цэвдгийн индекс нь 0.5 ба түүнээс дээш байгаа тохиолдолд тухайн цэгт цэвдэг байх магадлал өндөр гэж үздэг бол харин эсрэгээрээ 0.5-аас доош байгаа тохиолдолд цэвдэг байх магадлал төдийлөн бага гэж үздэг [14]. Эдгээрээс нугад орших цэгүүд (А-14, А-17, А-18, А-21) 0.5-аас доош утгуудыг илэрхийлж байсан бол 0.5-аас дээших утгуудад ой болон бусад цэгүүд хамаарагдсан.

Хүйтний улирлын N-factor А-17 буюу нугатай газарт хамгийн өндөр утгыг (0.52) зааж байсан бол, хамгийн бага утга А-40 ойтой цэгт (0.29) ажиглагдсан. Дулааны улирлын N-factor-ийн хувьд хамгийн өндөр утга нугын А-14 цэгт (2.11) зааж байсан бол хамгийн бага утга нь А-40 ойтой цэгт (0.52) зааж байв.

Дээрх утгуудаас гадна өвлийн гадаргын температур цасны жингээс хамаарч буй хамаарлыг тооцоолсон (Зураг 2). Цэгүүдийн хамгийн сэрүүн буюу хүйтэн нь (А-18) нугад байрлах цэгт гадаргын температур -10.9°C , цасны жин 140 г, өндөр нь 17.5 см гарсан. Харин хамгийн дулаан нь ойтой цэгт (А-3) гадаргын температур -5.7°C , цасны жин 75 г, өндөр нь 10 см тус тус бүртгэгдсэн. Энэхүү хамаарлаас харвал цасны жин нэмэгдэх тусам өвлийн гадаргын температур буурч байгаа нь ажиглагдаж байна. Цас нягтших тусам түүний дулаан дамжуулалт улам өндөр болдог [15]. Цас нягтширч буй үйл явц нь түүний талстлаг бүтэц болон тухайн газарт болж буй цасан шуурга, хунгар зэргээс хамаарч болно.



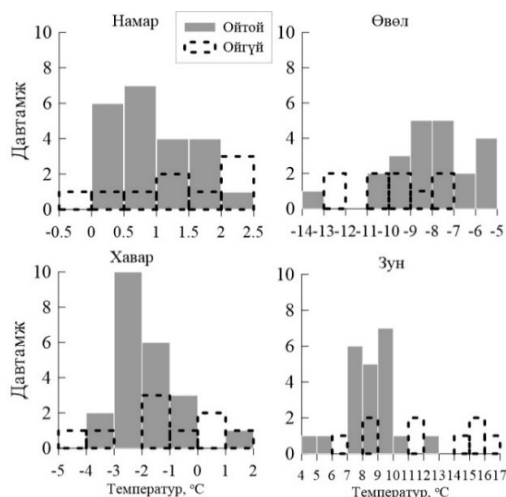
Зураг 2. Өвлийн гадаргын температур цасны жингээс хамаарсан хамаарал

