

# Land surface temperature analysis and active layer changes in Terkh River Valley

Khurelbaatar Temuujin<sup>1,\*</sup>, Yondonrentsen Purevdulam<sup>1</sup>, Dashtseren Avirmed<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Division of Permafrost Research, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

\*Corresponding author email: [temuujinkh@mas.ac.mn](mailto:temuujinkh@mas.ac.mn)

<https://orcid.org/0000-0002-0042-5653>

Received: 30 September 2023 / Accepted: 14 December 2023 / Published online: 28 December 2023

## ABSTRACT

In this study, we identified the relationship between Ground Surface Temperature (GST) with the geography and environmental factors in the Terkh River Valley, Mongolia, and explored the possibility of using satellite data to determine active layer thickness and seasonally frozen ground changes. We obtained data from three boreholes for the permafrost monitoring, and ten GST measuring instruments that we installed in the valley. According to the results, the active layer thickness at the three boreholes varied between 2.8 and 6.22 m. In the Terkh Ar borehole, the active layer thickness increased by 5 cm per year, while the seasonally frozen ground depth in the Terkh Uvur borehole decreased by 12 cm during the study period. When comparing mean GST with geographic factors such as elevation, slope, and aspect, the correlation was weak ( $R^2 = 0.026-0.23$ ). However, when comparing mean GST in the summer season with indices such as MSAVI, MNDWI, and NDMI, the correlation was high ( $R^2 = 0.37-0.91$ ). The highest value of the thawing degree days (TDD) was 2708°C and observed at T-10, while the lowest value of the TDD was 1174°C and observed at T-1. The minimum value of freezing degree days (FDD) was -3020°C and observed at the T-n point, while the maximum value of FDD was -1553°C and observed at the T-10 point. The *N*-factor derived from the FDD and TDD values revealed a high correlation with the MSAVI index ( $R^2 = 0.77$ ). It is indicated that the MSAVI index can be one of the factors modeling the active layer thickness.

**Keywords:** *N*-factor, FDD, TDD, MSAVI, MNDWI, NDMI

# Тэрхийн голын хөндийн гадаргын температурын анализ болон улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн өөрчлөлт

Хүрэлбаатар Тэмүүжин<sup>1,\*</sup>, Ёндонрэнцэн Пүрэвдулам<sup>1</sup>, Дашцэрэн  
Авирмэд<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Цэвдэг Судлалын Салбар, Газарзүй, геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи,  
Улаанбаатар, Монгол

\*Холбоо барих зохиогчийн цахим хаяг: [temuujinkh@mas.ac.mn](mailto:temuujinkh@mas.ac.mn)

Хүлээн авсан: 2023 оны 09 сарын 30 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2023 оны 12 сарын 14 өдөр /  
Нийтлэгдсэн: 2023 оны 12 сарын 28 өдөр

## ХУРААНГУЙ

Бид энэхүү судалгаагаар Тэрхийн голын хөндийн гадаргын температурын үйл явцыг газарзүй болон байгалийн хүчин зүйлстэй хамаарлыг судлах, мөн ул хөрсний улирлын хөлдөлт гэсэлтийн өөрчлөлтийг мониторинг цооногийн мэдээ ашиглан тогтоох, цаашлаад улирлын хөлдөлт гэсэлтийн загварчлалыг хийхэд хиймэл дагуулын мэдээг ашиглах боломж зэргийг судаллаа. Судалгаанд ашигласан мэдээг энэхүү голын хөндийд байрлах цэвдгийн мониторингийн 3 цэг болон гадаргын температур хэмжигч 10 багажаас авсан. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд улирлын хөлдөлтийн гүн цэвдгийн мониторингийн 3 цэгт 2.8 – 6.22 м-ийн гүнд хэлбэлзэж байсан. Харин улирлын гэсэлтийн гүн Тэрх ар цооногт жилд 5 см-аар нэмэгдэж байсан бол Тэрх ар цооногт улирлын хөлдөлтийн гүн жилд 12 см-аар буурч байна гэсэн үр дүн гарсан. Гадаргын жилийн дундаж температурыг газарзүйн хүчин зүйлс болох өндөршил, зүг зовхис, гадаргын налуу зэрэг хүчин зүйлстэй харьцуулж үзэхэд бага хамааралтай байв ( $R^2 = 0.026-0.23$ ). Харин зуны улирлын гадаргын дундаж температурыг MSAVI, MNDWI, NDMI зэрэг индексүүдтэй харьцуулж үзэхэд хоорондын хамаарал өндөр байна ( $R^2 = 0.37-0.91$ ). Хамгийн өндөр TDD утгыг T-10 цэгт 2708°C байгаа бол хамгийн бага нь T-1 дээр 1174°C байна. Хүйтний улирал буюу FDD-ийн хамгийн бага утга нь T-n цэгт -3020°C байсан бол хамгийн их нь T-10 цэгт -1553°C тус тус байна. Дээрх утгуудаас гаргаж авсан N-факторыг MSAVI индекстэй харьцуулж үзэхэд  $R^2$  нь 0.77 буюу сайн гэж гарсан нь цаашид энэхүү индексийг улирлын хөлдөлт гэсэлтийн загварчлалд ашиглах боломжтой гэдгийг харуулж байна.

**Түлхүүр үгс:** N-фактор, Улирлын хөлдөлт, Улирлын гэсэлт, MSAVI, MNDWI, NDMI

## 1. ОРШИЛ

### Судалгааны үндэслэл

Дэлхий дахинд нүүрлээд байгаа уур амьсгалын өөрчлөлт, дэлхийн дулаарал зэрэг хүчин зүйлс нь сүүлийн жилүүдэд

илүү эрчимтэйгээр явагдаж байгаа бөгөөд манай орны хувьд ч мөн тус хүчин зүйлтэй нүүр тулахаас өөр аргагүй болоод байна. Монгол орны агаарын температур сүүлийн 60 жилийн хугацаанд 2.4°C-ээр нэмэгдээд байгаа нь дэлхийн дунджаас даруй гурав

дахин их гарсан [1]. Энэ ч утгаараа уур амьсгалын өөрчлөлтийн гол индикатор болох цэвдгийн өөрчлөлтийг судлах нь чухал ач холбогдолтой. Цэвдгийн оршин тогтнох байгалийн хүчин зүйлийн нэг болох газрын гадаргын температурын өөрчлөлтийг судлах шаардлагатай [2]. Учир нь газрын гадаргын температурын өөрчлөлт тухайн газар нутгийн онцлогтой уялдан цэвдгийн дээр явагдах гэсэлтийн процесст шууд нөлөөлдөг [3].

