

БИЧИЛ БҮС НУТАГТ ЦЭВДГИЙН ТАРХАЛТЫГ ЗУРАГЛАХ НЬ

Х.Тэмүүжин¹, А.Дашицэрэн¹, Г.Уламбаяр¹

¹ ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Цэвдэг судлалын салбар
Э-шуудан: ochir.temka@gmail.com

ABSTRACT

The permafrost models are categorized according to temporal, thermal and spatial criteria, and their approach to defining the relationship between climate, surface conditions and permafrost status. In this study, we have been chosen two models which are TTOP (Temperature on Top of Permafrost) and empirical statistical modelling. Firstly, we estimated TTOP on the points of Ibutton which are measuring equipment of temperature, installed in the study area since 2015. After that we modeled permafrost distribution map by empirical statistical model using the TTOP values of Ibutton points. Permafrost existence has a strong correlation to the aspect, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and solar (average annual potential incoming solar radiation) variables. The NDMI (Normalized Difference Moisture Index), elevation and slope are not significantly correlated to permafrost existence.

Түлхүүр үгс: TTOP, modelling, цэвдэг, FDD, TDD

ОРШИЛ

Цэвдэг гэж тэг буюу түүнээс доош градус тус бүр ба түүнээс дээш жил орших хөрс чулуулгийг хэлдэг [1]. Дэлхийн 48 улсын газар нутагт цэвдэг нь ямар нэг хэмжээгээр тархсан байх бөгөөд 95 орчим хувь нь таван улсын газар нутагт тархсан байдаг. Цэвдгийн тархалтаар ОХУ, Канад, Хятад, АНУ-ын дараа тавдугаарт Монгол улс ордог [2].

Цэвдэг нь өөртөө их хэмжээний мөс, чийгийг агуулж байдаг бөгөөд Монгол орны томоохон голууд нь цэвдэгтэй өндөр уулын бүсээс эх авсан байдаг [3]. Энэ ч утгаараа цэвдэг нь ургамал ургах нөхцөл ус чийгийн горимыг тэнцвэржүүлэх зэргээр экосистемд эерэг нөлөө үзүүлдэг байна [4]. Харин цэвдгийн алдрал нь ургамлын төрөл зүйлийг багасгах, газрын доройтол, цөлжилт үүсэх нөхцөлийг бүрдүүлдэг. Манай орны цэвдэгт бүсэд орших олон тооны сум болон суурингийн дэд бүтэц, байшин барилга цэвдгийн сөрөг нөлөөллөөс болж эвдрэх, суулт, хotoйлт өгөх зэрэг шалтгааны улмаас ашиглах боломжгүй болж байна. Энэ нь манай орны нийгэм, эдийн засагт ихээхэн хохирол учруулдаг. Эдгээр сөрөг үзэгдлүүд нь ихэвчлэн тухайн газар нутгийн цэвдгийн нөхцөлийг буруу тооцсон эсвэл цэвдгийн тархалтыг бүрэн тооцоогүйтэй холбоотой байдаг.

ЗХУ болон БНМАУ-ын хамтарсан геокриологийн 1968-1970 оны экспедицийн судалгааны ажлын үр дүнгээр 1971 онд 1:1500000 масштабтай Монгол орны анхны геокриологийн зургийг зохиож байсан бол 1980-1990-ээд онд дотоодын эрдэмтэд янз бүрийн масштабтай бүс нутаг, улс орны хэмжээний цэвдгийн тархалтын зургийг хийж гүйцэтгэж байсан. Харин хамгийн сүүлд Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургийг 2016 онд хийж гүйцэтгэсэн байна [5]. Дээр дурдсан цэвдгийн тархалтын зургууд нь том масштаб (1:1 000 000-аас дээш)-тай, мөн цэвдэгт бүсийн тархалтыг хувиар илэрхийлсэн байдаг учир жижиг бүс нутагт цэвдгийн тархалтыг нарийн тодорхойлоход төвөгтэй байдаг. Өөрөөр хэлбэл хот, сум, суурингийн төвүүдэд байшин барилга, зам, гүүр гэх мэт бүтээн байгуулалтын ажлыг бичил районд төлөвлөсөн байдаг бөгөөд дээрх том хэмжээтэй зургууд нь масштабын хувьд бичил бүс нутагт судалгаа хийхэд тохирдоггүй. Мөн ингэж төлөвлөлт хийхдээ инженер геологи болон цэвдгийн судалгааг хийж олон тооны цооног өрөмдөх ёстой байдаг ба тус ажлыг хийхэд төсөв мөнгө, цаг хугацаа их шаарддаг. Өмнө нь Монгол оронд загварчлал болон хээрийн судалгааны материал дээр үндэслэн жижиг бүс нутгийн цэвдгийн тархалтын зураг хийж байсан туршлага байхгүй. Ийм учраас энэхүү судалгаагаар жижиг бүс нутгийн цэвдгийн тархалтын зургийг TTOP болон статистик загварчлал ашиглан зураглах зорилго тавьсан болно.

СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, АРГАЗҮЙ, АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

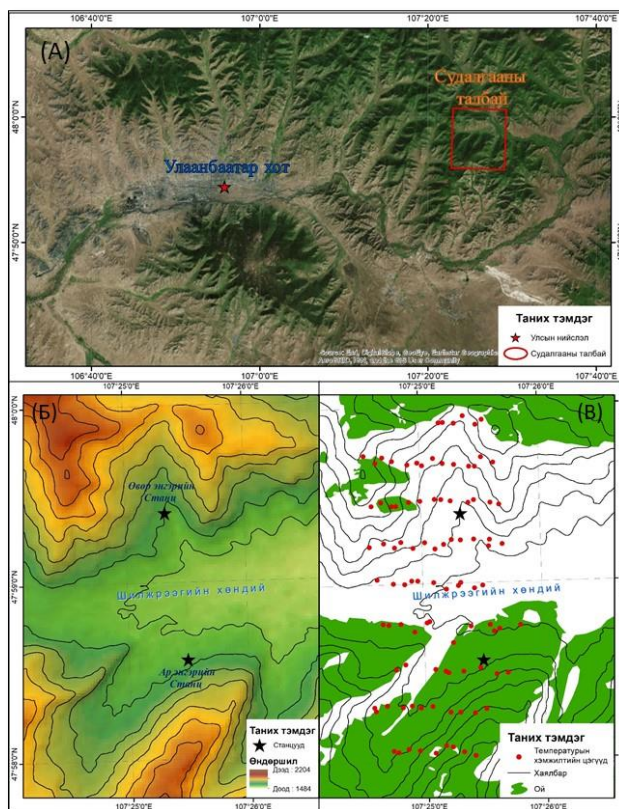
Судалгааны талбай.

Судалгааны талбай нь Улаанбаатар хотоос зүүн зүгт, ойролцоогоор 50 километр зайтай, Тэрэлж голын нэг цутгал болох Шилжрээгийн голын хөндийд байрлана (Зураг 1). Шилжирээ голын сав газарт экосистемийн хам бүрдлүүд маш бага талбайд хувьсан өөрчлөгддөг ба хойд энгэр нь тайгын шинэсэн ойгоор бүрхэгдсэн, харин бусад энгэрт тал, хээрийн ургамал давамгайлсан байдаг. Энэхүү судалгааны талбай болон ойр орчмын бүс нутаг нь Хэнтийн уулархаг бүс нутгийн цэвдгийн үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог бүслүүрүүдэд багтдаг тул цэвдэг нь арал хэлбэрийн тархалттай байна [6].

Ашигласан материал.

ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбар нь 2002 оноос хойш тухайн судалгааны талбай дахь өөр өөр байгалийн нөхцөл бүхий хоёр цэг талбайд иж бүрэн автомат цаг уурын станцууд ашиглан ул хөрс, уур амьсгалын хэмжилт судалгааг хийж байна (Зураг 1 в, б). Энэхүү станцууд нь нарны цацраг, салхины хурд, чиглэл, хур тунадас, агаарын температур, хөрсний температур, агаарын чийг, даралт гэх мэт параметруудийг хэмждэг. Мөн 2015 оноос Норвеги улсын Осло Их Сургуультай хамтран гадаргын температур хэмжигч (ibutton)-ийг судалгааны талбайд янз бүрийн байгалийн төрхтэй 100 цэг (ойтой, ойгүй, уулын ар, өвөр, хөндий, хад асга гэх мэт)-т байршуулан 4 цагийн давтамжтайгаар температурын хэмжилтийг хийж байна.

Энэхүү судалгаанд дээрх мэдээ материалуудаас гадна нэмэлтээр SRTM-ийн гуравдугаар үеийн 30 метрийн нарийвчлалтай өндрийн тоон загварын мэдээ, мөн Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын мэдээг ашигласан болно (Хүснэгт 1).



Зураг 1. (а) Судалгааны талбайн байршил, (б) Судалгааны талбайн өндөршил болон хоёр станцын байршил, (в) Ойн тархалт болон гадаргын температурын хэмжилт хийдэг цэгүүдийн байршил.

Хүснэгт 1. Судалгааны талбайн зарим цэгүүдийн хүснэгтэн мэдээлэл. Үүнд: FDD (Freezen degree days) гадаргын хоногийн хасах температурын нийлбэр, TDD (Thaw degree days) гадаргын хоногийн нэмэх температурын нийлбэр, Average – гадаргын жилийн дундаж температур, TTOP – тооцооллоор гаргаж авсан цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур, Slope - гадаргын налуу, SRTM - өндрийн тоон загвар, Solar - Боломжит ирж буй богино долгионт цацрагийн жилийн дундаж, Aspect – гадаргын зүг зовхис, NDVI – ургамлын нормчилсон индекс, NDMI – чийгийн нормчилсон индекс, PermaF – цэвдэг байгаа, цэвдэг байхгүй.