Хүснэгт 1. Судалгааны цэгүүдийн байгалийн болон температурын үзүүлэлтүүд

Нэр	Т(s) °C	FI(s) °C	ГЖДТ °C	FN	Nt	Nf	Өндөр (м)	Зүг, Зовхис	Налуу (градус)	Гадаргын төрөл
A-1	1152	-1301	-0.03	0.52	1.07	0.35	1724	ЗӨ	5	Ой
A-3	996	-1153	0.07	0.52	0.92	0.31	1718	ЗӨ	11	Ой
A-4	1093	-1331	-0.51	0.52	1.01	0.36	1687	ЗӨ	6	Сөөг
A-5	1951	-1160	1.27	0.44	1.80	0.31	1718	Баруун	12	Ой
A-6	1279	-1441	-0.15	0.51	1.18	0.39	1693	ЗӨ	7	Ой
A-7	1287	-1354	0.10	0.51	1.19	0.37	1675	Өмнөд	7	Ой
A-8	967	-1274	-0.35	0.53	0.89	0.35	1689	Өмнөд	5	Ой
A-10	1957	-1891	0.27	0.50	1.81	0.51	1661	БӨ	1	Нуга
A-13	1042	-1134	0.26	0.51	0.96	0.31	1662	ЗӨ	6	Ой
A-14	2282	-1617	2.08	0.46	2.11	0.44	1644	ЗӨ	2	Нуга
A-15	1021	-1468	-1.04	0.55	0.94	0.40	1664	Баруун	5	Ой
A-17	2063	-1931	0.51	0.49	1.91	0.52	1629	Өмнөд	7	Нуга
A-18	2196	-1585	1.65	0.46	2.03	0.43	1630	Баруун	5	Нуга
A-19	1391	-1597	0.12	0.52	1.29	0.43	1641	Баруун	6	Намаг
A-20	1060	-1363	-0.98	0.53	0.98	0.37	1672	Баруун	9	Ой
A-21	1412	-1078	1.11	0.47	1.31	0.29	1611	БӨ	1	Нуга
A-24	1289	-1592	-0.81	0.53	1.19	0.43	1644	Баруун	4	Ой
A-25	838	-1492	-1.25	0.57	0.78	0.40	1675	Баруун	2	Ой
A-26	1155	-1741	-1.19	0.55	1.07	0.47	1633	Баруун	5	Ой
A-27	1208		0.06		1.12		1647	БХ	6	Ой
A-28	724	-1342	-0.99	0.58	0.67	0.36	1649	ЗХ	8	Ой
A-29	966		-0.52		0.89		1632	БӨ	2	Сөөг
A-30	950	-1246	-0.60	0.53	0.88	0.34	1664	Баруун	6	Ой
A-31	1218	-1749	-0.48	0.54	1.13	0.47	1642	Баруун	9	Ой
A-34	926	-1471	-0.74	0.56	0.86	0.40	1664	ЗХ	12	Ой
A-35	778	-1483	-1.67	0.58	0.72	0.40	1644	Баруун	2	Сөөг
A-36	956	-1463	-0.55	0.55	0.88	0.40	1646	ЗХ	9	Ой
A-37	1153	-1443	-0.68	0.53	1.07	0.39	1675	Баруун	7	Ой
A-38	1130	-1546	-0.66	0.54	1.05	0.42	1697	Баруун	6	Ой
A-39	942	-1564	-1.04	0.56	0.87	0.42	1691	Хойд	7	Ой
A-40	560	-1077	-1.12	0.58	0.52	0.29	1670	Хойд	9	Ой

Бид судалгааны цэгүүдийн температурын давтамж хэрхэн хувьсан өөрчлөгдөж буйг тодорхойлох зорилгоор ойтой болон ойгүй гэж хуваан авч үзсэн (Зураг 3). Ойгүй нугын цэгүүдэд гол төлөв дулааны улиралд халалт их явагдаж, хүйтний улиралд хөрөлт их явагддаг болох нь ажиглагдсан. Харин ойтой цэгүүдийн хувьд дулаан болон хүйтний улиралд ирэх халалт, хөрөлтийн температур нь

харьцангуй бага байв. Намрын улиралд ойтой газрын температур 0.5-1°C хооронд хамгийн олон буюу долоон удаа давтагдаж, хамгийн бага нь 2-2.5°C хооронд давтагдсан. Харин хаврын улиралд ойд байрлах цэгүүдийн температур -3°C-ээс -2°C хооронд бусдаасаа олон давтагдаж эсрэгээрээ хамгийн бага давтагдсан нь 1°C-ээс 2°C -ийн хооронд байв.



Зураг 3. Ой болон нугад байрлах гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн температурын давтамжийг улирлаар харуулсан график

Өвлийн улиралд ойгүй цэгүүдийн температур илүү сэрүүхэн бөгөөд тэдгээрийн давтамж нь хоёроос ихгүй удаа давтагдаж байсан бол ой байрлах цэгүүдэд харьцангуй дулаан температуртай байгаа нь ажиглагдсан. Цаашилбал зуны улиралд ойгоос бусад цэгүүдэд температур ихэнх тохиолдолд 8-17°C-ийн хооронд байх бол ойд байрших цэгүүдэд харьцангуй сэрүүн 7-10°C-ийн температур 5-7 хүртэл давтамжтай гарсан байна. Энэ нь ой мод нь нарны цацраг болон салхины эрчмийг сулруулж сэрүүн, тогтвортой уур амьсгалын нөхцөлийг бүрдүүлдэгтэй холбоотой байх магадлалтай [16].