Монгол орны цэвдэг нь 1971 оны Геокриологийн зурагт харуулснаар нийт газар нутгийн 63%-д тасалданги, алаг цоог хэлбэрийн тархалттай байсан [4] бол 2016 оны Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт 29.3% болж буурсан. Өөрөөр хэлбэл сүүлийн 45 жилийн хугацаанд цэвдэг тархах боломжит газар нутгийн хэмжээ 50 гаруй хувиар, цэвдгийн тархалт 5 хувиар багассан байна [5]. Монгол орны цэвдгийн температурын урт хугацааны мониторингийн судалгааг 1960-аад оноос хийж эхэлсэн байдаг. Тухайлбал, Цэвдэг судлаач Н. Шархүү нь 1969- 2002 оны хооронд Монгол орны Хангай, Хэнтий, Хөвсгөлийн уулсын цэвдэгт бүс нутагт орших Багануур, Налайх, Бүрэнхан, Шарга, Тэрх, Чулуут зэрэг газруудад цэвдгийн мониторингийн цэгүүд байгуулж, хэмжилт хийж байсан. Түүний судалгааны үр дүнгээс үзэхэд газрын гадаргын дундаж температур 1969- 2002 оны хооронд 0.013 °C-ээр нэмэгдсэн байна. Түүнчлэн улирлын гэсэлтийн гүн дээрх хугацааны уртад жилд 0.5 см-ээр өөрчлөгдсөн байна [6].

Газрын гадаргын температур болон түүний өөрчлөлт, бүрэлдэн тогтох байдал зэргийг судлах нь уур амьсгалын өөрчлөлт болон газрын гадаргын дулааны балансыг судлахад үнэтэй хувь нэмэр оруулдаг [7]. Тухайн газар бүрэлдэн тогтож байгаа газрын гадаргын температур нь байгаль, цаг уур, газарзүйн онцлогоос шалтгаалан харилцан адилгүй байх бөгөөд гагцхүү аль хүчин зүйл нь тухайн үйл явцад илүү

нөлөө үзүүлж байгааг судалж танин мэдэх шаардлага тулгараад байна. Тиймээс улирлын гэсэлтийн гүн болон гадаргын температурын ялгаатай байдлыг судлах нь бидний хийж байгаа энэхүү судалгааны гол зорилго юм. Бид цаашид энэхүү судалгааг үргэлжүүлэн хийснээр газрын гадаргын температурын урт хугацааны өөрчлөлт болоод ирээдүйн хандлагыг тодорхойлж, уур амьсгалын өөрчлөлтийн чиг хандлагыг тодорхойлох боломжтой болох юм.

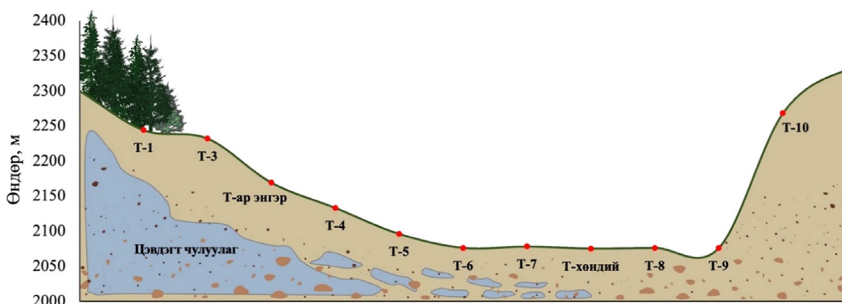
## **2. Судалгааны аргазүй, Ашигласан материал**

### **Судалгааны талбай**

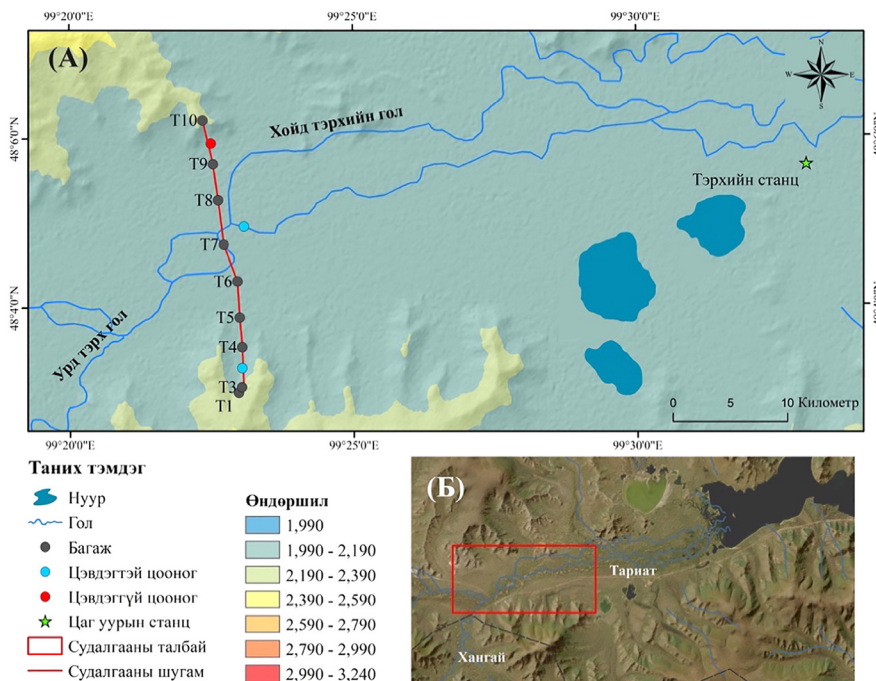
Хойд тэрхийн гол нь Архангай аймгийн Тариат сумын нутагт Тэрхийн цагаан нуурын дэргэд оршдог. Хойд мөсөн далайн ай савд хамаарагдах энэхүү гол нь Тарвагатайн нуруунаас эх аван урсаж урд Тэрхийн голтой нийлж, Тэрхийн цагаан нуурт цутгаад цааш Суман гол болон урсдаг. Хойд Тэрх, Урд Тэрх зэрэг Тэрхийн цагаан нуурын сав дахь голуудын онцлог шинж нь мөстлөгийн хурдас, хүрмэн чулуулаг тархсан байдаг. Голдирлын өргөн эхэндээ 20-30 м, адагтаа 70-80 м, дундаж гүн 0.5-2.5 м, урсгалын хурд 1.0 м/с, усны горимын хэлбэлзэл их байдаг [8]. Бидний судалгааны талбай нь Хангайн уулархаг бүс нутагт хамаарах бөгөөд цэвдгийн тасалданги, алаг цоог хэлбэрийн тархалттай, тухайн бүс нь ус зүйн сүлжээний нягт ихтэй учир хөндийнүүд маш олон, харин хотгорууд цөөн байдаг [5]. Хойд тэрхийн голын хөндийд цэвдгийн зузааныг судлаач Н. Шархүүгийн тодорхойлсноор 123 м гэж тооцоо болон хэмжилтээр тогтоожээ [9]. Хүйтний гаралтай үзэгдлүүдээс энэ голын хөндийд зонхилон тархсан байх үзэгдэл нь нохойн хонхор юм. Энэ үзэгдэл нь цэвдэгтэй бусад улс оронд тэр болгон тохиолдоод байдаггүй бөгөөд ихэвчлэн хөндий хотгорын тэгшивтэр гадаргатай газар тохиолддог. Гүн нь 0.2- 0.8 м- ийн

