



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 23 (1)

ISSN: 2312-8534

2023

Улаанбаатар хот 2023

Монгол Алтайн Цамбагарав уулын мөстлийн орчин үеийн динамик, ус зүйн системийн харилцан хамаарал

Modern dynamics of Tsambagarav mountain glaciers and interrelationships of hydrological systems, Mongol Altay Mountain, Western Mongolia

© Цогоо Билгүүн¹, Доржсүрэн Батсүрэн^{1*} Дэмбэрэл Отгонбаяр², Мөнхбат Баярмаа²

Bilguun Tsogoo¹, Batsuren Dorjsuren^{1*}, Otgonbayar Demberel², Bayarmaa Munkhbat²

¹Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухаан Инженерчлэлийн Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

²Ховд аймаг дахь салбар сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

¹Department of Environmental and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

²Department of Geography and Geology, Branch school of National University of Mongolia, Khovd, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: Batsuren@num.edu.mn

*Corresponding author: Batsuren@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2023.02.27

Засварласан: 2023.04.13

Зөвшөөрөгдсөн: 2023.04.17

Хураангуй

Дэлхийн дулаарлын нөлөөгөөр керисоферт ихээхэн өөрчлөлтүүд илэрч байгаагийн нэг жишээ нь мөстөл, мөсөн голын хайлалтын үйл явц юм. Мөс нь цэвэр усны нөөцийг агуулж экосистемийн тэнцвэрт байдлыг хадгалахын зэрэгцээ уур амьсгалын өөрчлөлтийн гол илтгэгч болдог онцлогтой. Ялангуяа хуурай, хагас хуурай бүсийн өндөрлөг уулсын бүсэд орших мөстлийн өөрчлөлт нь экосистем болон байгаль орчинд асар их нөлөөтэй байдаг. Энэ судалгаагаар Монгол Алтайн нурууны мөстлийн томоохон цогцолборын нэг болох Цамбагарав уулын орчин үеийн мөстөл, түүний талбайн өөрчлөлт, хайлалтад нөлөөлөх хүчин зүйл, түүний үр дагаврыг Зайнаас тандан судлалын аргазүй, Чиг хандлагын шинжилгээ (МК), статистик шинжилгээний аргуудаар тодорхойлсон. Цамбагарав ууланд 2022 оны байдлаар 59.7 км² мөстөл бүхий талбайны 90 гаруй хувь нь 3500 метрээс дээш өндөрт төвлөрч байна. 1969-2022 оны хооронд буюу сүүлийн 53 жилд нийт талбай нь 42.4 %-ар алдралд оржээ. МК шинжилгээгээр зүг зовхисын хувьд агаарын температур хойд ($Z=2.54$), зүүн хойд ($Z=2.31$) зүгүүдэд агаарын температур хамгийн их нэмэгдсэн бол хур тунадас хойд ($Z=-0.29$), зүүн хойд ($Z=-0.98$) буурч бусад Цамбагарав уулыг зүгүүдэд өсжээ. Тодруулбал 2012 оноос эхлэн агаарын температур нэмэгдэхийн зэрэгцээ хур тунадас аажим өсөх хандлага ажиглагдав. Хойд хэсгийн Нурган нуурын талбай тогтмол өсөх хандлагатай бол, Өмнө хэсгийн Ногоон нуурын талбай 1969-1990 он хүртэл буурч, түүнээс хойших хугацаанд өсөх хандлага илэрсэн. Мөстөл хайлж, мөсөн голуудын талбайн хэмжээ багасахын хэрээр нууруудын талбай нэмэгдэх хандлага нь хоорондоо шууд хамааралтай байв. Гэвч цаашид энэ уулсаас эх авах голуудын урсац нэмэгдэх, нуурын усны эзлэхүүн нь нэмэгдэж мөстлийн гаралтай жижиг нууруудын задралын үер үүсэх зэрэг уур амьсгалын өөрчлөлтөөс үүдсэн байгалийн гамшигт үзэгдлүүд нэмэгдэх эрсдэл нэмэгдэж байна.

Түлхүүр үгс: Зүг зовхис, Уур амьсгалын өөрчлөлт, Нуурын талбайн өөрчлөлт, Гадаргын хэвгий, Хур тунадас, Агаарын температур

Abstract

One of the major changes in the cryosphere due to warming is the melting of ice sheets and glaciers. Ice contains freshwater resources, maintains the ecosystem's balance, and is a key indicator of climate change. In particular, changes in glaciation in the highlands of arid and semi-arid regions significantly impact ecosystems and livelihoods. Therefore, in this study, the modern glacier of Mount Tsambagarav, one of the major glaciation complexes of the Mongolian Altai Mountains, and the factors and consequences affecting its area change and melting were determined using remote sensing, trend analysis, and statistical methods. As of 2022, Tsambagarav Mountain has 59.7 km² of ice, more than 90 percent concentrated at an altitude of more than 3500 meters. Between 1969 and 2022, or in the last 53 years, the total area has increased by 42.4%. According to MK analysis, air temperature increased

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Ц.Билгүүн, Д.Батсүрэн: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, Ц.Билгүүн: Өгөгдөл цуглуулалт, боловсруулалт Д.Отгонбаяр, М.Баярмаа: Үр дүнгийн хяналт.

