

Surface temperature analysis on the eastern shore of Khuvsgul Lake

Temuujin Khurelbaatar^{1,*}, Dashtseren Avirmed¹, Sebastian Westermann²,
Nandintsetseg Nyam-Osor¹, Purevdorj Tserengunsen¹

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

²*Section of Physical Geography and Hydrology, Oslo University, Norway*

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

Received: 31 October 2022 / Accepted: 30 November 2022 / Published online: 29 December 2022

ABSTRACT

It is crucial to keep the eastern shore of Khuvsgul Lake, which is differentiated from other parts by its unique characteristics. For this case, it is necessary to study permafrost, which plays a certain role in the component of the uniqueness, of this region. Numerous studies have proven that the current climate change has caused accelerating permafrost loss. Therefore, we initiated a study to understand the permafrost condition on the eastern shore of Khuvsgul Lake. The preliminary findings of the study were presented. Nine locations, which were on the same line but had various natural characteristics, were selected for the study. FDD (freezing degree days) and TDD (thawing degree days) values of the sites as well as changes in the mean annual temperature were analyzed in the study. Between the study sites, the mean annual ground surface temperature ranged from -1.67°C to 1.04°C . For the FDD and TDD values of the studied area, site A-10, which was situated on a south-facing slope, had the higher temperature variations, ranging from -1573.2°C to 1953.1°C , while the study sites in the forest had the lower temperature variations, ranging from -881.3°C to 646.1°C . Also, the differences between the FDD and TDD values were highest and 379.9°C at A-10, whereas, it was lowest and -609.2°C at the valley site A-35, where shrubs were predominated. The temperature variations between winter and summer at the study sites were relatively lower and 17°C in the forested area, whereas relatively higher and 25.5°C in the non-forested area.

Keywords: *Permafrost, Mean annual ground surface temperature, Freezing degree days, Thawing degree days*

Хөвсгөл нуурын зүүн эргийн гадаргын температурын анализ

Тэмүүжин Хүрэлбаатар^{1,*}, Дашцэрэн Авирмэд¹, Sebastian Westermann²,
Нандинцэцэг Ням-Осор¹, Пүрэвдорж Цэрэнгүнсэн¹

¹Цэвдэг Судлалын Салбар, Газарзүй, Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

²Ус Судлал Болон Физик Газарзүйн Тэнхим, Осло, Норвеги

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

Хүлээн авсан: 2022 оны 10 сарын 31 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2022 оны 11 сарын 30 өдөр / Нийтлэгдсэн: 2022 оны 12 сарын 29 өдөр

ХУРААНГУЙ

Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг нь өөрийн гэсэн өвөрмөц байгалийн тогтцоороо бусад үзэсгэлэнт газруудаас ялгарсаар ирсэн ба үүнийг зүй зохистой байгалийн унаган төрхөөр нь хадгалж үлдээх нь маш чухал юм. Үүний тулд тэрхүү байгалийн үзэсгэлэнт төрхийг бүрэлдүүлэхэд тодорхой хэмжээний үүрэгтэй оролцдог цэвдгийг тухайн бүс нутагт илүү нарийн судлан шинжлэх шаардлагатай. Сүүлийн жилүүдэд эрчимтэй явагдаж байгаа уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр цэвдгийн алдрал улам ихсэж байгаа нь олон төрлийн судалгаагаар батлагдсаар байна. Иймд бид Хөвсгөл нуурын зүүн эргийн цэвдгийг илүү нарийн судлахаар уг судалгааны ажлыг эхлүүлсэн. Энэхүү өгүүлэлд бидний эхлүүлээд байгаа судалгааны ажлын анхан шатны үр дүнг оруулаад байна. Судалгаанд ашиглахаар 9 ширхэг газрын гадаргын хувьд өөр хоорондоо ялгаатай нэг шугамд байрлах цэгүүдийг сонгож авсан. Тухайн цэгүүдийн жилийн дундаж температур болон FDD болон TDD утгуудын өөрчлөлтийг судалгаанд оруулсан. Гадаргын жилийн дундаж температур нь -1.67°C -ээс 1.04°C -ийн хооронд судалгааны цэгүүд дээр хэлбэлзэж байна. Харин судалгааны цэгүүдийн FDD болон TDD утгуудын хувьд уулын өвөр энгэрт байрлах А-10 цэгт халалт, хөрөлт хамгийн их буюу -1573.2°C -ээс 1953.1°C -ийн хооронд байгаа бол модтой ар хажууд байрлах цэгүүдэд хамгийн бага буюу -881.3°C -ээс 646.1°C -ийн хооронд байна. Мөн FDD болон TDD утгуудын зөрүү нь хамгийн их нь өвөр энгэрийн А-10 цэгт 379.9°C байсан бол хамгийн бага нь уулсын хөндийд сөөглөг ургамал голдуу ургасан газарт байрлах А-35 цэгт -609.2°C байгаагаар тус тус тогтоогдсон. Судалгааны талбайн газрын гадарга дээрх нь өвөл, зуны улирлын температурын агуураг ойтой ар хажууд маш бага буюу дунджаар 17°C байгаа бол ойгүй газарт 25.5°C тус тус байна.