хооронд хэлбэлзэх ба диаметр нь 1- 5 м орчим байна [10]. Судалгааны талбайд цэвдгийн мониторингийн 3 цэг байдаг, тэдгээр нь модтой ар энгэр, модгүй өвөр энгэр болон голын хөндийд байрлалтай. Үүнээс гадна 2021 онд манай судалгааны баг Т-1-ээс Т-10 дугаар бүхий газрын гадаргын температур хэмжигч 9 ширхэг, 1 ширхэг агаарын температур хэмжигч байрлуулсан (Зураг 2). Гэвч Т-2 дугаарын

хэмжигч алдаа заасан тул тухайн мэдэлийг ашиглах боломжгүй болсон. Тиймээс бусад хэмжигчийн мэдээллийг ашиглан судалгааны ажлаа гүйцэтгэлээ. Хэмжигч багажуудын хоорондын зай 165- 990 метрийн хооронд байна. Т-1, Т-3, Т-4, Т-5 дугаар бүхий хэмжигчид ар энгэрт, Т-6, Т-7, Т-8 нь голын хөндийд байрладаг бол Т-9, Т-10 дугаарын хэмжигчид өвөр энгэрт тус тус оршино (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн хөндлөн зүсэлт ба температур хэмжигч багажуудын байршил.



Зураг 2. Судалгааны талбайн зураг. А- Судалгааны талбайн өндрийн өөрчлөлт болон мониторингийн цэгүүд, гадаргын температур хэмждэг багажуудын байршил. Б- Судалгааны талбайн ерөнхий байршил.

### Температурын мэдээ болон боловсруулалт

Судалгааны талбайн гадаргын температурыг хэмжихийн тулд Onset HOBO-pendant багажийг ашигласан. Тухайн багаж нь 4 цагийн давтамжтайгаар гадаргын температурыг хэмжих бөгөөд жижиг хэмжээтэй ч багтаамж болон хэмжилтийн алдаа бага байдаг зэрэг давуу талуудтай [11]. Мөн тус судалгааны талбайн ойролцоо нарны цацраг, салхины хурд болон чиглэл, хур тунадас, агаарын температур, хөрсний температур, хөрсний чийг, даралт гэх мэт параметруудийг хэмждэг бүрэн автомат цаг уурын станц байдаг. Судалгааны талбай дах хэмжигч багажуудын мэдээг ашиглан гадаргын жилийн дундаж температур (ГЖДТ), зуны улирлын гадаргын дундаж температур (ЗУГДТ) мөн нэмэх (дулаан) ба хасах хэмтэй (хүйтэн) хоногийн дундаж температуруудын нийлбэр (thawing degree day- TDD, freezing degree day- FDD) зэргийг тооцоолон гаргасан. FDD болон TDD-ийг доорх томъёогоор тодорхойлно:

$$TDD = \sum_{i=0}^N T_i, T_i > 0 \quad (1)$$

$$-FDD = \sum_{i=0}^N T_i, T_i < 0 \quad (2)$$

Үүнд: TDD – Нэмэх хэмтэй хоногийн дундаж температуруудын нийлбэр,  
-FDD – Хасах хэмтэй хоногийн дундаж температурын нийлбэр,  
N – Хоногийн тоо,  
 $T_i$  – Сарын дундаж температур

Газрын гадаргын болон агаарын FDD болон TDD-ийн үр дүнгээс N-факторыг тодорхойлсон. N-фактор нь агаар мандал болон хөрсний хоорондын уялдаа холбоог тайлбарладаг. Улирлын хөлдөлт ба гэсэлтийн хугацаан дахь хоногийн дундаж температурын нийлбэр (гэсэлтийн үед TDD буюу IS; хөлдөлтийн үед FDD буюу IW), түүний харьцаагаар N-фактор илэрхийлэгдэнэ [5].

$$n_{FS} = \frac{I_{SS}}{I_{SA}}; n_{FW} = \frac{I_{WS}}{I_{WA}} \quad (3, 4)$$

Үүнд:

$n_{FS}; n_{FW}$  – Дулааны болон хүйтний улирлын N-фактор,

$I_{SS}; I_{WS}$  – Гадаргын хоногийн дундаж нэмэх, хасах температурын нийлбэр (°C),

$I_{SA}; I_{WA}$  – Агаарын хоногийн дундаж нэмэх, хасах температурын нийлбэр (°C),