2312-8534/© 2023 Зохиогчийн бүх эрх хуулиар хамгаалагдсан.

the most in the north ($Z=2.54$) and northeast ($Z=2.31$) regions. At the same time, precipitation decreased in the north ($Z=-0.29$) and northeast ($Z=-0.98$) and increased in other regions of Tsambagarav mountain. In general, starting in 2012, there has been a tendency to increase precipitation and gradually increase air temperature. While the area of Nurgani Lake in the northern part is constantly increasing, the area of Green Lake in the southern part decreased in 1969-1990, but it is showing a tendency to increase again. As the ice melts and the area of glaciers decreases, the area of lakes increases. However, it also increases the risk of catastrophic phenomena caused by climate change, such as the increase in the flow of source rivers and the increase in the volume of lake water, which will cause the collapse of small lakes of glacial origin.

Keywords: Exposition, Climate change, Lake area change, Slope, Precipitation, Air temperature

Оршил

Уур амьсгалын өөрчлөлт, дулаарал нь дэлхийн өнцөг булан бүрд мэдэгдэхүйц нөлөө үзүүлж байгаа бөгөөд National Oceanic and Atmospheric Administration (2022)-ийн тайланд дурдсанаар температур XX зууны дунджаас 0.86°C , 1880 оны үеэс 1.06°C -ээр дулаарсан (Masson et al., 2022). Энэхүү өөрчлөлт нь тухайн бүс нутгийн байгаль, нийгэм, эдийн засаг, эрүүл мэнд зэрэг олон салбарт нөлөөлж байна (Hoegh et al., 2019). Тухайлбал дэлхийн дулаарал нэмэгдэж байгаатай уялдан мөсөн бүрхцэд хайлалтын эрчимжил нэмэгдэж, талбайн хэмжээ нь буурсаар байна (Bantsev et al., 2019; Golledge et al., 2019). Мөнх цас мөс хайлснаар голуудын усны түвшин түр хугацаанд нэмэгдэх боловч цаашлаад усны нөөц хомсдох, экосистемийн тэнцвэрт байдал алдагдах зэрэг асуудлуудыг дагуулдаг (Feyisa et al., 2014). Цэвэр усны нөөцийнх нь тодорхой хувь нь мөнх цас, мөсөн голоос бүрдэж байдаг эх газрын төв хэсэг нь энэхүү нөлөөнд хамгийн мэдрэмтгий байдаг (Woolway et al., 2020).

Энэ газрын томоохон төлөөлөл болсон эрс тэс уур амьсгалтай Төв Азийн хуурай, хагас хуурай бүс нутаг уур амьсгалын өөрчлөлтөд хурдацтай өртөж байна (Luo et al., 2019). Ялангуяа Төв Азийн гадагш урсгалгүй ай савд багтах Алтай Саяны эко бүс нутаг болон нууруудын системд өөрчлөлт хүчтэй илэрч байна (Borodavko et al., 2018). Тухайлбал Алтайн нурууны бүс нутгийн мөстөл 1995-2008 онд хамгийн их буурсан байна (Svendsen et al., 2002).

Монгол орон нь дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлтөд эрчимтэй өртөж буй 10 орны нэг юм (Borodavko et al., 2018). Монгол орны баруун хэсгээр дунд хугацаанд хийсэн судалгааны дүн шинжилгээнээс харахад 1940 - 2017 оны хооронд агаарын дундаж температур 2.08°C -аар нэмэгдсэн байна (Borodavko et al., 2018; Khishigsuren, Bayasgalan, 2007). Энэхүү дулаарлын нөлөөгөөр хуурайшилт эрчимжиж жилд унах хур тунадасны хэмжээ 7 %-ар буурахын зэрэгцээ энэ бүс нутгийн мөнх цас мөсөн голын талбайн хэмжээ багассаар байна (Agatova et al., 2022; Dmitry et al., 2022; Ganyushkin et al., 2016).