Түлхүүр үгс: Цэвдэг, ЖДГТ (жилийн дундаж гадрагын температур), ХДХТН (хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр), ХДНТН (хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр)

1. ОРШИЛ

Монгол орны агаарын температур 1960 – 2020 оны хооронд 2.4°C -ээр дулаарсан байгаа нь дэлхийн дунджаас даруй 3 дахин их байгаа юм [8]. Энэхүү дулаарлын үр дүнд цэвдэг болон мөстлөгийн алдрал эрчимжиж, цаашлаад хуурайшил усны хомсдолд хүргэхээр байгаа юм. Дээрх дулаарал Монгол орны

цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай, цэвэр усны нөөцийн 70 орчим хувийг эзэлдэг Хөвсгөл нуур орчмын газарт илүү явагдаж байгаа нь цаашид анхаарал хандуулах асуудлуудын нэг зайлшгүй болоод байгаа юм. Учир нь тухайн бүс нутгийн хэмжээнд мөсжилт ихтэй цэвдэг тархсан байх ба түүний хайлалт, алдрал ихсэх боломжтой.

Зарим судалгааны үр дүнгээр Хөвсгөл нуурын талбай нь нэмэгдэж байгаа хэмээн гаргасан байдаг. Жишээ нь доктор Т.Цэнгэл 2013 онд Хөвсгөл нуурын талбай 1960 – 2008 оны хооронд 33.3 км²-аар, нуурын эзлэхүүн 2.3 км³-ээр тус тус нэмэгдсэн хэмээн тогтоосон байна [6]. Мөн тухайн бүс нутаг орчимд хур тунадасны хэмжээ олон жилийн дунджаар багасаж байгаа нь нуурын усны талбай болон эзлэхүүн нэмэгдэж байгаатай эсрэг хамааралтай байгаа бөгөөд энэ нь цаашид цэвдгийн гэсэлт болон мөстлөгийн алдралтай холбогдуулж судалгааны ажил хийх шаардлагатайг харуулж байна хэмээн судлаачид тэмдэглэсэн байдаг [1], [3].

Тухайн Хөвсгөл нуур орчим нь цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүсэд багтах бөгөөд байгаль орчны бусад үйл явцад эмзэг мэдрэмтгий төлөв байдалтай байна [9]. Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг орчмын цэвдгийн температур нь 10 м гүнд 2006 оны байдлаар -0.3°C-ээс -1.5°C байна хэмээн тогтоосон байдаг [13]. Мөн тухайн бүс нутгийн улирлын хөлдөлтийн гүн нэмэгдэж байгаа бөгөөд цэвдгийн жилийн дундаж температур нь 1990 – 2016 оны хооронд 0.2°C-ээс 0.4°C-ээр нэмэгдсэн байгааг тогтоосон байна [12]. Гэвч дээрх судалгаа нь тухайн цаг хугацаанаас хойш тогтвортой хийгдээгүй ба одоогийн цэвдгийн төлөв байдал болон улирлын гэсэлтийн давхаргын өөрчлөлтийг тогтоох боломжгүй байгаа юм.