**Хүснэгт 1.** Судалгааны талбайн цэгүүдийн байгалийн болон температурын зарим үзүүлэлтүүд.

Нэр	Гадаргын төрөл	Өндөр, м	Налуу, градус	Зүг зовхис	ГЖДТ, °C	ЗУГДТ, °C	FDD, °C	TDD, °C	Nfw	Nfs
T-1	Ой	2244	15.24	X	-3.24	9.36	-2335	1174	1.18	0.60
T-ар энгэр	Ой	2169	7.25	БХ	-3.56	11.13	-3020	1510	1.52	0.77
T-4	Бэлчээр	2133	4.15	ЗХ	-0.17	16.33	-	2301	-	1.17
T-5	Бэлчээр	2096	2.10	X	-0.59	16.20	-2802	2301	1.41	1.17
T-6	Бэлчээр	2076	1.35	ЗУ	-0.67	15.47	-2586	2189	0.82	1.43
T-7	Бэлчээр	2078	1.31	БХ	-1.20	15.07	-2634	2069	0.83	1.35
T-хөндий	Бэлчээр	2075	0.73	X	-1.20	13.57	-2460	1856	0.78	1.21
T-8	Бэлчээр	2076	0.33	ЗХ	-0.90	15.25	-2481	2022	0.78	1.32
T-9	Бэлчээр	2076	2.32	У	-0.41	16.31	-2461	2236	0.78	1.46
T-10	Бэлчээр	2268	20.65	У	3.15	17.84	-1553	2708	0.49	1.76

**Хиймэл дагуулын мэдээ болон боловсруулалт**

Энэхүү судалгаанд Японы Сансар судлалын агентлагийн Дэлхийн ажиглалтын төвийн мэдээллийн сангаас (Japanese Aerospace Exploration Agency’s Earth Observation Center) ALOS Palsar хиймэл дагуулын DSM (Global Digital Surface Model) буюу гадаргын тоон загварын 30 м нарийвчлалтай мэдээг ашиглан газрын гадаргын өндөршил, налуу, зүг зовхис зэргийг тодорхойлсон. Европын Сансрын Агентлагийн Коперникийн мэдээллийн сангаас (European Space Agency’s Copernicus) Sentinel-2A, 2B MSI хиймэл дагуулын агаар мандлын засвар хийсэн 2A түвшний 2022 оны 6 сарын 27, 7 сарын 30 мөн 8 сарын 31-ны өдрийн 0-9.5 хувийн

үүлэн бүрхэцтэй 3 зургийг ашигласан. Энэ хиймэл дагуул нь спектрийн олон мужид үзэгдэх гэрлийн, ойрын хэт улаан туяаны болон богино долгионы хэт улаан туяаны 13 суваг бүхий өгөгдөл боловсруулдаг. Нарийвчлал 10-60 метрийн нарийвчлалтай, зураглалд хамрагдах талбай 290 км, давтамж нь 5 хоног байдаг [12], [13]. Дээрх зургуудыг ашиглан Хувиргасан хөрсний нөлөөллийг тооцоолсон ургамлын индекс (Modified Soil Adjusted Vegetation Index-MSAVI), Хувиргасан Усны нормчилсон ялгаат индекс (Modified Normalized Difference Water- MNDWI) мөн Чийгшлийн нормчилсон ялгаат индекс (Normalized Difference Moisture Index- NDMI) нарыг тус тус ArcGIS 10.8 программ хангамжийг ашиглан тооцоолсон.

**Хүснэгт 2.** Sentinel-2 хиймэл дагуулын мэдээнээс индекс тооцоход ашигласан сувгуудын долгионы урт ба нарийвчлал.

Сувгийн дугаар	Сувгийн нэр	Долгионы урт (нм)	Нарийвчлал (м)
3	Үзэгдэх гэрлийн ногоон (Green)	559	10
4	Үзэгдэх гэрлийн улаан (Red)	664	10
8	Ойрын хэт улаан (NIR)	832	10
11	Богино долгионы хэт улаан (SWIR1)	1610	20

**Хүснэгт 3.** Судалгаанд ашигласан индексүүдийн тайлбар болон тодорхойлох томъёо.

Индексийн нэр	Тайлбар	Томъёо
MSAVI	Ургамлын ургалт, нягтралын байдлыг илтгэх боловч онцлог нь хөрсний нөлөөллийг харгалзаж, багасган тооцдог [14].	$MSAVI = \frac{2NIR+1-\sqrt{(2NIR+1)^2-8(NIR-RED)}}{2} \quad (5)$
MNDWI	Газрын гадарга дээрх усаар бүрхэгдсэн талбайг тодорхойлохын зэрэгцээ барилгажсан талбайн нягтрал, ургамалжилт, хөрсний нягтрал зэргийг сааруулан тооцдог [15].	$MNDWI = \frac{(GREEN-SWIR1)}{(GREEN+SWIR1)} \quad (6)$
NDMI	Ургамлын чийгийн агууламжийг тодорхойлох, ган гачигт хяналт тавихад ашигладаг [16].	$NDMI = \frac{(NIR-SWIR1)}{(NIR+SWIR1)} \quad (7)$

### Статистик шинжилгээний арга

Судалгааны талбайн температурын мэдээг ашиглан жилийн дундаж газрын гадаргын температурыг тооцоолсон энэ нь тухайн талбайн өндрийн байдал, налуужилт болон зүг зовхис зэрэгтэй хамааралтай эсэхийг шугаман регрессийн аргыг ашиглан тодорхойлсон. Мөн үүнээс гадна зуны улирлын гадаргын дундаж температурыг MSAVI, MNDWI болон NDMI индексүүдтэй хамаарлыг тодорхойлсон. Регрессийн шинжилгээ нь хоёр ба түүнээс дээш хувьсагчийн хоорондын хамаарлыг харуулдаг статистикийн арга юм. Энэхүү шинжилгээнд  $R^2$  буюу Детерминацийн коэффициентийг ашиглан газрын гадаргын температур болон байгалийн хүчин зүйлсийн хоорондын харилцан хамаарлыг тодорхойлсон.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_2)^2}{\sum_{i=1}^n (y_1 - y_3)^2} \quad (8)$$

Үүнд:

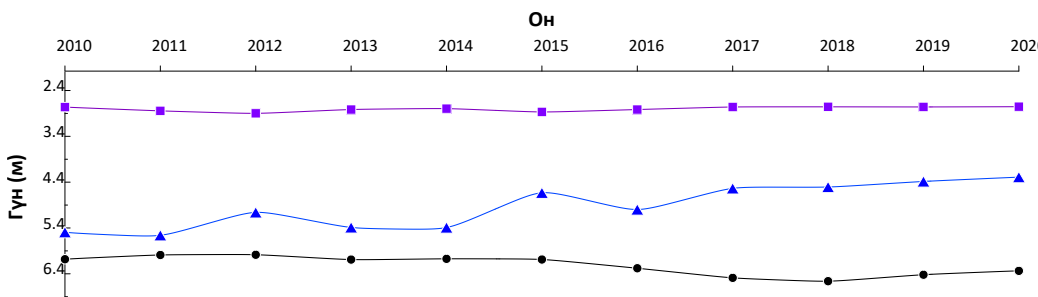
$R^2$  – Детерминацийн коэффициент,

$n$  – Өгөгдлийн тоо,

$y_{1,2,3}$  – Хамааран болон үл хамааран хувьсагчид,

### 3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Тэрхийн голын хөндийн судалгааны талбайд байрлуулсан 8 газрын гадаргын, 1 агаарын температур хэмжигч болон 2 ширхэг цэвдгийн мониторинг цооногийн мэдээ зэргийг ашиглан судалгааны үр дүнгүүдийг гаргаж авлаа. Цэгүүдийн зарим газарзүйн үзүүлэлтүүдийг гаргаж үзвэл: Тухайн цэгүүдийн газрын гадаргын налуу нь 0.33 – 20.65 градус, хамгийн өндөрт орших цэг нь далайн төвшнөөс дээш (д.т.д) 2268 м байх бол хамгийн нам дор цэг нь д.т.д 2075 м тус тус байрлаж байна. Гадаргын жилийн дундаж температур (ГЖДТ) нь  $-3.56^{\circ}\text{C}$ -ээс  $3.15^{\circ}\text{C}$ -ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Зураг 5). Монгол орон далай тэнгисээс тусгаарлагдсан эх газрын хуурай эрс тэс уур амьсгалтай бүс нутагт оршино [8]. Энэхүү газарзүйн онцлогоос хамааран манай орны хөрс чулуулаг бүх нутгаар харилцан адилгүй гүнд хөлдөж, гэсдэг. Тухайн үйл явцыг ерөнхийд нь ул хөрсний улирлын хөлдөлт, гэсэлт гэх бөгөөд цэвдэгт бүс нутагт энэ үзэгдлийг улирлын гэсэлт гэж нэрлэдэг бол бусад газарт улирлын хөлдөлт гэнэ [17]. Улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн нь газрын гадаргын өндөр, зүг зовхис, налуу, чийг, өргөрөг, хөрсний бүтэц, гадаргын хэв шинж зэрэг хүчин зүйлсээс шалтгаалан бүс нутгийн хэмжээ бүр түүнчлэн уулын өвөр энгэр болон ар хажууд хүртэл харилцан адилгүй өөр өөр гүнд хөлдөж, гэснэ [5].



Зураг 3. Мониторингийн цооногуудын улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүний график.

Дээрх зүй тогтол бидний сонгож авсан судалгааны талбайд хүртэл ажиглагдана. Судалгааны талбайд байрлах гурван цэвдгийн мониторинг цооногийн мэдээн дээр тулгуурлан улирлын хөлдөлт болон гэсэлтийн гүнийг тооцож үзсэн. Тус гурван цооногийн Тэрх ар болон Тэрх хөндий зэрэг цооногууд нь цэвдэгтэй газарт байрлах бол Тэрх өвөр цооног нь улирлын хөлдөлтийн бүсэд байрлана. Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүнийг тухайн цооногуудын боломжит хугацаа буюу 2010 – 2020 оны хооронд нийт 11 жилийн өөрчлөлтийг тооцож гаргасан байна (Зураг 3). Тэрхийн голын ар энгэрт байрлах цооногийн дундаж гэсэлтийн гүн нь 6.22 м байна. Цооногийн хамгийн гүн гэсэлт 2018 онд 6.56 м байсан бол хамгийн гүехэндээ 2012 онд 5.98 м байжээ. Мөн тухайн цооногийн улирлын гэсэлтийн гүн жил бүр 5 см-аар нэмэгдэж байгаа хандлага ажиглагдсан. Тэрхийн голын өвөрт байрлах цооног нь дунджаар 4.93 м хүртэл хөлддөг цэвдэггүй цооног юм. Тухайн цооногийн хамгийн гүн хөлдөлт нь 2011 онд 5.56 м хүрсэн бол хамгийн гүехэн нь 2020 онд 4.29 м хөлдөж байжээ. Энэхүү цооногийн улирлын хөлдөлтийн гүн жил бүр 12 см-аар буурч байгаа гэсэн хандлага гарсан. Харин Тэрхийн голын хөндийд байрлах цооногийн дундаж гэсэлтийн гүн нь 2.8 м байна. Түүнчлэн цооногийн улирлын гэсэлтийн гүн төдийлөн өөрчлөлт багатай ба 2.75 – 2.9 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 4).

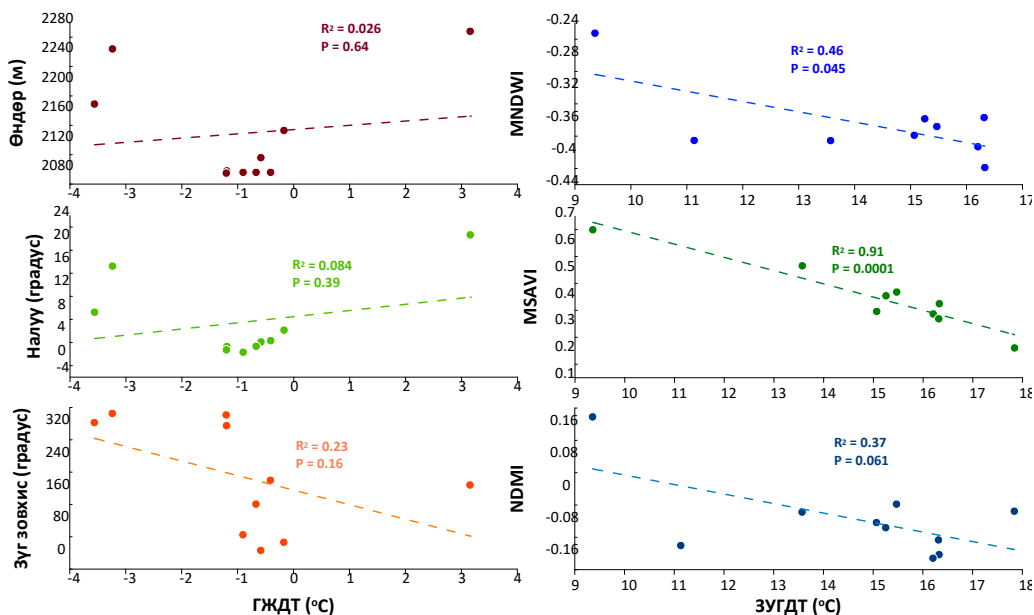
**Хүснэгт 4.** Тэрхийн голын хөндийд байрлах цэвдгийн мониторинг цооногуудын улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн.