Монгол Алтайн нуруунд Монгол орны нийт мөнх цас, мөсөн голын 96 % нь төвлөрөх ба баруун хэсгийн Төв Азийн гадагш урсгалгүй гол мөрний усны тэжээлийн 50-70 хувийг мөнх цас, мөснөөс хайлсан ус эзэлдэг байна (Tugjamba, 2021). Усны нөөц багатай Монгол орны хувьд орчин үеийн мөстөл нь Төв Азийн усны нөөцөд, мөн бүс нутгийн экологи, нийгэм, эдийн засгийн хөгжилд нэн чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Orkhonselenge, Harbor, 2018). Өндөр уулын цас, мөсөн голын усны тэнцвэрийг ойлгох нь дэлхийн цаг уурын өөрчлөлтийн хүрээнд усны менежментийн түлхүүр юм (Khishigsuren, Bayasgalan, 2007). Мөсөн голын хайлалт хуримтлалд түүний орших өндөр, зүг зовхис, налуу зэрээсээ хамааран харилцан адилгүй байдаг (Tsutomu, Gombo, 2007). Монгол орны нийт мөстлийн 61% нь уулын ар хажуудаа орших бөгөөд морфологийн хувьд уулын болон холимог хэлбэртэй - 87%, хөндийн - 9.2%, хавтгай оройн - 3.8% байна (Ganyushkin et al., 2016).

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас мөнх цас, мөсөн голын талбайн өөрчлөлт тэдгээрийн эко системд үзүүлэх нөлөөллийг судлах шаардлагатай мониторингийн нэг талбай нь Их нууруудын хотгорын баруун хойд захад орших Цамбагарав уулын бүс юм (Ganyushkin et al., 2016). Монгол орны орчин үеийн мөстөл бүхий уулсаас талбайн хэмжээгээрээ Таван Богдын дараа ордог мөстлийн томоохон цогцолбор юм (Dmitry et al., 2022; Ganyushkin et al., 2016). Энэхүү бүсэд нь өндөр уулын бүсэд хамаарах бөгөөд уулын хээрийн бүдүүн ялзмагт хөрсний хэв шинж голлодог. Өндөр уулын бүслүүрт өвөл 1-р сарын температур -20°C -аас хүйтэн, зун 7-р сарын температур $+10^{\circ}\text{C}$ -аас сэрүүн байх бөгөөд жилд 400 мм-ээс илүү тунадас унадаг (Ganyushkin et al., 2016).

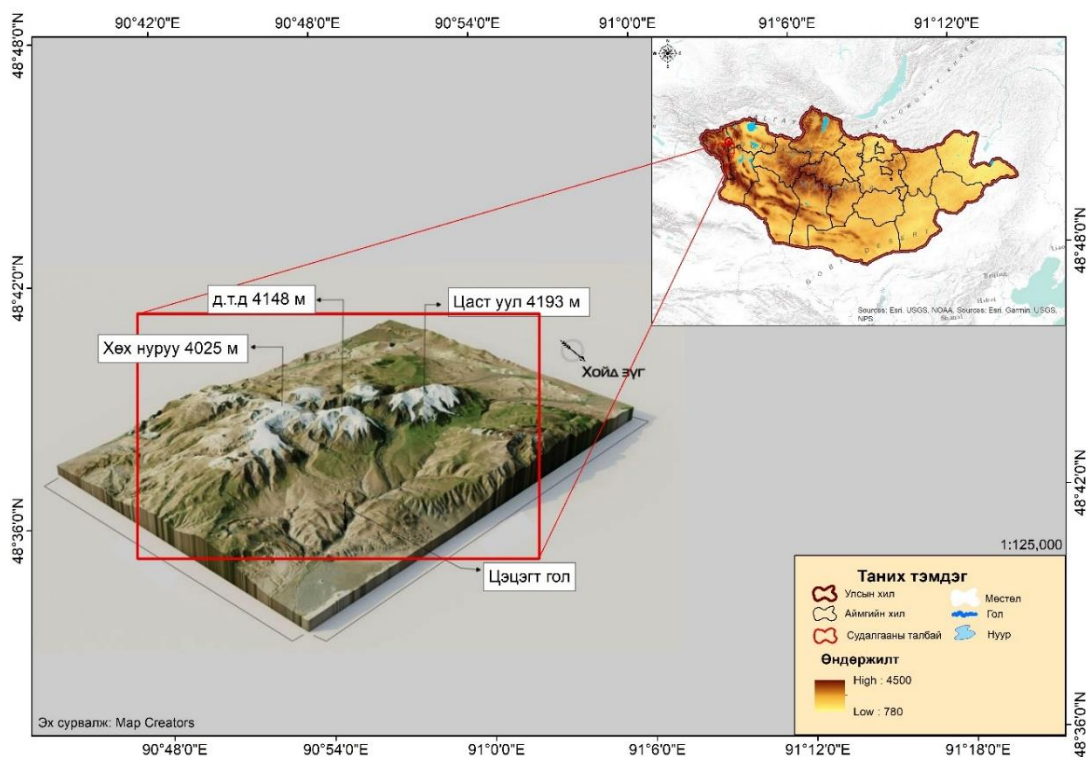
Цамбагарав уулын орчин үеийн мөстлийн талбайн хэмжээ 1977 онд 132.24 км^2 байсан ба 2017 онд 63.92 км^2 болж буурсан ба цаашид талбайн хэмжээ буурах хандлагатай байна (Davaagatan, Orkhonselenge, 2020). Дулаарлын нөлөөгөөр мөстөл хайлах, мөсөн голын давхаргын гулсалт, мөстлийн гаралтай нуурууд задрах, үер үүсэх зэрэг аюулт үзэгдлүүдийн давтамж