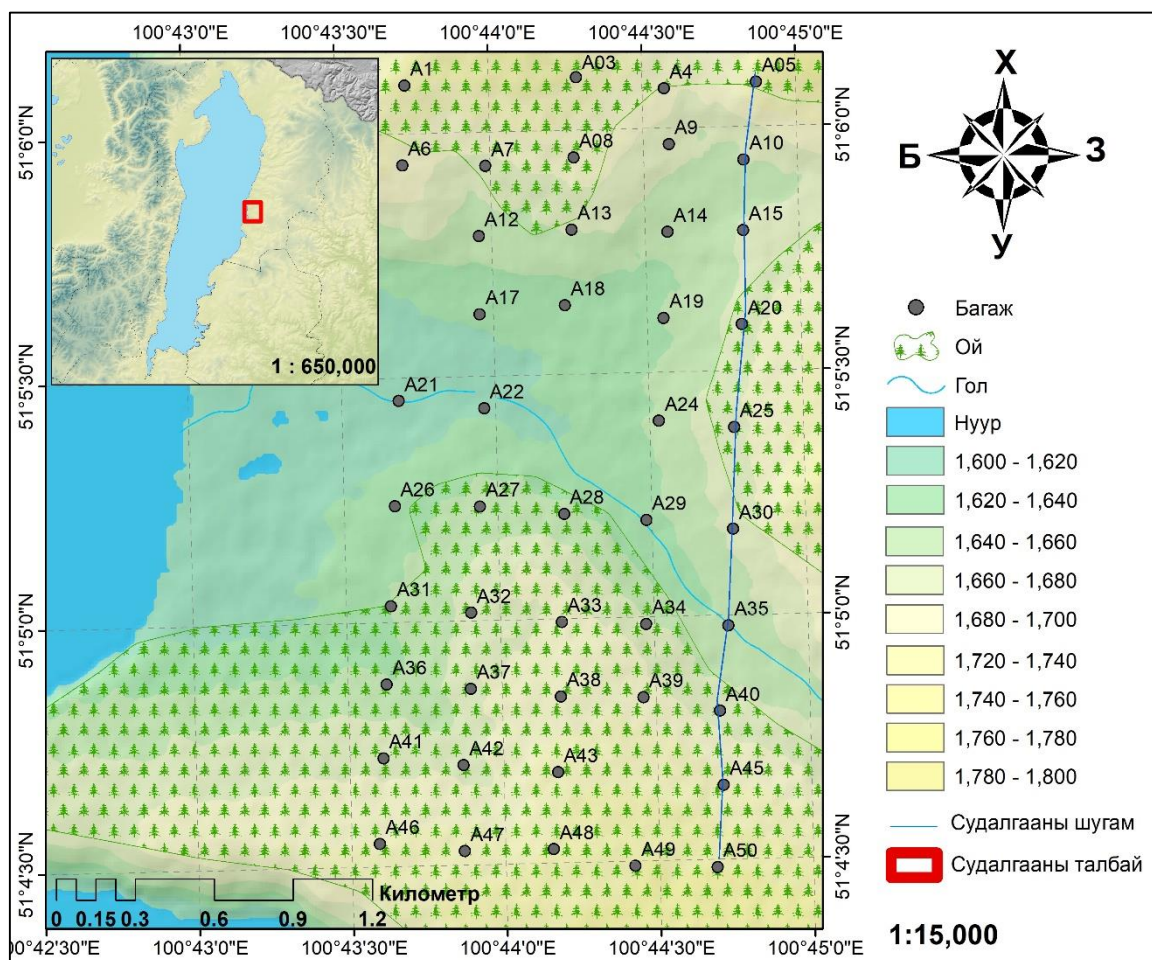
Дээрх хэрэгцээ шаардлагын улмаас ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн болон Норвегийн Осло их сургуулиуд хамтран Хөвсгөл нуурын цэвдгийн өөрчлөлтийг судлах зорилго тавин хамтын судалгааг эхлүүлээд байгаа юм. Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг тэр дундаа бичил уур амьсгалыг нарийвчлан судлах нь цаашлаад тухайн нуур орчим явагдаж байгаа уур амьсгалын үйл явцыг илүү дэлгэрэнгүй тайлбарлахад тус болох юм. Энэхүү өгүүлэлд Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт байрлах Анжигас голын хөндийн гадаргын температурын жилийн үйл явцын өөрчлөлтийн тодорхой жишээн дээр үзүүлэхээр зорилоо.

2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

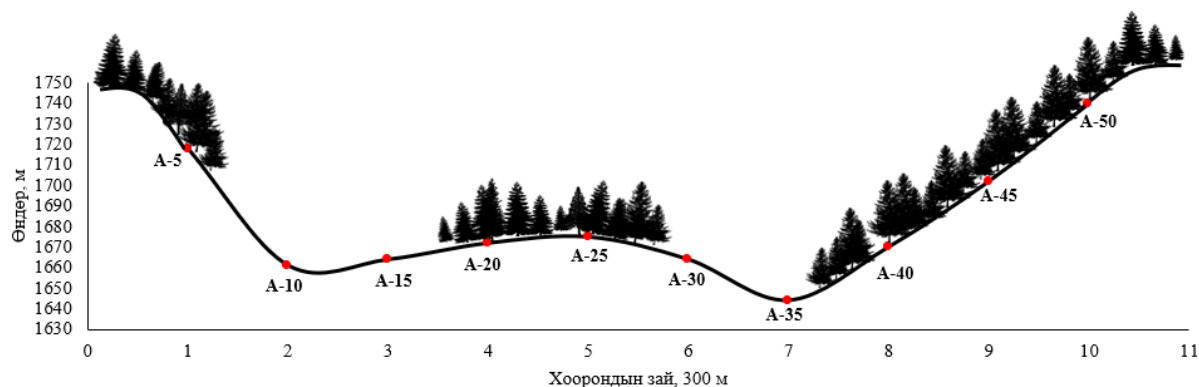
Бидний судалгааны талбай засаг захиргааны нэгжийн хувьд Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын нутагт байрлах ба илүү тодруулбал Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт оршино. Газарзүйн тогтцын тухайд Хөвсгөл нуурын зүүн эрэг баруун эргээсээ нэлээн ялгаатай. Баруун эрэг нь хурц шовх орой, хэрчигдсэн хянга хяртай ба хажуу нь хүн амьтан явах боломжгүй эгц цавчим, харийн гүн хавцлаас тогтсон байдаг [6]. Харин зүүн эрэг нь тэгш өндөрлөгийн шинжтэй, уулс нь тийм ч өндөр биш, голдуу бөөрөнхийдүү хэлбэртэй бэсрэг уулс, толгод зонхилох тул уулын орой, хяр ойн захаас дээш гарч харагдах нь ховор. Манай судалгааны талбай болох Анжигас голын хөндий ч мөн адил байгалийн өвөрмөц тогтоцтой юм [2].

Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт орших Анжигас голын хөндий нь олон янзын байгалийн тогтоцтой бөгөөд түүнд нь ойтой өвөр энгэр, ойтой ар хажуу, намгархаг хөндий, түүнчлэн элсэн манхан гэх мэт олон өөр хэв шинж бүхий байгалийн тогтоц багтана. Тус хөндийд гадаргын температур хэмжигчийг өөр өөр газарзүй болон байгалийн нөхцөл бүхий газруудад байрлуулсан. Гэвч суурилуулсан температур хэмжигч багажуудын мэдээ нь ихэвчлэн алдаатай байсан тул хамгийн алдаа багатай цэгүүдийг сонгон авч цаашдын судалгаагаа хийсэн. Ингэснээр бид нар тэрхүү бүс нутгийн гадаргын температур нь зүг зовхис, налуу болон ургамал бүрхэвчээс хамааран өөр хоорондоо хэр ялгаатай байгааг тайлбарлах боломжтой болох юм (Зураг 1).

Судалгааны нийт 45 цэг байгаа ч ихэнх температур хэмжигч температурын алдаа хэт их байсан учир боломжит 9 цэгийг сонгон авч судалгаагаа хийсэн. Дээрх 9 цэгийн 5 нь ой дотор, үлдсэн 4 нь хөндийд байрлана. А-20 болон А-25-р цэгүүд ойтой тэгшивтэр гадаргууд байна. Харин А-40, А-45, А-50-р цэгүүд уулын модтой ар энгэрт байрлана. Үлдсэн цэгүүд болох А-10, А-15, А-30 болон А-35-р цэгүүд уулын хөндийд тус тус оршино (Зураг 2).



Зураг 1. Судалгааны талбайн өндрийн өөрчлөлт, ой модны талхалт болон гадаргын температур хэмждэг цэгүүдийн байршил.



Зураг 2. Судалгааны талбайн хөндлөн зүсэлт болон температур хэмжигч цэгүүдийн байршил.

3. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ, МАТЕРИАЛ

Судалгааны талбайн гадаргын температурыг хэмжихийн тулд HOBO-pendant temp багажийг ашигласан. Тухайн багаж нь жижиг хэмжээтэй, багтаамж болон хэмжилтийн алдаа бага байдаг тул гадаргын температурыг хэмжихэд илүү тохиромжтой байдаг. Мөн тус судалгаанд ALOS PALSAR хиймэл

дагуулын DEM (Digital Elevation Model) буюу өдрийн тоон загварын 12.5 м нарийвчлалтай мэдээг ашиглан газрын гадаргын өндөршил, зүг зовхис, налуу зэргийг тодорхойлсон.

Газрын гадаргын хэлбэр болон зүг зовхисын хувьд өөр өөр газарт суурилуулсан температур хэмжигч багажуудын хоорондын температурын ялгааг харахын тул жилийн дундаж гадаргын температур (ЖДГТ), thawing degree day (TDD) буюу хоногийн дундаж нэмэх температуртай өдрийн нийлбэр (ХДНТӨН), freezing degree day (FDD) буюу хоногийн дундаж хасах температуртай өдрийн нийлбэр (ХДХТӨН) зэргийг температурын утгууд дундаас тооцоолон гаргасан. Зарим тохиолдолд FDD, TDD хоёрыг хөлдөлтийн болон гэсэлтийн индекс гэж нэрлэх тохиолдол байдаг. Тухайн газрын хүйтний индекс нь их байх тусам газар нутагт цэвдэг оршин байх нөхцөл илүү сайн бүрэлдэх буюу хүйтний хуримтлал үүсэх бол эсрэг тохиолдолд илүү дулаан хуурай болж байдаг онцлогтой [14].

$$FI_a = \sum_i^{M_f} |\bar{T}_i| \times D_i, \bar{T}_i < 0^\circ\text{C} \quad (1)$$

$$TI_a = \sum_i^{M_t} |\bar{T}_i| \times D_i, \bar{T}_i > 0^\circ\text{C} \quad (2)$$

Үүнд: FI_a болон TI_a хоногийн дундаж хасах болон нэмэх температуртай өдрийн нийлбэр, \bar{T}_i сарын дундаж температур, D сарын бүрийн хоногийн тоо, M_f болон M_t гэсэлтийн болон хөлдөлтийн үргэлжлэх хугацаа.