Он	Улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн, м		
	Тэрх ар	Тэрх өвөр	Тэрх хөндий
2010	6.08	5.49	2.76
2011	5.99	5.56	2.84
2012	5.98	5.06	2.90
2013	6.09	5.39	2.82
2014	6.07	5.39	2.80

2015	6.09	4.63	2.87
2016	6.28	5.00	2.82
2017	6.49	4.54	2.76
2018	6.56	4.51	2.76
2019	6.42	4.39	2.76
2020	6.34	4.29	2.75
Дундаж гүн	6.22	4.93	2.80

Судалгааны талбайд суурилуулсан газрын гадаргын температур хэмжигч багажийн мэдээг ашиглан гаргаж авсан температурын үзүүлэлтүүдийг хиймэл дагуулын зураг, гадаргын тоон загвараас тооцоолон гаргасан газарзүй болон байгалийн зарим хүчин зүйлсийн харилцан хамаарлыг тодорхойллоо. Ингэж тодорхойлохдоо бид гадаргын жилийн дундаж температурын (ГЖДТ) мэдээг өндөр, налуу, зүг зовхис зэрэг хүчин зүйлтэй шууд хамаарал байгаа эсэхийг харахад  $R^2$  нь 0.026 – 0.23-ийн хооронд харьцангуй сул хамааралтай гарсан ба P value ч мөн адил төдийлөн өндөр хамааралтай гэж гараагүй. Харин зуны улирлын гадаргын дундаж температур (ЗУГДТ) буюу 6, 7, 8-р саруудын дундаж температурыг MNDVI, MSAVI, NDMI зэрэг индексүүдтэй хамааралтай байгаа эсэхийг тооцож үзсэн. Ингэхдээ бид дулааны улирлын дундаж температурын утгатай харьцуулж үзэх тул хиймэл дагуулын зургаа ч мөн 6, 7, 8-р сарын сүүлийн өдрүүдийн зургийг сонгон авч дээрх индексүүдийг бодон дундаж утгыг авч харьцуулалт хийсэн. Дээрх утгуудын хоорондын хамаарлыг гаргаж үзэхэд өмнөх хүчин зүйлс болох өндөр, налуу, зүг зовхис зэргээс хамаарал нь газрын гадаргатай илүү сайн гарсан. Өөрөөр хэлбэл  $R^2$ -ийн утга 0.37 – 0.91-ийн хооронд буюу дунд болон өндөр хамааралтай гарсан ба үүнээс хамгийн сайн хамааралтай байсан нь MSAVI байсан юм. Энэ нь тухайн бичил бүс нутагт газрын гадаргын температур бүрэлдэн тогтоход ургамал бүрхэвч хамгийн их нөлөө үзүүлдэг байж болохыг илтгэнэ (Зураг 4).

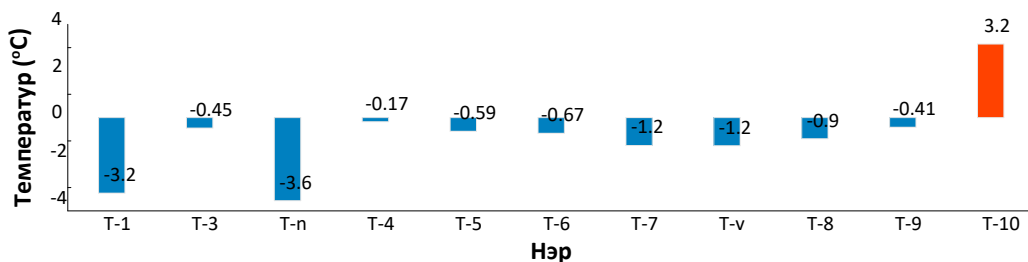




**Зураг 4.** Гадаргын жилийн дундаж температур (ГЖДТ), зуны улирлын гадаргын дундаж температур (ЗУГДТ) зэргийн зарим хүчин зүйлстэй тооцсон хамаарлын график.

Гадаргын жилийн дундаж температурын утгаас харахад ар энгэрт, модны захад байрладаг цэг Т-n хамгийн хүйтэн буюу  $-3.6^{\circ}\text{C}$  байна. Харин хамгийн дулаан байгаа нь  $3.2^{\circ}\text{C}$  буюу Т-10 цэг байна. Мөн ой дотор байрлах Т-1 цэг нь  $-3.2^{\circ}\text{C}$  хүйтэн байх бөгөөд бусад цэгүүдийн хувьд жилийн дундаж температур бүгд

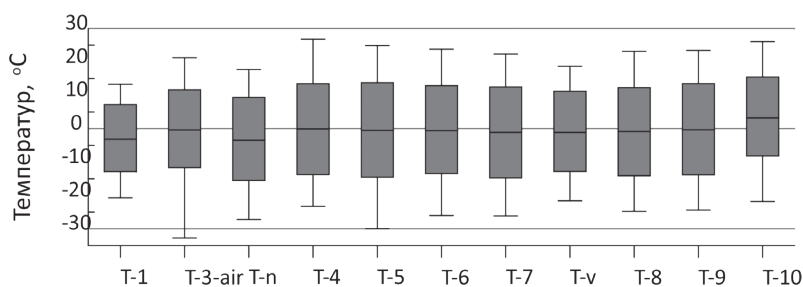
хасах градустай боловч Т-1 болон Т-n цэгүүдтэй харьцуулахад дулаан байна. Ой дотор байрлах Т-3 агаарын температур хэмжигч цэгийн жилийн дундаж температур  $-0.45^{\circ}\text{C}$  байна. Харин бусад цэгийн хувьд  $-0.17^{\circ}\text{C}$ -ээс  $-1.2^{\circ}\text{C}$ -ийн хооронд хэлбэлзэж байна (Зураг 5).