нэмэгдэж байна. Мөстлийн талбайн өөрчлөлтийн харьцуулсан судалгаанууд цөөнгүй хийгдсэн боловч уур амьсгалын өөрчлөлтийн улмаас мөстлийн талбайн өөрчлөлт гадаргын усанд нөлөөлөх нөлөөлөл, тэдгээрийн хоорондын хамаарлын талаар судлах зайлшгүй шаардлагатай байна.

Энэхүү судалгааны ажлаар Монгол Алтайн нурууны Цамбагарав уулын мөстлийн талбайн өөрчлөлт түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлс болон мөстлийн гаралтай нууруудын талбайн өөрчлөлтийн харилцан хамаарлыг тодорхойлох юм. Дээрх зорилгын хүрээнд (i) мөстлийн талбайн өөрчлөлтийг тооцох, (ii) мөстлийн талбайн өөрчлөлтөд нөлөөлөгч хүчин зүйлүүдийн анализ хийх, (iii) мөстлийн гаралтай нуурын талбай болон мөстлийн талбайн өөрчлөлтийн хамаарлыг гаргах, зэрэг зорилтуудыг дэвшүүлэв.

Судалгааны материал, аргазүй

Цамбагарав уул нь Ховд аймгийн Эрдэнэбүрэн сум, Баян-Өлгий аймгийн Алтанцөгц, Баяннуур сумдын заагт Х.Ө 48° 36' 21.2" З.У 90° 53' 13.7" газарзүйн солбилцолд байрлана. Цамбагарав уулын зангилаа нь Цаст уул, Хөх нуруу, Ямаат уул хэмээх 3 уулсаас бүрдэх ба Монгол Алтайн нуруу төв хэсэгт Их нууруудын хотгортой хиллэдэг (Bantsev et al., 2019). Хойд болон зүүн хойд талаараа Баяннуурын хөндий, баруун хойд талдаа Олон нуурын хөндийд төгсдөг (Зураг 1).



Зураг 1. Цамбагарав уулын газарзүйн байршил

Мөсөн голын 7 цогцолбор бүхий Цамбагарав уул нь бусад мөстлийн төвүүдийг бодвол мөсөн голын дундаж хэмжээ нь харьцангуй том, хавтгай оройн хэв шинжийн мөсөн голуудын хамгийн өргөн тархсан зэрэг онцлогтой (Agatova et al., 2022). Энэ бүс нутагт ус зүйн сүлжээ элбэг Намарзан, Ямаат, Хонгор-Өлөн, Баян гол зэрэг голууд эх аван урсаж Ховд голд цутгах бөгөөд мөстлийн гаралтай жижиг нууруудтай, ус зүйн хувьд Ховд гол-Хар ус нуурын ай савд харьяалагддаг (Agatova et al., 2022).

Агаарын жилийн дундаж температур -5.6°C , өвлийн дундаж -22.3°C , зуны дундаж 16.5 ба 16.6°C байдаг (Dmitry et al., 2022; Ganyushkin et al., 2016). Эрс тэс хуурай уур амьсгалтай Алтайн өндөр уулын бүс нутаг нь өвлийн улиралд Азийн антициклоны нөлөөнд орших тул тунадас маш бага, хур тунадасны 70 орчим хувь нь зуны улиралд ордог, жилийн дундаж хур тунадас 87 ба 78 мм, фирнийн хилд 270 мм орчим тунадас ордог (Agatova et al., 2022; Bantsev et al., 2019; Ganyushkin et al., 2017). Цамбагарав уулын орчин үеийн мөстөл нь Голоцений дунд үед үүссэн,

хавтгай оройн хэв шинжийн мөсөн голууд өргөн тархсан бөгөөд нийт мөстлийн талбайн 40 орчим хувийг эзэлдэг (Herren et al., 2013).