4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Хөвсгөл нуурын зүүн эргийн Анжигас голын хөндийн уулын өвөр, ар, ойтой гэх мэт цэгүүдийн гадаргын температурын ялгаатай байдлыг тогтоохын тулд 9 өөр хоорондоо ялгаатай газарт байрласан температур хэмжигч багажийн мэдээг ашигласан гаргав. Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн налуу нь 0.8 – 9.4 градус ба зүг зохисын хувьд урд, баруун урд, баруун, хойд гэсэн зүгүүдэд байрлана. Өндөр нь д.т.д 1644 – 1740 м хооронд ой мод, намгархаг хөндий, бут сөөгтэй хөндий, хээрийн ургамал зонхилсон газрын гадарга бүхий газарт оршино (Хүснэгт 1). Харин судалгааны цэгүүдийн гадаргын жилийн дундаж температур нь -1.67°C -ээс 1.04°C -ийн хооронд хэлбэлзэх ба дулааны улирлын хамгийн их халалт нь А-10 цэгт 26.3°C хүрсэн бол хамгийн сэрүүн нь мөн тус цэгт -21.1°C хүрч тэмдэглэгдсэн байна.

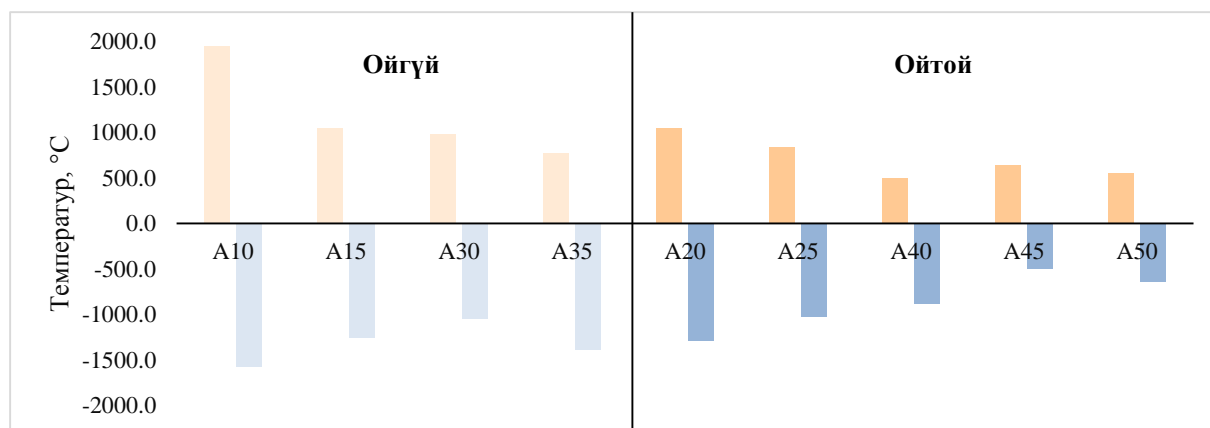
Хүснэгт 1. Судалгааны цэгүүдийн байгалийн болон температурын зарим үзүүлэлтүүд.

Нэр	Налуу, градус	Зүг, зовхис	Өндөр, м	Гадаргын төрөл	TDD, °C	FDD, °C	ЖДГТ, °C	Хамгийн их, °C	Хамгийн бага, °C
A10	0.8	БУ	1661	Бэлчээр	1953.1	-1573.2	1.04	26.3	-21.1
A15	4.6	Б	1664	Намаг	1053.3	-1261.3	-0.57	15	-13.4
A30	6.2	БУ	1664	Бэлчээр	982.6	-1048.6	-0.18	13.2	-11.8
A35	1.8	БУ	1644	Бут	777.6	-1386.8	-1.67	13.2	-16.1
A20	9.4	Б	1672	Ой	1051.5	-1289.5	-0.65	15.5	-15.6
A25	1.8	Б	1675	Ой	841.9	-1028.9	-0.51	15.5	-12.2
A40	8.5	Х	1670	Ой	504.7	-881.3	-1.03	9.4	-10.3
A45	6.15	Х	1702	Ой	646.1	-502.8	0.39	10.8	-6
A50	6.84	Х	1740	Ой	550.0	-647.3	-0.27	9.9	-7.8