**Зураг 5.** Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн жилийн дундаж утгын график.

Зураг 6 дээрх газрын гадаргын температур хэмжигч багажуудын жилийн температурын хэлбэлзэл буюу агууригийг харахад хамгийн бага халалт үүсэж байгаа цэг нь ойд байрлах Т-1 цэг бөгөөд жилийн агууриг нь 34°C байна. Хамгийн өндөр хэлбэлзэл буюу агууриг үүсэж байгаа цэг нь Т-5 дээр 55°C байгаа нь ойд байрлах агаарын температур хэмжигчид бүртгэгдсэнээс их байгаа юм. Ой дотор

байрлах Т-3 агаарын температур хэмжигч цэгт зуны улиралд 21.3°C хүрсэн бол сэрүүний улиралд -32.7°C хүрч хүйтэрдэг буюу 54°C-ийн зөрүү үүсэж байна. Харин хамгийн их халалт Т-4 цэгт 27°C хүрснээр тус тус бүртгэгдсэн байна. Харин хөндийн төв хэсэгт байрлах Т-ν цэгт температурын агууриг бага буюу 40°C байгаа нь зуны улиралд ургамал бүрхэвч сайтай, өвөл цас их унадаг, мөн хөрсний чийг их зэрэгтэй холбоотой байж болох юм (Зураг 6).



**Зураг 6.** Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн температурын жилийн агууригийг харуулсан график.

**Хүснэгт 5.** Судалгааны талбайд байрлах цэгүүдийн температурын үзүүлэлтүүд.

Нэр	T-1	T-n	T-4	T-5	T-6	T-7	T-ν	T-8	T-9	T-10
2022 TDD	1174	1510	2301	2301	2189	2069	1856	2022	2236	2708
2022-2023 FDD	-2335	-3020	-	-2802	-2586	-2634	-2460	-2481	-2461	-1553
FDD, TDD зөрүү	-1161	-1510	-	-501	-397	-565	-605	-459	-225	1155
2022 Nfs	0.60	0.77	1.17	1.17	1.43	1.35	1.21	1.32	1.46	1.76
2022-2023 Nfw	1.18	1.52	-	1.41	0.82	0.83	0.78	0.78	0.78	0.49

Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн 2022 – 2023 оны мэдээг ашиглан тухайн цэгийн FDD болон TDD утгуудыг тооцож үзсэн. Энэхүү утгуудыг тооцож үзэхийн ач холбогдол нь FDD, TDD-ийн зөрүүнээс тухайн цэгт хүйтэн эсвэл дулааны хуримтлал аль үүсэх байгаа талаар урьдчилан таамаглах боломжтой юм [18]. Мөн дараагийн ач холбогдол нь агаарын температуртай харьцуулалт хийж дулааны болон хүйтний улирлын N-фактор утгуудыг тооцож гаргах ба дээрх утгууд нь агаарын

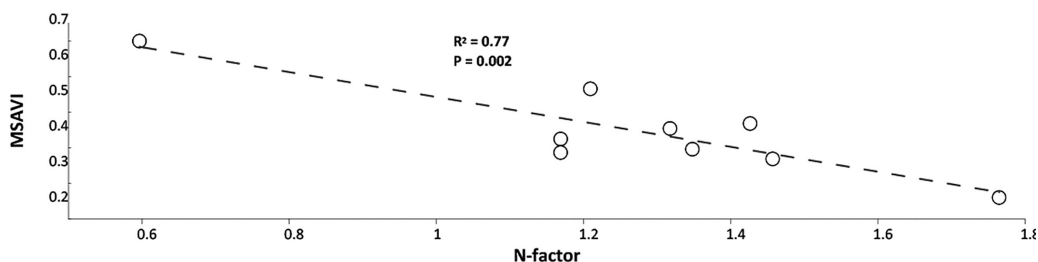
болон газрын гадаргын температурын харилцан уялдааг илэрхийлдэг юм. Өөрөөр хэлбэл газрын гадаргын дулаан тусгаарлагч болох ургамал болон цасан бүрхэвчийн нөлөө хэр байгааг тодорхойлох боломж олгодог [19].

Судалгааны цэгүүд дээр дулааны улиралд хамгийн өндөр TDD утгыг Т-10 цэгт 2708°C байгаа бол хамгийн бага нь Т-1 дээр 1174°C байна. Харин FDD утгын хамгийн бага нь Т-n цэгт -3020°C байсан бол хамгийн их нь Т-10 цэгт -1553°C тус

тус байна. Түүнчлэн тухайн утгуудын зөрүүнээс харахад Т-10 цэг цор ганц нэмэх буюу 1155°C гарч байгаа ба бусад цэгүүдэд бүгд сөрөг буюу -1510°C-ээс -225°C-ийн хооронд хэлбэлзэж байна.

N-факторын хувьд зуны улирлынх нь 0.6 – 1.76-ийн хооронд байгаа бол хүйтний улирлын N-фактор нь 0.49 – 1.52 тус тус байсан байна (Хүснэгт 5). Бид өөрсдийн гаргаж авсан тухайн утгуудыг шалгахын тулд дулааны улирлын N-факторыг MSAVI

индекс тэй харьцуулж үзсэн. Учир нь N-фактор утга нь ямар нэгэн байдлаар газрын гадаргын дулаан тусгаарлагч болох ургамал, цасан бүрхэвчтэй хамааралтай байдаг бол бидний сонгож авсан судалгааны талбайн цэгүүдийн утга ч мөн адил хамааралтай гарах эсэхийг шалгаж үзэх зорилготой байсан. Ийнхүү шалгалт хийж үзэхэд дээрх хоёр утгын  $R^2$  нь 0.77 буюу сайн гэж гарсан нь бидний таамгийг баталж өгсөн юм (Зураг 7).



Зураг 7. Дулааны улирлын N-фактор болон MSAVI хоорондын хамаарлын график.