Нэр	FDD	TDD	Average	TTOP	Slope	SRTM	Solar	Aspect	NDVI	NDMI	PermaF
1	-1236	2723	4.3	3.6	18	1841	313	3	0.478	0.087	No
5	-1478	2388	2.5	2.0	23	1856	271	7	0.519	0.207	No
10	-1522	2564	2.8	2.3	16	1845	315	3	0.513	0.128	No
19	-1331	2812	4.0	3.6	23	1804	330	6	0.520	0.160	No
22	-1310	1349	0.0	-0.5	16	1870	298	2	0.552	0.366	Yes
23	-1162	1268	0.1	-0.2	19	1832	278	2	0.536	0.351	Yes
24	-1261	1323	0.0	-0.4	19	1832	261	2	0.533	0.321	Yes
26	-1465	2432	2.7	2.1	16	1750	307	3	0.541	0.149	No
42	-1784	2540	2.1	1.4	9	1645	315	3	0.454	0.023	No
50	-1992	2726	2.5	1.3	9	1613	316	4	0.468	0.012	No
70	-1500	1568	0.1	-0.5	4	1603	302	7	0.553	0.268	Yes
74	-1138	1125	-0.4	-0.5	8	1605	283	8	0.548	0.370	Yes
86	-1231	1321	0.1	-0.3	14	1653	274	8	0.548	0.357	Yes
107	-1479	1463	0.0	-0.7	16	1699	268	7	0.554	0.323	Yes
112	-1150	1112	-0.1	-0.6	21	1885	271	7	0.503	0.312	Yes
113	-2179	1311	-2.4	-3.4	13	1913	295	8	0.506	0.329	Yes

Судалгааны аргазүй.

Сүүлийн жилүүдэд дэлхийн улс орнуудын хэмжээнд цэвдгийн тархалтын зураглалд загварчлалын аргыг өргөн хэрэглэх болсон. Уулархаг бүс нутагт тархсан цэвдгийн тархалтын зураглалд олон шалгуурт аргазүйг (multi criteria approach) хэрэглэдэг. Энэхүү аргазүйг ажиглалт-туршилтын загварчлал (empirical statistical modelling), физик загварчлал (physical modelling, process based model)-ын аргазүй гэж хоёр ангилж үздэг [7].

Ажиглалт-туршилтын загварчлал нь байгалийн хүчин зүйлс болох өндөршил, зүг зовхис, налуу, агаарын болон гадаргын температур, нарны цацраг, газрын гадаргын бүрхэвч, хөрсний чийгшил зэргээс хамаарсан цэвдгийн тархалтыг зураглахыг хэлнэ. Харин физик загварчлал нь агаар мандал, цэвдэг хоёрын хооронд явагдах энергийн баланс дээр илүү төвлөрдөг байна.

Энэхүү судалгаанд дээрх хоёр аргыг аль алиныг нь ашиглаж судалгааны талбайн цэвдгийн зураглалыг хийсэн.

1. Физик загварчлалын аргазүй:

Тус судалгаанд физик загварчлалын нэг хэлбэр болох ТТОР буюу цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температурыг олох замаар цэвдгийн тархалтыг зурагладаг аргыг ашигласан. Энэ нь агаар мандал ба улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн давхаргад явагдах энергийн эргэлт дээр суурилсан загварчлалын аргазүй ба доорх тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ [5][7].

ТТОР загварчлалын үндсэн тэгшитгэл нь:

$$T_{TOP} = \frac{n_T TDD_A + n_F \frac{\lambda_T}{\lambda_F} FDD_A}{P}, \quad T_{TOP} \leq 0 \quad (1)$$

$$T_{TOP} = \frac{n_A \frac{\lambda_T}{\lambda_F} TDD_A + n_F FDD_A}{P}, \quad T_{TOP} > 0 \quad (2)$$

Үүнд:

T_{TOP} –

Цэвдгийн дээд хил дээрх жилийн дундаж температур, цэвдэггүй бүс нутагт улирлын хөлдөлтийн доод жилийн температур

n_T – дулааны улирлын N фактор

n_F – хүйтний улирлын N фактор

TDD_A – агаарын хоногийн дундаж нэмэх температурын нийлбэр, °C

FDD_A – агаарын хоногийн дундаж хасах температурын нийлбэр, °C

λ_T – гэсгэлэн хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $Wm^{-1}K^{-1}$

λ_F – хөлдүү хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент, $Wm^{-1}K^{-1}$

P – температур хэлбэлзлийн нэг үеийн хугацаа, хоног

2. Ажиглалт-туршилтын загварчлалын аргазүй:

Энэхүү аргазүй нь үл хамаарах ба хамаарах хувьсагчдын коэффициентуудыг олон логистик регрессийн загвар ашиглан тооцоолол хийхийг

хэлнэ. Өөрөөр хэлбэл цэвдэгтэй газар байгалийн ямар хүчин зүйлс илүү нөлөө үзүүлж байна тэрхүү хүчин зүйлс болон цэвдгийн харилцан хамаарал дээр үндэслэн цэвдгийн тархалтыг зурагладаг гэж хэлж болно. Тооцооллын эцсийн үр дүнгийн утга нь 0-ээс 1-ын хооронд хэлбэлзэх ба доорх алхамуудын дагуу тооцооллыг хийдэг.

Логистик регрессийн үндсэн тэгшитгэл нь:

$$\ln \left[\frac{P}{1-P} \right] = A + Bx + Cy \dots \quad (3)$$

бөгөөд үүнээс хувиргалт хийн дараах тэгшитгэлийг гарган авдаг.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-A - Bx - Cy \dots)} \quad (4)$$

Үүнд: p бол цэвдэг байх магадлал, A бол регрессийн тогтмол, B болон C нь регрессийн коэффициент, x болон y нь үл хамаарах хувьсагчид юм. Дээрх регрессийн тогтмол болон коэффициентуудыг олохын тулд статистик R програмын Rcmdr багцын Generalized linear model хэрэглүүрийг ашигласан. Энэ хэрэглүүр нь сонгож авсан хувьсагчдын коэффициентууд болон логистик регрессийн тогтмолыг олон гишүүнт шугаман регрессийн тэгшитгэлээс гаргадаг.