Судалгааны материал, аргагүй

Хиймэл дагуулын мэдээ

Хиймэл дагуулын мэдээлэл нь мөнх цас болон мөсөн голуудын өөрчлөлтийг зураглахад чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Schneider, 2012). Ландсат хиймэл дагуулын мэдээний цаг хугацааны шийд нь 16 хоног ба орон зайн өндөр нарийвчлалтай, гадаргын шинж чанарыг шинжлэхэд тохиромжтой учир хүрээлэн буй орчны судалгаанд өргөнөөр ашиглагдаж байна (Weng, 2009). Цамбагарав уулын мөстлийн талбайг тооцоолоход USGS (Global Visualization viewer) (<http://glovis.usgs.gov/>) –с Ландсат 5 TM, Ландсат 8 OLI хиймэл дагуулын 1991, 2000, 2011, 2022 оны мэдээ болон Монгол орны 100,000 байр зүйн зураг зэргийг ашигласан (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Хиймэл дагуулын мэдээ

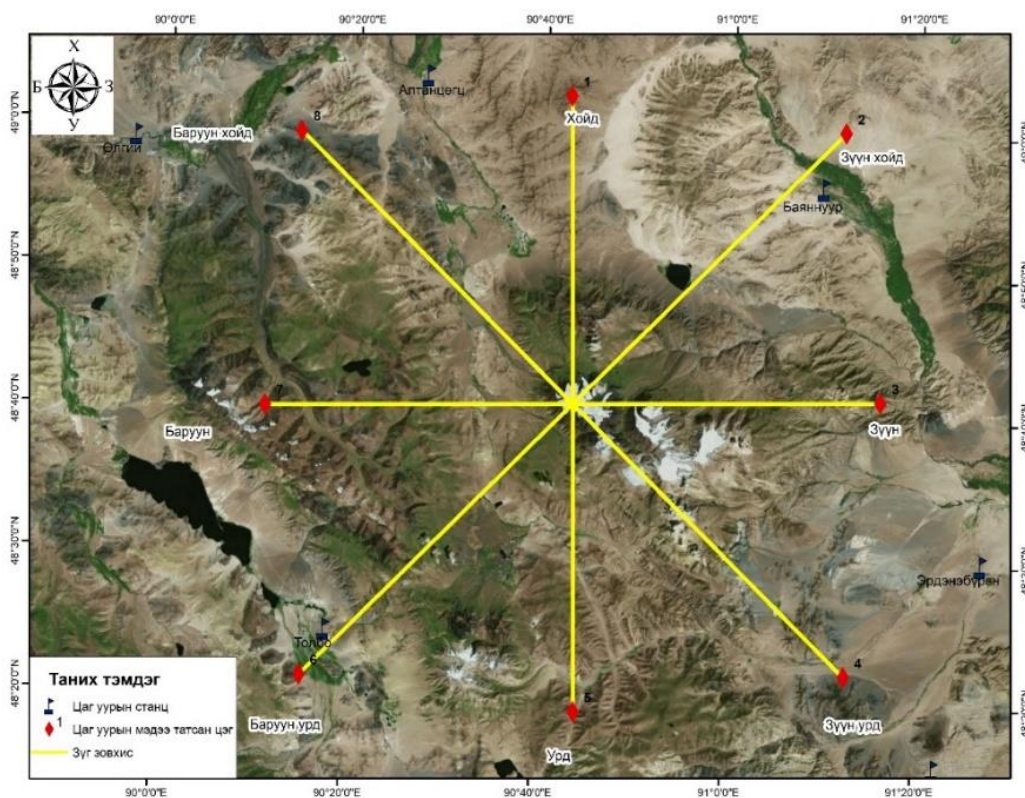
Мэдээ	Хугацаа	Огноо	Нягтшил
Топо map	1969		1000м
Landsat 5 TM	1991	1991.08.09	30м
Landsat 5 TM	2000	2000.09.18	30м
Landsat 5 TM	2011	2011.08.16	30м
Landsat 8 OLI	2022	2022.09.23	30м

SRTM- Өндрийн тоон мэдээ

OpenTopography буюу дэлхийн шинжлэх ухаанд чиглэсэн, өндөр нарийвчлалтай топографийн өгөгдөл, холбогдох хэрэгсэл, нөөцөд нэвтрэх боломжтой нээлттэй мэдээллийн систем юм. Зүг зовхис болон өндөржилт, налуужилтын анализад 12.5 метрийн нарийвчлалтай Өндрийн тоон загварын мэдээг Opentopography-аас (<https://opentopography.org/>) Цамбагарав уул орчмыг талбайг татаж ашигласан.