Бид 2021-2023 оны хоорондох гадаргын температурын явцыг ой (хойд, өмнөд), нуга, сөөг гэсэн төрлүүдэд хуваан хоорондын ялгааг нь тодорхойлохыг зорьсон (Зураг 4). Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулсаар 11-3 сард 150 орчим хоног цасан бүрхүүлтэй байдаг бөгөөд манай орны аль ч нутагт цасан бүрхүүл газар хөлдсөний дараа тогтдоогоороо

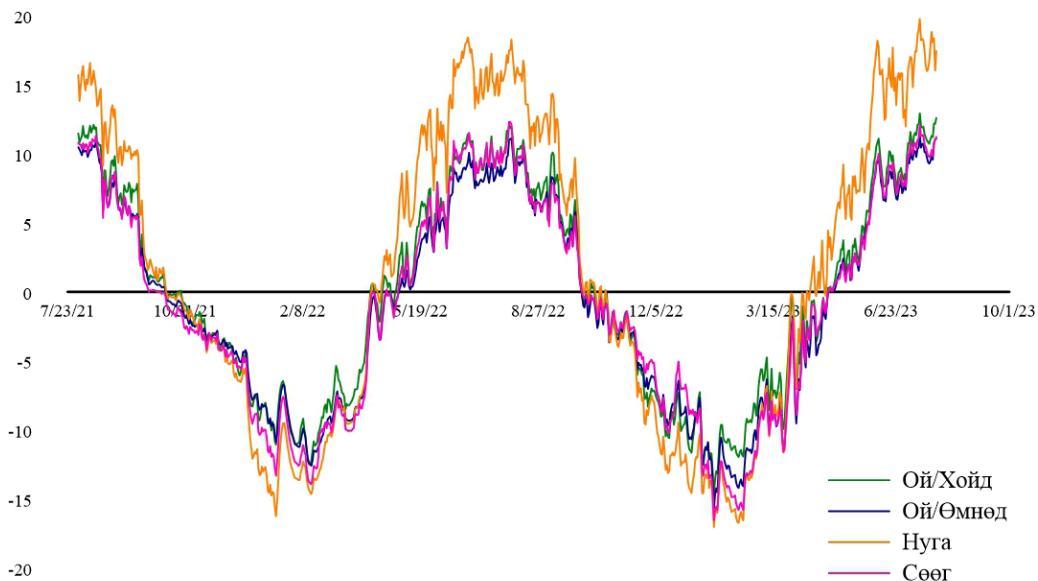
онцлогтой [7]. 2021-2022 оны хоорондох цасан бүрхүүл тогтож эхэлсэн хугацаа 10 сарын 14-өөс эхэлсэн бөгөөд тус өдөр ойтой (хойд) болон сөөгтэй цэгүүдийн газрын гадарга түрүүлж хөлдөж эхэлсэн. Харин 10 сарын 15-нд ойтой (өмнөд), 10 сарын 16-нд нугад орших цэгүүдэд цасан бүрхүүл хожуу тогтсон нь газрын гадарга дээрх халалтаас үүдэж цас хайлж гэссэнтэй холбоотой байж болно. Эдгээрээс хамгийн богино хугацаанд цасан бүрхүүл тогтсон нь нугын цэгүүд байсан бол эсрэгээрээ хамгийн урт хугацаанд цасан бүрхүүл тогтсон нь чийглэг сөөгтэй цэгүүдэд ажиглагдсан. 2022-2023 оны цасан бүрхүүл өмнөх оныхоос (2021-2022) эрт буюу 10 сарын 03-нд ойтой (хойд, өмнөд) цэгүүдэд тогтжээ. 10 сарын 04-нд сөөглөг цэгүүдэд цасан бүрхүүл тогтсон бол хожим нь 10 сарын 24-нд нугын цэгүүдэд цасан бүрхүүл тогтсон байна.