3. Бусад аргазүй:

Бидний судалгаа явуулж буй талбайд суурилуулсан 100 ширхэг Ibutton-ны мэдээнд анализ хийж тэндээс нийт 55-н цэгийн мэдээг сонгож авсан. Учир зарим цэгийн мэдээ алдаатай, эсвэл эвдэрсэн учир температурын мэдээний бүрэн цуваатай цэгүүдийг сонгож авсан болно (Зураг 1в). Сонгож авсан цэг тус бүрд газрын гадаргын FDD болон TDD-ыг томъёо 5 болон 6-ын дагуу тооцоолсон.

$$TDD = \int_1^{365} T_{0 \leq ^\circ C} dt \quad (5)$$

$$FDD = \int_1^{365} T_{0 \geq ^\circ C} dt \quad (6)$$

Харин агаарын температурын FDD, TDD утгуудыг дээр өгүүлсэн хоёр станцууд дээр тооцоолж, улмаар судалгааны талбай дахь Ibutton-ын цэгүүд дээр өргөтгөж ашиглав. Үүний дараагаар бид n_T болон n_F хоёрыг тооцоолон гаргасан.

$$n_F = \frac{FDD_s}{FDD_a}; \quad n_T = \frac{TDD_s}{TDD_a} \quad (7)$$

Хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентуудыг судлаач А.Дашцэрэнгийн тус судалгааны талбайд өмнө нь хийсэн судалгааны ажлын үр дүнгээс авч ашигласан [8]. Тус судалгаагаар ар хажуугийн болон өвөр энгэрийн станцууд дээр өвөл болон зуны улирлын хугацаанд тооцоолсон байдаг. Ар хажуугийн станцын хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициентын утга нь зуны улиралд 0.57 – 0.98 W/mK, өвлийн улиралд 0.8 – 1.14 W/mK хооронд

тус тус хэлбэлздэг бол өвөр энгэрийн станцад өвөл зуны хэлбэлзэл маш багатай 0.92 – 1.04 W/mK хооронд байна [8]. Энэхүү судалгаан дээрх дулаан дамжуулалтын коэффициентуудын дундаж утгуудыг авсан.



Зураг 2. Ibutton болон түүнийг суулгах үйл явц.

Ажиглалт-туршилтын загварт ашиглах мэдээллүүдээ зайнаас тандан судлалын програм хангамжууд болох ENVI 5.1, ArcGIS 10.1

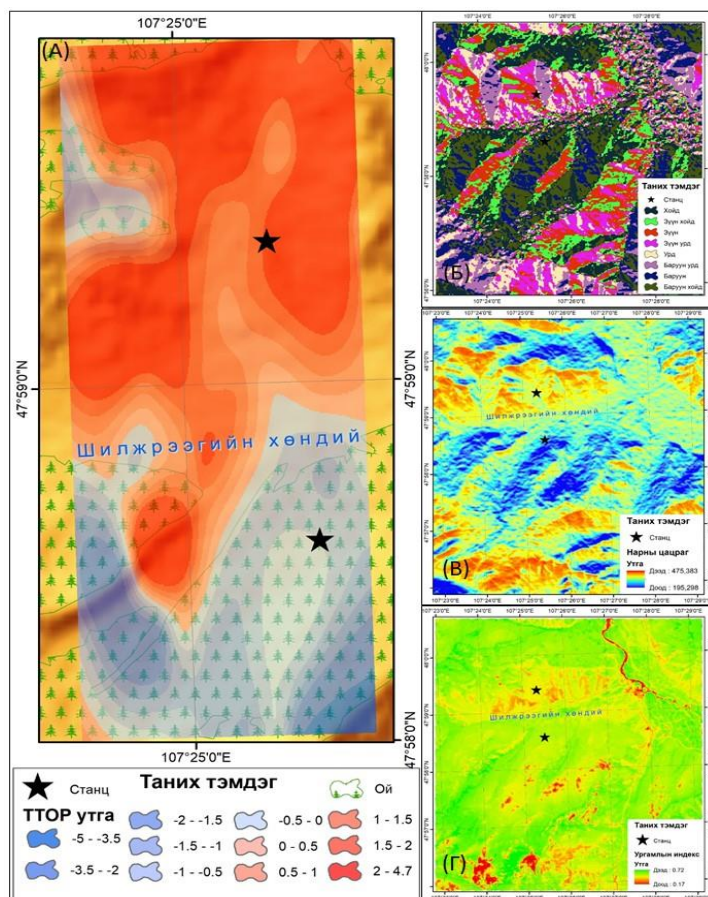
программуудыг ашиглаж, тооцоолол хийн гаргасан ба SRTM-ын 30 метрийн нягтшилтай өндрийн тоон загвар, Landsat 8 OLI зэрэг хиймэл дагуулын мэдээнүүдийг ашиглав. Өндрийн тоон загварын зургаас Solar radiation, Aspect, Slope зэрэг хүчин зүйлсийг бодуулсан бол Ландсат хиймэл дагуулын мэдээнээс NDVI, NDMI зэрэг индексүүдийг тооцоолсон.