Харин FDD болон TDD утгууд нь тухайн газрын гадарга дээр зуны улиралд хэр их дулаан ирсэн болон сэрүүний улиралд хэр зэрэг хөрснийг ерөнхийд нь харуулдаг. Мөн дээрх утгуудын зөрүү нь нэмэх байх тусам газрын гадарга халалт их явагдаж цэвдэг байх нэг нөхцөл нь байхгүй болох бол хасах температуртай байх тусам тухайн газрын гадаргад хүйтний нөөц ихсэж цэвдгийн оршин тогтнох нөхцөл нэмэгддэг онцлогтой [10]. Онолын хувьд ургамал бүрхэвч багатай хээр, хуурай хээрийн ургамал зонхилсон газарт зуны улиралд халалт их явагддаг ба хүйтний улиралд цасан бүрхэвч багатай газарт бусад газраасаа илүү сэрүүн байдаг онцлогтой [4]. Судалгааны цэгүүдийн FDD болон TDD утга нь А-10 цэгт хамгийн их байх бөгөөд хамгийн бага хэлбэлзэлтэй нь уулын ар энгэрт ой дотор байрлах цэгүүдэд илэрч байна (Хүснэгт 1).

5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Монгол орны цэвдгийн оршин тогтнох онцлогт ой мод түүний тархалт маш чухал нөлөө үзүүлдэг бөгөөд уулын ар энгэрт тархсан ойн болон чийг намгархаг хөндийн төв хэсэгт цэвдэг тархах магадлал илүү өндөр байдаг [7]. Үүний гол шалтгаан нь ой мод сүүдэрлэх нөлөө нь нарнаас ирж байгаа цацрагийн ихэнх хэсгийг халхалдаг явдал юм. Харин чийг намгархаг газрын хувьд дулааны улиралд ирэх дулааны урсгалын ихэнх нь нууц дулаанд буюу ууршилтад зарцуулагдана. Хавар, намрын улиралд газрын гадарга дээр ирж



Зураг 1. Судалгааны талбайн гадаргын температур хэмждэг цэгүүдийн FDD болон TDD утгууд.

байгаа энерги нь усны төлөвийн шилжилтэд зарцуулах буюу шингэн хэлбэрээс хатуу эсвэл хатуу хэлбэрээс мөс болох үйл явцад илүү их энерги шаардагддаг юм [11].

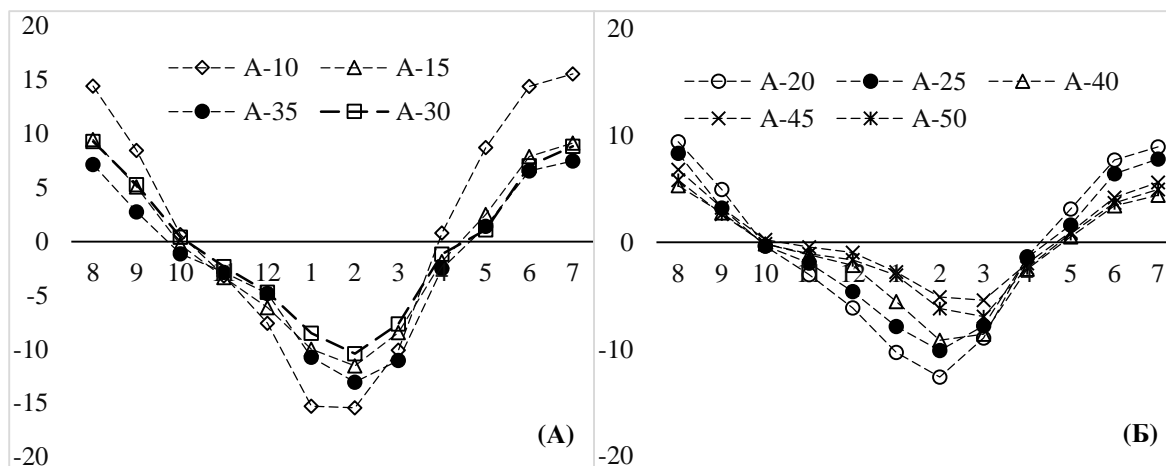
Судалгааны талбайд байрлуулсан гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн хувьд ч дээрх үйл явцын үндсэн дээр зарим газруудын температур өөр хоорондоо харилцан адилгүй байгааг харж болно. Ойгүй өвөр энгэрт байрлах А-10 цэгийн хувьд дулааны улиралд их хэмжээний дулаан гадарга дээр ирэх буюу 1953.1°C бөгөөд өвлийн улиралд ч мөн бусад цэгүүдээс илүү сэрүүн буюу -1573.2°C байгаа харагдаж байна. Харин ойтой ар энгэрт байрладаг А-40, А-45 болон А-50 цэгүүдийн хувьд зуны улиралд маш бага халалт үүсэх буюу 504.7°C-ээс 646.1°C-ийн хооронд байна. Өвлийн улиралд ч хөрөлт бага үүсэх ба -881.3°C-ээс -502.8°C-ийн хооронд хэлбэлзэж байгаа нь харагдаж байна (Зураг 1). Ойтой ч харьцангуй хуурай баруун тийш харсан энгэрт байрлах А-20 болон А-25-р цэгт халалт, хөрөлт бусад ар хажуугийн ой доторх цэгүүдээс илүү их буюу дунджаар -1159.2°C-ээс 946.7°C хүртэл халж, хөрж байна.