5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

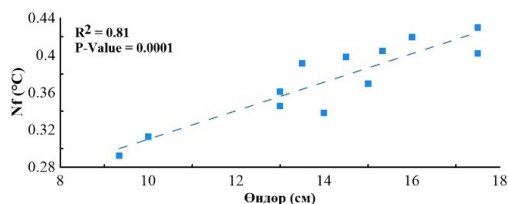
Цэвдэг нь агаар мандал ба газрын өнгөн хэсэг хоёрын хооронд явагдах дулаан эргэлтийн үр дүнд үүсэж, устаж үгүй болдог онцлогтой [17]. Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүн нь ургамал, цасан бүрхүүл, хур борооны дулааны нөлөө, хотгор гүдгэр, хурдасны температурын горим зэрэг байгалийн болон хүний хүчин зүйлсээс хамаардаг [18]. Ой болон нугад байрлах цэгүүдийн зуны гадаргын температурын ялгаа нь гол төлөв ойн нөлөөтэй холбоотой байдаг бөгөөд энэ нь газрын гадарга дээр тусах богино долионы нийт цацрагийн 33-86 хувийг бууруулж байдагтай холбоотой юм [16].

Хүйтний улирлын N-factor нь өмнөх оны температур 0°C-ээс доош орсон өдрөөс дараа оны температур 0°C-ээс дээш гарч дулаарах өдөр хүртэл тооцогдох ба хугацаа болон утгын хувьд цэг тус бүрд өөр хоорондоо ялгаатай байна. N-factor-ийн энэхүү ялгаа нь хоёулаа цасны шинж чанараас хамаарч өөрчлөгддөг. Цасан

бүрхүүл үүсэх болон үргэлжлэх хугацаа, түүний зузаан зэрэг нь гадаргын дулааны горимд нөлөөлөгч хүчин зүйлс болж өгдөг [19].

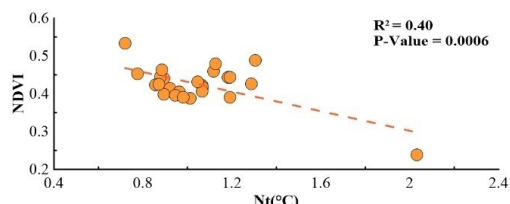


Зураг 4. 2021-2023 оны гадаргын дундаж температурын явц



Зураг 5. Хүйтний улирлын N-factor болон цасны зузаан хоорондын хамаарал

Судалгааны цэгүүд дэх хүйтний улирлын N-factor цасны өндрөөс хэрхэн хамаарч буйг бид дараах байдлаар харуулав (Зураг 5). Газрын гадарга болон агаарын температурын хоорондын зөрүү ургамал, цасан бүрхүүл, хөрсний чийгшил зэргээс хамаарч хувьсан өөрчлөгдөж байдаг [20]. Учир нь цас нь тухайн гадаргыг хэт хүйтнээс тусгаарладаг хучлага болж өгдгөөрөө онцлогтой [11]. Бидний тооцооллоор цасны зузаан нэмэгдэх тусам газрын гадарга болон агаарын температурын хоорондын ялгаа ихсэж



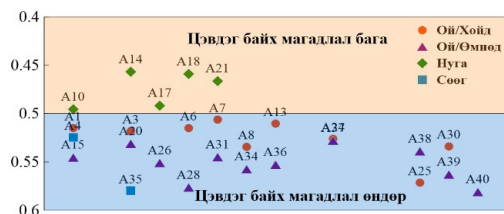
Зураг 6. Ургамлын нормчилсон индекс (NDVI), дулааны улирлын N-factor (Nt) хоорондын хамаарал

байсан нь дээрх судалгаатай нийцэж байв. Өөрөөр хэлбэл өвлийн улирлын N-factor болон цасны зузаан хоорондын хамаарал нь өндөр ($R^2=0.81$) гарсан байна.