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Судалгааны талбайд байршуулсан гадаргын температур хэмжигч цэгүүд дээр тооцоолсон ТТОР загварын үр дүн болон хоёр станцын бодит хэмжилтийн мэдээг харьцуулан шалгаж үзэхэд зөрүү маш бага байсан тул уг загварын үр дүнг цаашид ашиглаж болно гэж үзсэн. Жишээлбэл, өвөр энгэрийн станц (TG)-тай ойр орших 29-р цэгийг өвөр энгэрийн станцтай, ар хажуугийн станц (FA)-тай ойр орших 72-р цэгийг ар хажуугийн станцтай харьцуулсан (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Тооцоолсон болон бодит ТТОР утгуудын харьцуулалт.

Нэр	ТТОР	Нэр	ТТОР
TG	1.61	FA	-1.32
29	1.72	72	-1.13



Зураг 3. (а) – Цэгэн холболтын интерполяцын арга ашиглан гаргаж авсан судалгааны талбай орчмын цэвдгийн зураг, (б) – судалгааны талбай орчмын зүг зовхисын зураг, (в) – судалгааны талбай орчмын боломжит богино долгионт цацрагийн зураг, (г) – судалгааны талбай орчмын ургамлын нормчилсон индексийн зураг.

Үүний дараа гадаргын температурын хэмжилт хийсэн цэгүүд тус бүр дээр бодуулсан ТТОР загвараар гарсан үр дүнг цэгэн интерполяцын аргаар холбон цэвдгийн тархалтын зурагласан. Энэхүү зурагт цэвдгийн тархалтын үндсэн хандлага ажиглагдаж байсан ч нарийвчлал муу байв (Зураг 3, а). Энэ нь хэмжилтийн цэгүүд өөр хоорондоо хол байрладагтай холбоотой юм.

Цэвдэг нь ул хөрсний бүтэц, түүний ус чийгийн горимтой шууд холбоотой байдаг ч нөгөө талаасаа гадаргын нөхцөл, ургамал бүрхэвч, цасны зузаан, газрын хэвгий, нарны эзвэрлэлт зэрэгтэй нягт уялдаатай байдаг [3]. Иймээс бид ажиглалт-туршилтын загварыг ажиллуулахын тулд судалгааны талбай орчмын Solar radiation, Aspect, Slope, NDVI, NDMI зэрэг хүчин зүйлсийг доорх арга замуудын дагуу тооцоолсон. Зүг зовхисын зургийг гаргахдаа тооцоолол хийхэд тохиромжтой болгохын тулд хяналттай ангилал хийн 8 хуваасан. Үүнд хойд (337.5-22.5), зүүн хойд (22.5-67.5), зүүн (67.5-112.5), зүүн урд (112.5-157.5), урд (157.5-202.5), баруун урд (202.5-247.5), баруун (247.5-292.5), баруун хойд (292.5-337.5) гэж тус тус 8 ангилсан (Зураг 3, б). Харин ургамлын нормчилсон индексийн зургийг гаргахад Ландсат 8 хиймэл дагуулын 4 болон 5-р сувгийн мэдээг ашигласан (Зураг 3, г).

Судалгааны талбайн боломжит ирж буй жилийн дундаж нарны богино долгионт цацрагийн зургийг ArcGIS 10.1 програм дээр SRTM-ын 30 метрийн өндрийн тоон загварын мэдээг ашиглан тооцоолсон (Зураг 3, в).

Дээрх зургуудыг гаргаж авсны дараа статистикийн R 3.5.0 програм дээр логистик регрессийн тэгшитгэлийн тогтмол болон хувьсагчдын коэффициентуудыг олох тооцооллын үе шат эхэлсэн. Тухайн үе шатанд маш их хугацаа зарцуулсан бөгөөд бүх параметруудийг ашиглан тэгшитгэл гаргах нь боломжгүй гэдэг нь илэрхий байсан. Учир нь зарим параметрууд цэвдэг оршин байх нөхцөлтэй хамаарал сайтай байхаас гадна өөр хоорондоо түүнээс ч илүү хамаарал өндөртэй байсан нь тооцооллын эцсийн үр дүнг ямар нэг статистик ач холбогдол муутай болгож байсанд оршино (Хүснэгт 3), (График 1).

Иймд бид сонгож авсан хувьсагчдыг 5, 4, 3 гэсэн шатлалтайгаар бүлэглэж, логистик регрессийн

тэгшитгэлээр судалгааны эцсийн шатны үр дүнд нийцэх, хамгийн өндөр статистик ач холбогдолтой гурван хүчин зүйлсийг тооцоолж олсон. Энэхүү гурван хүчин зүйлс нь Aspect, NDVI болон Solar radiation байсан бөгөөд статистик ач холбогдол нь 0.0047 – 0.036 хооронд хэлбэлзэж байсан (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 3. Логистик регрессийн тооцооллоор гаргаж авсан утгууд болон статистик ач холбогдол.