Уур амьсгалын мэдээ

Prediction of Worldwide Energy Resource буюу POWER Data Access Viewer нь сэргээгдэх эрчим хүчний системийг үнэлэх, төлөвлөхөд зориулагдсан гео орон зайн цаг уур, нартай холбоотой өгөгдлүүд бүхий хиймэл дагуулын ажиглалтад тулгуурласан нээлттэй мэдээллийн систем юм. Хур тунадас агаарын температурын анализад NASA POWER -оос (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) Цамбагарав уулыг төв цэг болгож дөрвөн зүг, найман зовхист газрын гадаргаас дээш 2 метр өндрийн агаарын температурын мэдээ, нийлбэр хур тунадасны мэдээг авч ашигласан (Зураг 2.). Энэхүү мэдээг баталгаажуулахын тулд Цамбагарав уултай ойр байрлах Баяннуур, Эрдэнэбүрэн сумдын цаг уурын станцын (<http://irimhe.namem.gov.mn/>) 1990 – 2015 оны цаг уурын мэдээг ашигласан.



Зураг 2. Уур амьсгалын мэдээ татсан цэгийн байршил ба зүг зовхис

Аргазүй

Цамбагарав уулын сүүлийн 50 жилийн мөстлийн талбайн өөрчлөлт болон мөстлийн гаралтай нууруудын талбайн өөрчлөлтийг тооцоолж түүнд нөлөөлөх уур амьсгалын үзүүлэлтүүд болох хур тунадас агаарын температурын өөрчлөлт тэдгээрийн хоорондын хамаарлыг Mann-Kendall (МК), Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM), Сенийн налуугийн тооцооны арга (SSET), Статистикийн арга аргуудыг ашиглан тооцоолсон ба мөн мөстлийн талбайн өөрчлөлт болон нууруудын талбайн өөрчлөлтийг хамаарлыг тооцож гаргасан (Зураг 3).



Зураг 3. Судалгааны аргазүйн бүдүүвч

NDPCSI (Normalised Difference Principal Component Snow Index)-ийн тооцоо

NDPCSI-индексээр бид Цамбагарав уулын мөстлийн талбайн хэмжээг 1991, 2000, 2011, 2022 байдлаарх цасан бүрхэвч, мөнх цасны хэмжээг тооцон гаргах юм. Энэхүү индекс нь мөстлийн талбайг шууд илрүүлдгээрээ бусад аргаас давуу талтай ба уг тооцооноос нуур, гол мөрний талбайг хасах шаардлагагүй байдаг (Sibandze et al., 2014).

NDPCSI-г доорх томъёогоор тооцолно:

$$NDPCSI = \frac{PC_{\text{brightest}} - PC_{\text{darkest}}}{PC_{\text{brightest}} + PC_{\text{darkest}}} \quad (1)$$

Дээрх тэгшитгэл дээр үндэслэн NDPCSI тооцоолохдоо Ландсат хиймэл дагуулын $PC_{\text{brightest}}$ буюу цаснаас ойх ойлтыг /альбедо/ тусгадаг бол PC_{darkest} нь эсрэгээрээ цасанд шингэх шингээлтийг харуулдаг (Sibandze et al., 2014). Дараа нь растерын өгөгдлийг ангилж 0.4-ээс дээш утгыг мөстөл гэж тооцдог.

Мөстлийн талбайг тооцсоны дараа 12.5 метрийн нарийвчлалтай өндрийн тоон загварын мэдээн /DEM/ дээр давхцуулан 3D хэмжээст талбай буюу гадаргуугийн талбайг тооцов.

Хүчин зүйлийн шинжлэлт

Гадаргын зүг зовхист хуваарилагдах мөстлийг тооцох: Судалгааны талбайд тархсан мөстлийн тархалтыг зүг зовхист хуваарилагдах байдлаар нь тооцож үзэхийн тулд Цамбагарав уулын орчмын зүг зовхисыг тооцож гаргах шаардлагатай. Ийнхүү тооцог SRTM-ын 12.5 метрийн нарийвчлалтай DEM буюу өндрийн тоон загварыг Arcgis 10.8 программ хангамжийн Aspect хэрэглүүрийн тусламжтай тооцоолов (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Гадаргын зүг зовхис

Зүг зовхис			Зүг зовхис		
1	Хойд	337.5-22.5°	5	Урд зүг	157.5-202.5°
2	Зүүн хойд	22.5-67.5°	6	Баруун урд	202.5-247.5°
3	Зүүн	67.5-112.5°	7	Баруун	247.5-292.5°
4	Зүүн урд	112.5-157.5°	8	Баруун хойд	292.5-337.5°