Мөн судалгааны талбайн ургамал бүрхэвч дулааны улирлын N-factor-той хэрхэн хамааралтай байгааг судалсан (Зураг 6). Өмнө дурдсанчлан цасан бүрхүүл, ургамал бүрхэвч нь тухайн газрын гадаргыг хэт хөрөх, хэт халахаас сэргийлж байдаг. Зуны улиралд ургамал бүрхэвч нь тухайн газрын хөрсний чийгийн

агууламжийг ууршилтаас хамгаалахаас гадна гадаргын дундаж температурыг сэрүүцүүлэх гол хүчин зүйл болж өгдөг [21]. Тийм ч учраас бидний гаргасан үр дүн дээрх судалгаатай нийцэж байсан буюу ургамлын индексийн утга (NDVI) өндөр байх тусам тухайн газрын дулааны улирлын N-factor-ийн утга багасаж байв. Учир нь дулааны улирлын N-factor нь гадаргын температурын утгыг агаарын температурын утгад харьцуулсан байдаг. Нөгөө талаас утга нь их байх тусам гадаргын температур агаарын температураас илүү дулаан байсан гэж ойлгож болно.

Бид цэвдгийн индекс (Frost Number) гадаргын төрлүүдээс хамаарч хэрхэн өөрчлөгдөж буйг дараах байдлаар тооцоолсон (Зураг 7). Нийт цэгүүд дундаас 0.5-аас дээш буюу цэвдэг байх магадлал өндөртэй цэгүүдэд ой болон сөөгтэй, цэгүүдэд цэвдэг байх магадлал бага буюу 0.5-аас доош утгууд (A-14, A-17, A-18 A-21) илэрч байв.



Зураг 7. Судалгааны цэгүүдийн FN (Frost Number) утгууд

Өмнө зүгийн ойд байрлах цэгүүд нь цэвдгийн магадлалаараа хойд хэсгээс өндөр гарсан нь тухайн цэгүүдийн ГЖДТ хойд хэсгээсээ илүү сэрүүн байсантай холбоотой байв. Сөөгт байрлах хоёр цэгийн хувьд A-35 цэгт 0.58, харин A-4 цэгт 0.52-той тус тус бүртгэгдсэн. Өндөр утгатай гарсан цэгт ГЖДТ бусад цэгүүдээс хамгийн сэрүүн буюу -1.67°C гарсан ба 1-1.5 м өндөртэй шигүү сөөглөг ургамал

зонхилсон газарт байрладаг нь дээрх нөхцөлийг бүрдүүлж байж болно. Харин A-4 цэгийн хувьд ГЖДТ нь A-35 цэгээс харьцангуй дулаан буюу -0.51°C гарсан байна. Энэхүү цэгийн хувьд 0.2 – 0.5 м өндөртэй сөөглөг газарт байрлах боловч тархалт нь харьцангуй сийрэг тул тухайн температурын зөрүүтэй байдал үүссэн гэж үзэж байна.

Монгол Алтай, Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулсыг багтаасан хойд талын хэсэг нь өндөр уул нуруу, ой мод ихтэй уулархаг газар тул цас ихтэй байна. Улаангом, Завхан, Хөвсгөл зэрэг аймгуудын нутагт цасны жилийн дундаж зузаан 6-7 см хүрдэг ба цасан бүрхүүлийн үргэлжлэх хугацаа нь дунджаар 150-160 хоног буюу 5 сар үргэлжилдэг байна [22].