Цэгүүдийн FDD болон TDD утгуудын зөрүү нь ихэнх цэгт сөрөг утгатай байна. Өвөр энгэрт байх А-10 болон ар энгэрийн ой доторх А-45 цэгүүдэд эерэг утгатай байна буюу 379.9°C болон 143.4°C тус тус байна. Өвөр энгэрт байрлах цэгт ургамал бүрхэвч тачир мөн нарны тусгалын өнцөг бага тул зуны улиралд хангалттай дулаан ирэх ба өвлийн улиралд цасан бүрхэвчийн нөлөөтэй холбоотой бага хүйтэрдэг байх боломжтой. А-45-р цэгийн хувьд зөрүү нь нэмэх гарсан нь ойн цоорхойд байрладаг ба зуны улиралд халалт их үүсэж, өвлийн улиралд цасны дулаацуулах нөлөөгөөр хөрөлт бага явагдах боломжтой юм. Харин А-35-р цэгийн хувьд зөрүү нь -609.2°C байгаа нь тухайн цэг голын хөндийн чийглэг сөөглөг ургамал ихтэй газарт байрладагтай холбоотой. Учир нь зуны улиралд сөөглөг ургамлын сүүдэрлэх нөлөө болон чийгийн улмаас ой доторх цэгүүдтэй ижил халалт бага үүсэх ба өвлийн улиралд цасан бүрхэвч ойтой газраас бага байх тул илүү сэрүүн байдаг нь харагдаж байна (Хүснэгт 2).

Бидний сонгож авсан шугамын дагуу байрлах цэгүүдийн сарын дундаж утгуудын явц доорх графикт харагдаж байна. Ойгүй газарт байрлаж байгаа цэгүүдийн өвөл зуны температурын ялгаа их байгаа нь харагдаж байна. Тэнд температурын зөрүү хамгийн ихдээ 31°C байгаа бол хамгийн бага нь 20°C байна. Харин ой дотор байрлах цэгүүдийн хувьд дулааны болон хүйтний температурын зөрүү харьцангуй багатай буюу хамгийн ихдээ 22°C бол хамгийн багадаа 12°C хүрч байна (Зураг 2).

Хүснэгт 2. Цэгүүдийн FDD, TDD утгийн зөрүү.

Ойгүй цэгүүд					
Нэр	A10	A15	A30	A35	
FDD, TDD утгийн зөрүү	379.9	-208.0	-66.0	-609.2	
Ойтой цэгүүд					
Нэр	A20	A25	A40	A45	A50
FDD, TDD утгийн зөрүү	-238.0	-187.1	-376.5	143.4	-97.3



Зураг 2. Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн улирлын температурын явц. А-ойгүй цэгүүд, Б-ойтой цэгүүд.

6. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар бид Хөвсгөл нуурын зүүн эрэгт байрлах Анжигас голын хөндийд 9 өөр хоорондоо ялгаатай газарт суурилуулсан гадаргын температурыг хэмжигч багажуудад хэмжигдсэн утгуудын өөр хоорондоо ялгаатай байдлыг газарзүйн зарим хүчин зүйлстэй холбон тайлбарлахыг зорьсон. Тус судалгаатай холбоотой дараах дүгнэлтүүд гарч байна. Үүнд:

- Судалгааны талбай орчмын газрын гадарга өөр хоорондоо ялгаатай бөгөөд түүний температур нь мөн харилцан адилгүй өөр байх юм. Өөрөөр хэлбэл судалгааны цэгүүдийн гадаргын жилийн дундаж температур нь -1.67°C -ээс 1.04°C -ийн хооронд хэлбэлзэж байна.
- Харин судалгааны цэгүүдийн FDD болон TDD утгуудын хувьд уулын өвөр энгэрт байрлах А-10 цэгт халалт хөрөлт хамгийн их буюу -1573.2°C -ээс 1953.1°C -ийн хооронд байгаа бол модтой ар хажууд байрлах цэгүүдэд хамгийн бага буюу -881.3°C -ээс 646.1°C -ийн хооронд байна.
- Мөн FDD болон TDD утгуудын зөрүү нь хамгийн их нь Өвөр энгэрийн А-10 цэгт 379.9°C байсан бол хамгийн бага нь уулсын хөндийд сөөглөг ургамал голдуу ургасан газарт байрлах А-35 цэгт -609.2°C байгаагаар тус тус тогтоогдсон.
- Судалгааны талбайн газрын гадарга дээрх нь өвөл, зуны улирлын температур зөрүү ойтой ар хажууд маш бага буюу дунджаар 17°C байгаа бол ойгүй газарт 25.5°C тус тус байна.
- Ойн газрын гадарга харьцангуй бага халж хөрөх бөгөөд харин уулын өвөр энгэр болон ойгүй газарт тус зүй тогтол эсрэгээрээ байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг хийхэд зөвлөж, мөн хээрийн ажил болон судалгааны ажилд үнэлж баршгүй их туслалцаа үзүүлсэн Норвеги улсын Ослогийн их сургуулийн Физик газарзүй болон ус судлалын тэнхимийн багш дэд профессор доктор (Ph.D) Sebastian Westermann болон судалгааны ажилд оролцож өөрсдийн үнэтэй цаг хугацаагаа зарцуулсан ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын хамт олондоо чин сэтгэлийн талархал илэрхийлж байна.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] П. Батимаа, “Монгол орны гол мөрний усны химийн найрлага, чанарын үнэлгээ”, Эрдмийн зэрэг горилсон нэг сэдэвт бүтээл, МУИС, Улаанбаатар, 1998.
- [2] Е. Батчулуун, “Монгол орны физик газарзүй”. Улаанбаатар: Мөнхийн үсэг ХХК, 2020.
- [3] Г. Даваа, “Монгол орны гадаргын усны нөөцийн судалгааны үр дүнгээс”, Улаанбаатар 2017.
- [4] Д. Төмөрбаатар, “Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг”, Улаанбаатар: Урлах эрдэм, 155х, 2004.
- [5] Ш. Цэгмид, “Монгол орны физик газарзүй”, Улаанбаатар: Улсын хэвлэлийн газар, 1969
- [6] Т. Цэнгэл, “Хөвсгөл нуур, эг голын сав газрын усны нөөц горим: Индикацийн арга”, Улаанбаатар: Адмон принт ХХК, 2013.
- [7] A. Dashtseren, M. Ishikawa, Y. Iijima, Ya. Jambaljav. “Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia”. *Permafrost and Periglacial Processes* 25, (4):295-306, 2014. Available: <https://doi.org/10.1002/ppp.1824>
- [8] B. Etzelmuller, E. S. F. Heggem, R. Sharkhuu, A. Frauenfelder, Kaab, and C. E. Goulden Mountain permafrost distribution modelling and validation using a multi-criteria approach and DC resistivity tomography in continental central Asian mountains: Example from Hovsgol area, northern Mongolia, *Permafrost Periglacial Processes*, 17, 91 – 104, 2006. Available: <https://doi.org/10.1002/ppp.554>
- [9] 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.* 9:713498. 2021. Available: <https://doi.org/10.3389/feart.2021.713498>
- [10] Jambaljav Yamkhin, Gansukh Yadamsuren, Temuujin Khurelbaatar, Tsogt-Erdene Gansukh, Undrakhsetseg Tsogtbaatar, Saruulzaya Adiya, Amarbayasgalan Yondon, Dashtseren Avirmed, Sharkhuu Natsagdorj Spatial distribution mapping of permafrost in Mongolia using TTOP, *Permafrost Periglacial Processes*, 33, 386 – 405, 2022. Available: <https://doi.org/10.1002/ppp.2165>
- [11] S. Miyazaki, et al., Interannual and seasonal variations in energy and carbon exchanges over the larch forests on the permafrost in northeastern Mongolia, *Polar Science* 2014. Available: <https://doi.org/10.1016/j.polar.2013.12.004>
- [12] A. Sharkhuu, N. Sharkhuu, B. Etzelmuller, E. S. F. Heggem, F. E. Nelson, N. I. Shiklomanov, C. E. Goulden, and J. Brown Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region, Mongolia, *J. Geophys. Res.*, 112, F02S06, 2007. Available: <https://doi.org/10.1029/2006JF000543>
- [13] N. Sharkhuu, Geocryological conditions of the Hovsgol mountainous region, in *The Geology, Biodiversity and Ecology of Lake Hovsgol (Mongolia)*, edited by C. E. Goulden et al., pp. 49 – 62, Backhuys, Leiden, Netherlands. 2006.
- [14] T. Wu, Q. Wang, L. Zhao, O. Batkhisig, & M. Watanabe, Observed trends in surface freezing/thawing index over the period 1987-2005 in Mongolia. *Cold Regions Science and Technology*, 69(1), 105–111. 2011. Available: <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2011.07.003>