Гадаргын өндөрөөр хуваарилагдсан мөстлийг тооцох: Судалгааны талбайд тархсан мөстлийн тархалтыг өндөржилтөд хуваарилагдах байдлаар нь тооцож үзэхийн тулд Цамбагарав уулын орчмын өндөржилтийг тооцож гаргах шаардлагатай. Үүний тулд SRTM-ын 12.5 метрийн нарийвчлалтай DEM буюу өндрийн тоон загварыг Arcgis 10.8 программ хангамжийн reclassify (3D analyst) хэрэглүүрийн тусламжтай тооцоолж гаргасан. Өндрийн тархалтыг тооцоолохдоо Ванесса Бразьер болон Мартин Киркбрайд нарын судалгааны дагуу 2700-2900, 2900-3100, 3100-3300, 3300-3500, 3500-3700, 3700-3900, 3900-с дээш зэргээр 200 метрийн интервалтай авч тооцсон (Brazier et al., 1998).

Гадаргын хэвгийг хуваарилагдсан мөстлийг тооцох: Судалгааны талбайд тархсан мөстлийн тархалтыг налуужилтад хуваарилагдах байдлаар нь тооцож үзэхийн тулд бид эхлээд Цамбагарав уулын орчмын налуужилтыг тооцож гаргах шаардлагатай. Ийнхүү тооцож гаргахын тулд бид SRTM-ын 12.5 метрийн нарийвчлалтай DEM буюу өндрийн тоон загварыг Arcgis 10.8 программ хангамжийн slope хэрэглүүрийн тусламжтай тооцоолж гаргасан. Ингэж тооцоолохдоо Сикдар, Чакраборь нарын судалгаанд тулгуурлан 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 30-35, 35< буюу 5 градусын интервалтай авч тооцсон (Sikdar et al., 2004).

Mann-Kendall (MK) арга

Mann-Kendall (MK) тестийн арга нь статистикийн ач холбогдолтойгоор өөрчлөлтийн чиг хандлагыг харуулдаг. Трендийн бат бөх байдал нь хэмжээ, түүврийн хэмжээ, өгөгдлийн цувааны хэлбэлзлээс хамаарна. MK-ийн тестийн статистик эерэг ба сөрөг шинж тэмдгүүдээс хамаардаг тул MK тестийн чиг хандлагууд нь өгөгдлийн цуваанд гарсан хэт их нөлөөлөл өөрчлөлтийг тодорхойлдог. Энэхүү судалгаандаа усан уур амьсгалыг шинжлэв. Гиймээс MK статистик нь өгөгдлийн бүх утгуудын хуримтлагдсан үр дүн юм. Mann-Kendall тестийн статистик “S” нь дараах байдлаар тооцогдоно (Dorjsuren et al., et al., 2018; Sumiya et al., 2020).

$$f(z) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (2)$$

Өөрчлөлтийн өгөгдөл x_i өгөгдлийн хэмжээ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) болон x_j өгөгдлийн утгатай харьцуулж хэрэглэдэг. Өгөгдлийн хэмжээ x_i дараах байдлаар тооцооно.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } x_j - x_i > 0 \\ 0 & \text{if } x_j - x_i = 0 \\ -1 & \text{if } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Энд x_j болон x_i –ийн хугацааны утга j болон i өгөгдлийн цувааны тоо 10 түүнээс их бол $n \geq 10$ МК арга нь дундаж утгыг хэвийн тархалтаар дараах байдлаар тодорхойлно. $E(S) = 0$ Хугацааны цувааны өөрчлөлтийг. $Var(S)$ дараах байдлаар тооцно.

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (5)$$

Энд m нь хугацааны цуваанд буй холбоотой бүлгүүдийн тоо. t_k нь k^{th} холбоотой бүлэг дэх хэлбээ холбооны тоо юм. Тус аргын статистик Z нь дараах байдлаар тооцоолно.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\delta} & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\delta} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Энд Z нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага өснө. Z нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага буурна.

Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM)

ITAM нь гидрологийн нөхцөлийг илрүүлэх, түүний нарийвчлалыг МК аргын үр дүнтэй харьцуулж үр дүнгээ тооцдог арга юм (Dorjsuren et al., 2018). Үзүүлэлтийг дараах байдлаар тооцоолно.

$$\Phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(x_j - x_i)}{\mu} \quad (7)$$

Энд Φ = чиглэлийн үзүүлэлт, n = ажиглалтын цувааны тоо, x_i = эхний хагас дэд анги дэх мэдээний цуваа, x_j = хоёр дахь хагас дэд хэсгийн мэдээний цуваа болон μ = эхний хэсэг дэх өгөгдлийн цувааны дундаж утга юм.