2021-2023 оны хоорондох цасан бүрхүүл тогтож эхлэх өдрөөс ханзрах өдөр хүртэлх нийт цасан бүрхүүлтэй байх хоногуудын тоог дараах байдлаар тооцоолов (Хүснэгт 2). Ойтой (хойд) газарт 2021 оны 10 сарын 14-өөс эхлүүлэн 2022 оны 04 сарын 26 хүртэл нийтдээ 195 хоног цастай байсан бол өмнөд хэсэгт 2021 оны 10 сарын 15-аас эхлэн 2022 оны 04 сарын 29 хүртэл 197 хоног цастай байв. Сөөглөг хэсэгт 2021 оны 10 сарын 14-өөс 2022 оны 04 сарын 29-ийг хүртэл 198 хоног цастай хоногууд үргэлжилсэн. Харин нугад 2021 оны 10 сарын 16-аас цасан бүрхүүл тогтож эхлэн бусад газруудаас арай эрт буюу 2022 оны 04 сарын 15-нд нийтдээ 182 хоног цастай хоногууд бүртгэгдсэн. Тус судалгаатай адил 2015-2017 оны Тэрэлж орчмын тогтвортой цасан бүрхүүлтэй өдрүүдийн тоог тооцоолсон байдаг бөгөөд тэрхүү судалгаанд ойд байршиж буй цэгүүд нугад орших цэгүүдийнхээс 40 хоногоор урт үргэлжилсэн нь судлагдсан байна [23]. Харин Хөвсгөлийн уулархаг бүсэд энэхүү судалгаагаар ойн тогтвортой цасан бүрхүүл нугад орших цэгүүдээс ойролцоогоор 20 хоногоор урт

үргэлжилсэн бөгөөд тухайн газарзүйн байршлаас хамаарч цас тогтох, ханзрах зэрэг үйл явц өөр өөр байх магадлалтай.

Хүснэгт 2. 2021-2023 оны цасан бүрхүүл тогтсон болон ханзарсан өдрүүдийн тоо болон хугацаа

Цасан бүрхүүл тогтсон өдөр	Цасан бүрхүүл ханзарсан өдөр	Тогтвортой цасан бүрхүүлтэй өдрийн тоо	Гадаргын төрөл
2021.10.14	2022.04.26	195	Ой (Хойд)
2021.10.15	2022.04.29	197	Ой (Өмнөд)
2021.10.16	2022.04.15	182	Нуга
2021.10.14	2022.04.29	198	Сөөг
2022.10.03	2023.04.29	209	Ой (Хойд)
2022.10.03	2023.04.28	208	Ой (Өмнөд)
2022.10.24	2023.04.14	173	Нуга
2022.10.04	2023.04.29	208	Сөөг

2022 оны 10 сарын 03-аас 2023 оны 04 сарын 29 хүртэл нийт 209 хоног ойтой (хойд) хэсэгт бүртгэгджээ. Өмнөд хэсэгт 2022 оны 10 сарын 03-аас 2023 оны 04 сарын 28 хүртэл 208 хоног цастай хоногууд үргэлжилсэн. Сөөглөг газарт 2022 оны 10 сарын 04-өөс 2023 оны 04 сарын 29 хүртэл 208 хоног цастай байсан бол нугад 2022 оны 10 сарын 24-өөс эхлэн 2023 оны 04 сарын 14 хүртэл 173 хоног цас орж эрт хайлсан нь бусад газруудаасаа ялгаатай байв. Энэ нь магадгүй нугад чийгийн агууламж бага, нарны цацраг их тусдагтай холбоотой байж болох юм [3]. Үүнээс гадна 2022-2023 оны хооронд тогтвортой цасан бүрхүүлийн хоногийн тоо ихэнх газарт өмнөх жилээс (2021-2022 он) 9-өөс 11 хоногоор урт үргэлжилсэн байв. Дээрх судалгаа нь богино хугацаанд буюу 2021-2023 оны хооронд хийгдсэн ба энэхүү судалгааг цаашид урт хугацаанд хийх мөн цасан бүрхэвчийн мониторинг цэгүүдийг нэмэгдүүлэх шаардлагатай.

6. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны хүрээнд бид Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт суурилуулсан

гадаргын температур хэмжигч багажуудын тусламжтайгаар тэдгээрийн температур байгалийн зарим хүчин зүйлстэй хэрхэн хамаарч буйг тайлбарлахыг зорьсон. Тус судалгаанд бид дараах дүгнэлтүүдэд хүрсэн. Үүнд:

- Судалгааны цэгүүдийн гадаргын температур өөр хоорондоо харилцан адилгүй бөгөөд зарим индексийн утгууд нугад орших цэгүүдэд өндөр харин ойтой цэгүүдэд бага байсан нь тогтоогдсон.
- Зуны улиралд ойтой газар ойгүй бусад газруудаас харьцангуй сэрүүн уур амьсгалыг бүрдүүлж байдаг бол өвлийн улиралд ойтой газар ойгүй бусад газруудаас тогтмол дулаан уур амьсгалыг бүрдүүлж байдаг нь ажиглагдсан.
- Хүйтний улирлын N-factor цасны зузаантай өндөр хамааралтай гарсан буюу R2 нь 0.81 байсан бол дулааны улирлын N-factor нь ургамлын индекстэй харьцангуй сайн хамааралтай гарсан.
- Нугын цас бусад цэгүүдээс хожим тогтож эрт ханзарч байсан нь ажиглагдсан. Өөрөөр хэлбэл тогтвортой цасан бүрхүүлтэй хоногийн тоо 2 жилд дунджаар 15-30 хоногийн зөрүүтэй гарсан байна. 2022-2023 онд өмнөх (2021-2022) жилийн тогтвортой цасан бүрхүүлтэй өдрүүдээс 9-өөс 11 хоногоор урт үргэлжилсэн байв.
- Цэвдгийн индекс буюу Frost number нь нугад орших цэгүүдэд 0.5-аас бага, харин бусад цэгүүдэд 0.5-аас өндөр утгатай гарсан. Хойд талын ойд байрлах цэгүүдийн утга нь 0.5-аас ялимгүй их байсан бол өмнө зүгийн ой болон сөөгөн дунд байрлах цэгүүдийн утга харьцангуй өндөр утгатай тус тус гарсан байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг хийхэд туслалцаа үзүүлж өөрсдийн хувь нэмэр, цаг хугацаа, заавар зөвлөгөөг өгсөн Норвег улсын, Осло их сургуулийн Физик газарзүй болон ус судлал тэнхимийн багш дэд профессор доктор (Ph.D) Sebastian Westermann, ШУА-ийн Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэнгийн захирал доктор (Ph.D) А. Дашцэрэн болон Цэвдэг судлал салбарынхаа хамт олондоо талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. D. Battogtokh et al., “Features and Mapping of Permafrost Distribution in Ulaanbaatar area, Mongolia,” in International workshop on terrestrial change in Mongolia—joint workshop of IORGC, MAVEX, RAISE and Other Projects, Tokyo, Japan, Citeseer, 2006.
- [2]. M. Zorigt et al., “Modeling permafrost distribution over the river basins of Mongolia using remote sensing and analytical approaches,” *Environ. Earth Sci.*, vol. 79, no. 12, p. 308, Jun. 2020, <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09055-7>.
- [3]. E. S. F. Heggem, B. Etzelmüller, S. Anarmaa, N. Sharkhuu, C. E. Goulden, and B. Nandinsetseg, “Spatial distribution of ground surface temperatures and active layer depths in the Hövsgöl area, northern Mongolia,” *Permafr. Periglac. Process.*, vol. 17, no. 4, pp. 357–369, Oct. 2006, <https://doi.org/10.1002/ppp.568>.
- [4]. L. Zhao, S. Marchenko, N. Sharkhuu, and T. Wu, “Regional changes of permafrost in Central Asia,” in Extended Abstracts, Proceedings Ninth International Conference on Permafrost, Institute of Northern Engineering, University of Alaska: Fairbanks, 2008, pp. 2061–2069.
- [5]. B. Etzelmüller, E. S. F. Heggem, N. Sharkhuu, R. Frauenfelder, A. Käab, and C. Goulden, “Mountain permafrost distribution modelling using a multi-criteria approach in the Hövsgöl area, northern Mongolia,” *Permafr. Periglac. Process.*, vol. 17, no. 2, pp. 91–104, Apr. 2006, <https://doi.org/10.1002/ppp.554>.
- [6]. A. Dashtseren, K. Temuujin, S. Westermann, A. Batbold, Y. Amarbayasgalan, and D. Battogtokh, “Spatial and Temporal Variations of Freezing and Thawing Indices From 1960 to 2020 in Mongolia,” *Front. Earth Sci.*, vol. 9, p. 713498, Nov. 2021, <https://doi.org/10.3389/feart.2021.713498>.
- [7]. Е. Батчулуун, Монгол орны физик газарзүй. Улаанбаатар хот: Мөнхийн үсэг ХХК, 2020.
- [8]. D. Luo, H. Jin, S. S. Marchenko, and V. E. Romanovsky, “Difference between near-surface air, land surface and ground surface temperatures and their influences on the frozen ground on the Qinghai-Tibet Plateau,” *Geoderma*, vol. 312, pp. 74–85, Feb. 2018, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.09.037>.
- [9]. D. Luo, H. Jin, R. Jin, X. Yang, and L. Lü, “Spatiotemporal variations of climate warming in northern Northeast China as indicated by freezing and thawing indices,” *Quat. Int.*, vol. 349, pp. 187–195, Oct. 2014, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.06.064>.
- [10]. D. Riseborough, “Thawing and freezing indices in the active layer,” in Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost, Rotterdam: AA Balkema, 2003, pp. 953–958.
- [11]. F. E. Nelson and S. I. Outcalt, “A Computational Method for Prediction and Regionalization of Permafrost,” *Arct. Alp. Res.*, vol. 19,