	Estimated value	Pr(> z)
Reg.cons	-6.85705	0.62756
Aspect	0.48198	0.02683 *
NDVI	60.06236	0.03598 *
Solar	-0.0929	0.00468 **

Статистик ач холбогдлын үнэлгээ нь:

$0^{***}0.001^{***}0.01^{**}0.05^{*}0.1^{**}1$ гэсэн шатлалтай явдаг бөгөөд тэг рүү дөхөх тусам статистик ач холбогдол өндөр байна гэж үздэг. Энэхүү судалгаагаар гарсан утгууд нь статистик ач холбогдлын хувьд сайн болон дунд гэсэн үнэлгээтэй гарсан. Ийм төрлийн тооцооллын үр дүнг судлаач Bernd [9] цэвдэгтэй бүс нутагт ашигласан байдаг. Дээрх гурван параметрт суурилсан цэвдгийн тархалтын статистик загварчлалын үр дүн доорх томъёогоор илэрхийлэгдэх ба тус томъёог эцсийн бүтээгдэхүүн болох цэвдгийн тархалтын зургийг гаргахад ашигласан.

$$p = \frac{1}{1 + \exp(6.86 - 60.06 \cdot NDVI - 0.48 \cdot Aspect + 0.093 \cdot Solar + 6.86)} \quad (8)$$

Дээрх статистик загварчлалын үр дүн нь параметр бус буюу 0-ээс 1-ийн хооронд хэлбэлзэх бөгөөд 0-рүү дөхөх тутам цэвдэггүй, харин 1-рүү тэмүүлбэл цэвдэгтэй байх магадлал их гэж ойлгож болно.

Норвегийн эрдэмтэн Bernd Etzelmuller дээрх статистик загварчлалын үр дүнг доорх байдлаар ангилсан байдаг. Үүнд: 0 – 0.3 бол цэвдэггүй (unlikely permafrost), 0.3 – 0.45 бол цэвдэг тархах магадлалтай (possible permafrost), 0.45 – 0.6 бол цэвдэг тархах магадлал өндөр (probable permafrost), 0.6 – 1 бол цэвдэгтэй (permafrost exist) гэж тус тус ангилжээ[9] (Зураг 4). Энэхүү судалгаанд тус эрдэмтний ангилалыг авч ашигласан болно.

Хүснэгт 4. Ажиглалт-туршилтын загварт ашиглахаар сонгож авсан хувьсагчдын корреляц хамаарал.

Name	Aspect	NDMI	NDVI	Permafrost	Slope	Solar	Elevation
Aspect	1	0.159278	0.011332	-0.29706174	0.22161	-0.04766	0.126358
NDMI	0.159278	1	0.738948	-0.82399571	0.128164	-0.75434	0.262956
NDVI	0.011332	0.738948	1	-0.53847913	-0.20258	-0.61275	0.056895
Permafrost	-0.29706	-0.824	-0.53848	1	-0.05009	0.661044	-0.17248
Slope	0.22161	0.128164	-0.20258	-0.05009431	1	0.011911	0.794646
Solar	-0.04766	-0.75434	-0.61275	0.66104446	0.011911	1	-0.08638
Elevation	0.126358	0.262957	0.056895	-0.17248335	0.794646	-0.08638	1