## 5. ДҮГНЭЛТ

Бидний сонгож авсан Тэрхийн голын хөндийд байх цэвдгийн мониторинг цооногуудын улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гүнийг тогтоох мөн түүнчлэн тухайн талбайд байрлуулсан гадаргын болон агаарын температур хэмжигч багажуудын мэдээг ашиглан температур нь газарзүй болоод байгалийн хүчин зүйлстэй ямар хамааралтай байгааг тогтоох судалгаанаас дараах дүгнэлтүүд гарч байна. Үүнд:

- Цэвдгийн мониторинг цооногуудын улирлын хөлдөлт гэсэлтийн гүн нь дунджаар 2.8 – 6.22 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Мөн Тэрх ар цооногийн улирлын гэсэлтийн гүн жилд 5 см-аар нэмэгдэж байгаа бол Тэрх өвөр цооногийн улирлын хөлдөлтийн гүн жилд 12 см-аар буурч байгаа гэх үр дүнгүүд гарсан. Харин Тэрх хөндий цооногийн мэдээ улирлын гэсэлтийн дундаж гүн 2.8 м байдаг бөгөөд

гүний өсөлт болон бууралт төдийлөн ажиглагдаагүй байна.

- Гадаргын температур хэмжигч багажуудын жилийн дундаж утгыг газарзүйн хүчин зүйлстэй харьцуулж үзэхэд  $R^2$  нь 0.026 – 0.23-ийн хооронд харьцангуй сул хамааралтай гарсан. Харин ЗУГДТ-ын утгыг байгалийн хүчин зүйлстэй харьцуулж үзэхэд  $R^2$ -ийн утга 0.37 – 0.91-ийн хооронд буюу дунд болон өндөр хамааралтай гарсан байна.
- Гадаргын температур хэмжигч цэгүүдийн жилийн температурын агууригийг авч үзвэл хамгийн бага халалт үүсэж байгаа цэг нь ойд байрлах Т-1 буюу 34°C байсан бол хамгийн өндөр хэлбэлзэл буюу агууриг ихтэй байгаа цэг нь Т-5 дээр 55°C тус тус бүртгэгдсэн байна.
- Хамгийн өндөр TDD утгыг Т-10 цэгт 2708°C байгаа бол хамгийн бага нь Т-1 дээр 1174°C байна. FDD-

ийн хамгийн бага утга нь Т-н цэгт  $-3020^{\circ}\text{C}$  байсан бол хамгийн их нь Т-10 цэгт  $-1553^{\circ}\text{C}$  тус тус байна.

- Судалгааны талбайд байрлуулсан гадаргын болон агаарын температур хэмжигч цэгүүд дээр тооцоолсон TDD утгуудын мэдээнээс дулааны улирлын N-фактор утгыг гарган MSAVI индекстэй харьцуулж үзэхэд  $R^2$  нь 0.77 буюу сайн гэж гарсан нь цаашид энэхүү Үр дүнг ашиглан улирлын хөлдөлт гэсэлтийн судалгаанд ашиглах бүрэн боломжтойг илэрхийлж байна.

## ТАЛАРХАЛ

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

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. 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>
- [2]. Z.-L. Li et al., "Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives," *Remote Sens. Environ.*, vol. 131, pp. 14-37, Apr. 2013, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- [3]. F. Taripanah and A. Ranjbar, "Quantitative analysis of spatial distribution of land surface temperature (LST) in relation Ecohydrological, terrain and socio- economic factors based on Landsat data in mountainous area," *Adv. Space Res.*, vol. 68, no. 9, pp. 3622-3640, Nov. 2021, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2021.07.008>
- [4]. G. Gravis, "Geographic extent and thickness of permafrost," in *Geocryological conditions Mongolian Peoples Republic*, 1971, pp. 30-48.
- [5]. Я. Жамбалжав, Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт. Улаанбаатар хот, 2017.
- [6]. N. Sharkhuu and others, "Recent changes in the permafrost of Mongolia," in *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, AA Balkema Brookfield, Vt., 2003, pp. 2003-1029.
- [7]. M. Ibrahim and H. Abu-Mallouh, "Estimate Land Surface Temperature in Relation to Land Use Types and Geological Formations Using Spectral Remote Sensing Data in Northeast Jordan," *Open J. Geol.*, vol. 08, no. 02, pp. 174-185, 2018, <https://doi.org/10.4236/ojg.2018.82011>
- [8]. Е. Батчулуун, Монгол орны физик газарзүй, Анхны хэвлэл. Улаанбаатар: Мөнхийн үсэг ХХК, 2020.
- [9]. N. Sharkhuu, "Long-term monitoring of permafrost in Mongolia," presented at the *Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost*, Ulaanbaatar, Mongolia, 2011, pp. 22-26.
- [10]. А. Дашцэрэн, Хүйтэн мандал. Улаанбаатар хот: ТЭПЭ ХХК, 2018.
- [11]. Т. Khurelbaatar, D. Avirmed, S. Westermann, N. Nyam-Osor, and P. Tserengunsen, "Surface temperature

- analysis on the eastern shore of Khuvsgul Lake,” *Mong. J. Geogr. Geoecology*, pp. 195-202, 2022. <https://doi.org/10.5564/mjgg.v59i43.2527>
- [12]. The European Space Agency, “Sentinel 2 MSI user guide.” [Online]. Available: <https://sentinel.esa.int>
- [13]. Д. Амарсайхан, М. Ганзориг, А. Мөнх-эрдэнэ, and Д. Энхжаргал, Зайнаас тандах хиймэл дагуулууд болон төхөөрөмжүүд. Улаанбаатар хот, 2015.
- [14]. J. Qi, A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, and S. Sorooshian, “A modified soil adjusted vegetation index,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 48, no. 2, pp. 119-126, May 1994, [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)
- [15]. H. Xu, “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033, Jul. 2006, <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- [16]. B. Gao, “NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 58, no. 3, pp. 257-266, Dec. 1996, [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- [17]. Д. Төмөрбаатар, “Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг,” Улаанбаатар Урлах Эрдэм 155х, 2004.
- [18]. A. Klene, F. Nelson, and N. Shiklomanov, “The n-factor as a tool in geocryological mapping: seasonal thaw in the Kuparuk River Basin, Alaska,” *Phys. Geogr.*, vol. 22, no. 6, pp. 449-466, 2001. <https://doi.org/10.1080/02723646.2001.10642754>
- [19]. A. E. Klene, F. E. Nelson, N. I. Shiklomanov, and K. M. Hinkel, “The N-factor in Natural Landscapes: Variability of Air and Soil-Surface Temperatures, Kuparuk River Basin, Alaska, U.S.A.,” *Arct. Antarct. Alp. Res.*, vol. 33, no. 2, pp. 140-148, May 2001, <https://doi.org/10.1080/15230430.2001.12003416>