- no. 3, p. 279, Aug. 1987, <https://doi.org/10.2307/1551363>.
- [12]. S. Huang, L. Tang, J. P. Hupy, Y. Wang, and G. Shao, "A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing," *J. For. Res.*, vol. 32, no. 1, pp. 1–6, Feb. 2021, <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>.
- [13]. T. Zhang, "Influence of the seasonal snow cover on the ground thermal regime: An overview," *Rev. Geophys.*, vol. 43, no. 4, p. 2004RG000157, Dec. 2005, <https://doi.org/10.1029/2004RG000157>.
- [14]. Y. Ran, X. Li, R. Jin, and J. Guo, "Remote Sensing of the Mean Annual Surface Temperature and Surface Frost Number for Mapping Permafrost in China," *Arct. Antarct. Alp. Res.*, vol. 47, no. 2, pp. 255–265, May 2015, <https://doi.org/10.1657/AAAR00C-13-306>.
- [15]. K. Gislén et al., "A statistical approach to represent small-scale variability of permafrost temperatures due to snow cover," *The Cryosphere*, vol. 8, no. 6, pp. 2063–2074, Nov. 2014, <https://doi.org/10.5194/tc-8-2063-2014>.
- [16]. A. Dashtseren, M. Ishikawa, Y. Iijima, and Y. Jambaljav, "Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia," *Permafr. Periglac. Process.*, vol. 25, no. 4, pp. 295–306, Oct. 2014, <https://doi.org/10.1002/ppp.1824>.
- [17]. Я. Жамбалжав, Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт. Улаанбаатар хот: Колорфул ХХК, 2017.
- [18]. Д. Төмөрбаатар, Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг. Улаанбаатар хот: Урлах эрдэм ХХК, 2004.
- [19]. K. Karunaratne and C. Burn, "Freezing n-factors in discontinuous permafrost terrain, Takhini River, Yukon Territory, Canada," in *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, University of Alaska: Fairbanks, 2003, pp. 519–524.
- [20]. A. Kade, V. E. Romanovsky, and D. A. Walker, "The n-factor of nonsorted circles along a climate gradient in Arctic Alaska," *Permafr. Periglac. Process.*, vol. 17, no. 4, pp. 279–289, Oct. 2006, <https://doi.org/10.1002/ppp.563>.
- [21]. A. Sharkhuu et al., "Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region, Mongolia," *J. Geophys. Res. Earth Surf.*, vol. 112, no. F2, p. 2006JF000543, Jun. 2007, <https://doi.org/10.1029/2006JF000543>.
- [22]. Ш. Цэгмид, Монгол орны физик газарзүй. Улаанбаатар хот: Улсын хэвлэлийн газар, 1969.
- [23]. К. Темуужин, А. Dashtseren, В. Etzelmüller, Т. Undrakhtsetseg, К. Aalstad, and S. Westermann, "Spatial variability of near-surface ground temperatures in a discontinuous permafrost area in Mongolia," *Front. Earth Sci.*, vol. 12, p. 1456012, Oct. 2024, <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1456012>.