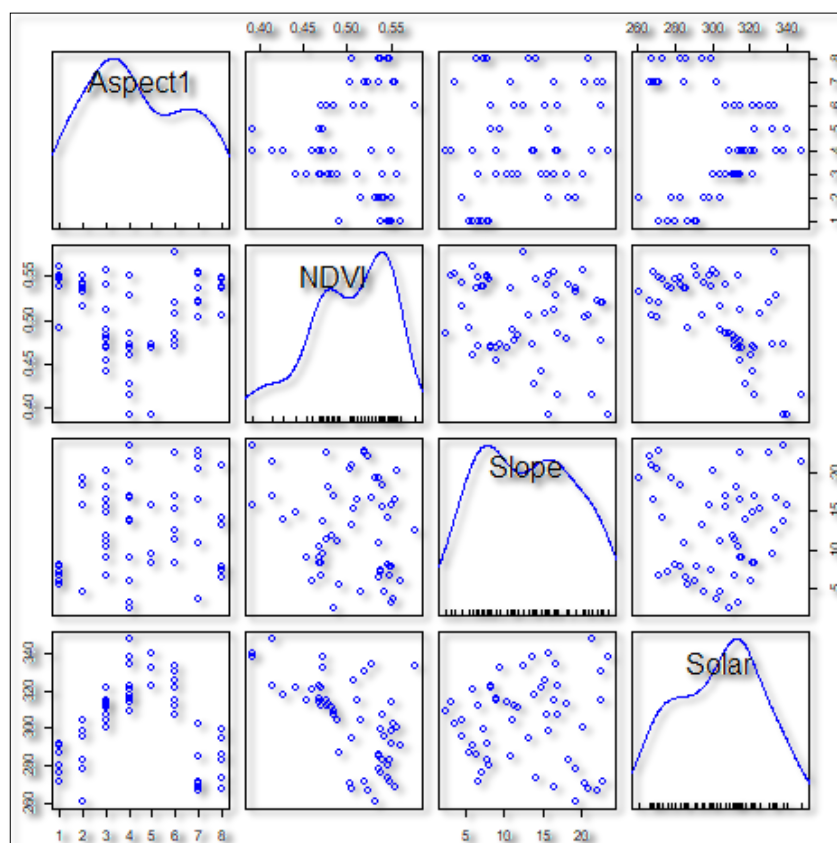
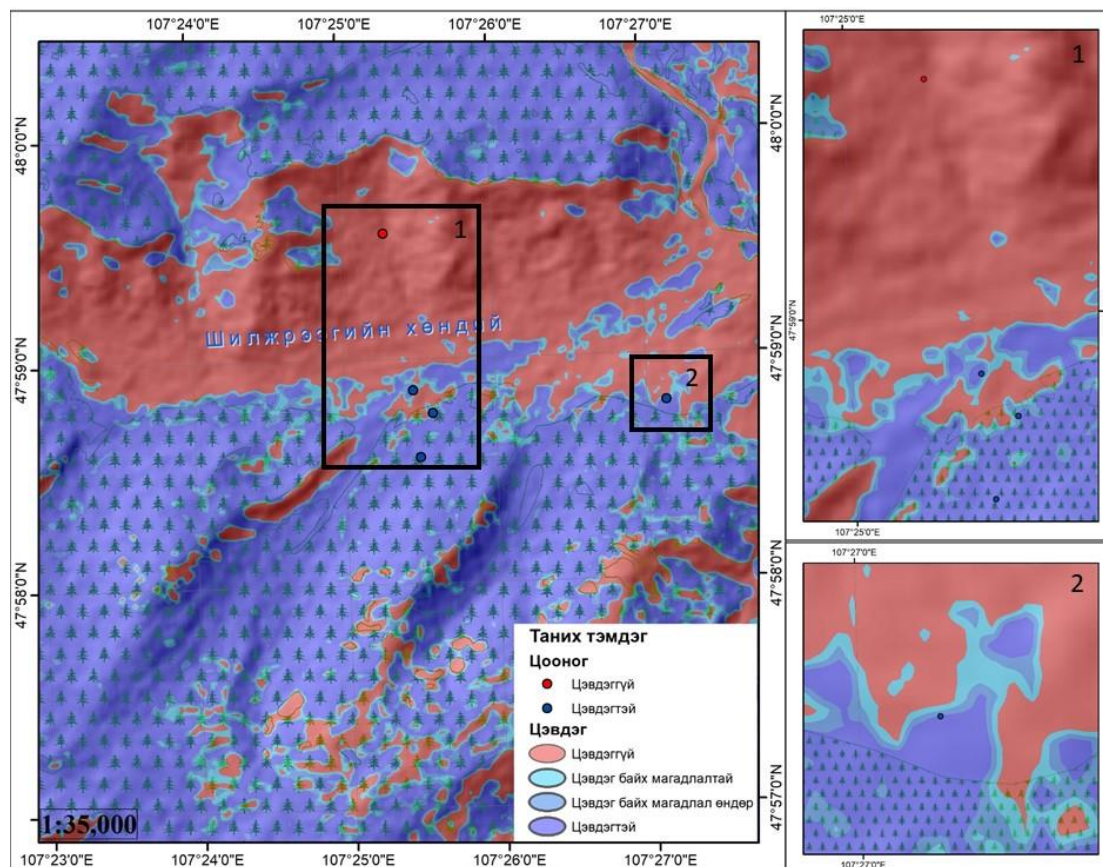


График 1. Судалгаанд ашиглагдсан зарим хувьсагчдын цэгэн тархалтын матриц график.



Зураг 4. Статистик загварчлалын аргаар гаргаж авсан судалгааны талбай орчмын цөвдгийн тархалтын зураг.

Дээрх ангиллын дагуу судалгааны талбай болон түүний ойр орчмын газар нутгуудын цэвдгийн зургийг зохиов (Зураг 4). Үр дүнгээс харахад цэвдэгтэй талбай нь ой мод, уулын ар хажуу эсвэл чийг намагтай голын хөндийгөөр тархсан байгаа бол цэвдэггүй талбай нь хуурай, чийг багатай өвөр болон бусад энгэрээр тархсан байна. Монгол орны ойт хээрийн бүсийн цэвдгийн тархалтын шинж чанарыг судлаач M.Ishikawa[10], Dashsteren [3] нарын тодорхойлсноор энэхүү бүс нутагт цэвдэг нь хөндий хотосын төв хэсгийн чийг намагтай хэсэг, уулын ар хажуугийн шилмүүст ойн доор ихэвчлэн тархсан байдаг гэж тодорхойлжээ. Бидний судалгаагаар гарсан цэвдгийн тархалтын зураг нь өмнөх судлаачдын тодорхойлолттой нийцэж байгаа тул энэхүү судалгааны үр дүн үнэмшил сайтайг илэрхийлж байна.

Түүнчлэн статистик загварчлалын аргаар гаргаж авсан судалгааны үр дүнг судалгааны талбай дотор, түүний ойролцоо орших уулсын өвөр, ар хажууг төлөөлж чадах 5 цооногийн гүний температурын мэдээтэй харьцуулж үзэхэд таарц 100 хувь буюу бодит байв. Энэ нь судалгааны үр дүн бодит байдалд маш сайн дөхсөнийг баталж байна.

Цэвдэг нь газрын гүнд байрладаг учир бусад байгалийн бүрдэл хэсгүүд (ургамал, цас, хөрс, цөлжилт г.м)-ыг бодвол зураглал хийхэд төвөгтэй байдаг. Иймээс ямар нэг орон зайд түүнийг зураглахад ихээхэн ярвигтай. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд ТТОР загварыг өргөн уудам бүс нутаг болон бодит хэмжилтийн мэдээний нягтшил сайтай газар нутгуудад ашиглах боломжтой бол статистик загварчлал нь байгалийн хүчин зүйлс (aspect, NDVI болон solar radiation г.м) дээр суурилсан учир бичил орон зайд ашиглах ба масштабын хэмжээг 1:2500 хүртэл буулгах боломжтой нь харагдсан. Ийнхүү статистик загварчлалын аргазүйг ашиглан цэвдгийн тархалтын зургийг илүү нарийвчлал сайтай болгох боломжтой болсон нь энэхүү судалгааны дэвшилтэт, шинэлэг тал юм.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар Монгол оронд өмнө нь хийж байгаагүй бичил бүс нутгийн цэвдгийн тархалтын зургийг зохиосон нь энэ судалгааг бусдаас шинэлэг болгож байгаа юм. Бичил бүс нутгийн цэвдгийн тархалтын зураглал хийхэд цэвдгийн загварчлалын физик болон ажиглалт-туршилтын загварчлал гэсэн хоёр аргазүйг ашигласан. Физик загварчлалын аргазүйгээр цэвдгийн дээд хилийн температурыг судалгааны талбай дээр суурилуулсан багаж тоног төхөөрөмж, хээрийн хэмжилтийн үр дүн дээр тулгуурлаж гаргасан. Харин ажиглалт-туршилтын загварчлалын аргазүйгээр цэвдгийн тархалтыг зураглахдаа физик загварчлалын үр дүн болон зайнаас тандах аргаар гаргаж авсан мэдээллийг хослуулан эцсийн шатны зургийг гаргаж авсан.

Статистик загварчлалын аргаар гаргаж авсан бичил бүс нутгийг хамарсан цэвдгийн тархалтын зургийг судалгааны талбайд байрлах цооногуудын температурын хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулахад энэхүү зураг нь судалгааны хэрэгцээ, шаардлагыг бүрэн хангасан, үнэмшил сайтай зураг болох нь батлагдав. Тус загварчлалд ашигласан материалууд нь 15–30 метрийн нарийвчлалтай тул бичил бүс нутгийн цэвдгийн тархалтын зураглал хийхэд тохиромжтой.

Харин ТТОР загвараар том орон зайн цэвдгийн тархалтын зургийг зураглах нь тохиромжтой гэдэг нь харагдав. Учир нь ТТОР загвар нь тодорхой зааж өгсөн цэг эсвэл талбайд тооцоолол хийдэгт оршино.

Энэхүү судалгаанд ашигласан аргазүйгээр цэвдгийн тархалтыг зурагласнаар эдийн засгийн болон цаг хугацааг хэмнэх боломж бүрдэх юм. Мөн бичил бүс нутгийн цэвдгийн тархалтыг шууд мэдэх боломжтой бөгөөд ингэснээр инженерийн барилга байгууламжид үзүүлэх цэвдгийн сөрөг нөлөөллөөс урьдчилан сэргийлэх боломжтой.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлын туршид буюу хээрийн судалгаа, гүйцэтгэлийн явцад өөрийн цаг хугацааг зарцуулан үнэтэй зөвлөмж, санал, шүүмж өгч байсан ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын хамт олондоо талархан цаашдын эрдмийн их ажилд нь амжилт хүсье.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Hugh M.French. 2007. The Periglacial Environment.
- [2] Brown, J., O.J. Ferrians, Jr., J.A. Heginbottom, and E.S. Melnikov, eds. 1997. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Washington, DC: U.S. Geological Survey in Cooperation with the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources. Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000.
- [3] A.Dashtheren, M. Ishikawa, Y. Iijima, Ya. Jambaljav. 2014. Temperature Regimes of the Active Layer and Seasonally Frozen Ground under a Forest-Steppe Mosaic, Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes* 25, (4):295-306.
- [4] Meixue Yang, Shaoling Wang, Tandong Yao, Xiaohua Gou, Anxin Lu and Xuejun Guo. 2004. Desertification and its relationship with permafrost degradation in Qinghai-Xizang (Tibet) plateau. *Cold region Science and Technology*, 39, 47-53.
- [5] Я. Жамбалжав, Я. Гансүх, Х. Тэмүүжин. 2016. Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураглал боловсруулах ажлын тайлан, Улаанбаатар хот.
- [6] Я. Жамбалжав, Я. Гансүх. 2015. Мөнхцэвдэг, улирлын цэвдгийн үндсэн шинж, Тэрэлж голын сав газар, геосистем.
- [7] Riseborough D, Shiklomanov N, Etzelmuller B, Gruber S, Marchenko S. 2008. Recent Advances in Permafrost Modelling. *Permafrost and Periglacial Processes* 19, 137-157.
- [8] A.Dashtheren. 2015. Study on the ground thermal regimes under a forest-steppe mosaic in the area of discontinuous permafrost, Mongolia. *Division of Earth System Science Graduate Scholl of Environmental Science Hokkaido University*. Doctoral Thesis.
- [9] Etzelmuller B, Eva S. Flo Heggem, N.Sharkhuu, Regula Frauenfelder, Andreas Kaab, Clyde Goulden. 2006. Mountain Permafrost Distribution Modelling using a Multi-criteria Approach in the Hovsgol Area, Northern Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes* 17, 91-104.
- [10] Ishikawa M. Sharkhuu N. Zhang Y. Kadota T. Ohata T. 2005. Ground thermal and moisture conditions at the southern boundary of discontinuous permafrost, Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes* 16, 209-216.