Сенийн налуугийн тооцооны арга (SSET)

Голын усны урсац болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хоорондын уялдаа, хамаарлыг налуугийн тооцооллын аргаар тодорхойлж болно (Dorjsuren et al., 2021). Хоёр өгөгдлийн цэгүүдийн хоорондын налуу Q_i дараах байдлаар тодорхойлогддог. Энд:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Энд x_j болон x_k өгөгдлийн цэгүүдийн цаг хугацаа j болон ($j > k$) тус тус байна.

AWEI /Automatic water extraction index/-ийн тооцоо

AWEI- индекс нь янз бүрийн коэффициентыг ялгах, нэмэх, ашиглах замаар ус ба усны бус пикселийг хамгийн үр дүнтэй ялгадаг. Үүний үр дүнд усны пикселийг ялгаж, гадаргын усыг өндөр нарийвчлалтайгаар гаргаж авдаг (Feysa et al., 2014). AWEI- индексийг тооцохдоо дараах тэгшитгэлээр тооцно.

$$AWEI = 4 * (Green - MIR) - (0.25 - NIR + 2.75 * SWIR) \quad (9)$$

Тэгшитгэлд сувгуудын хоорондох зөрүүг 4 дахин нэмэгдүүлснээр усны пикселийн эерэг утга, усны бус пикселийн сөрөг утга гарна. Ингэснээр ус, сүүдэр, ус биш гадаргуугийн хоорондох ялгааг сайжруулах зорилготой. Энэхүү аргаар өндөрлөг газар байрлах мөстлийн ухралт хайлалтын нөлөөгөөр үүссэн нууруудын талбайг 1991, 2000, 2011, 2022 онуудад тооцоолно.

Статистик шинжилгээ

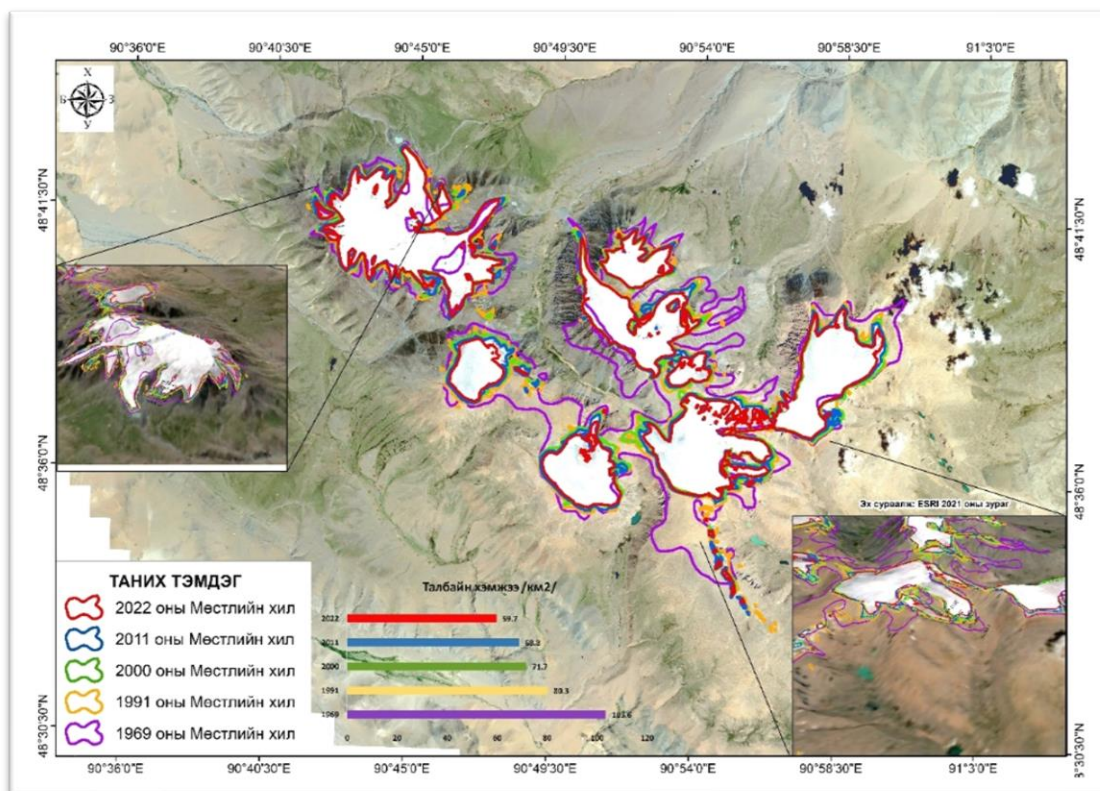
Регрессийн шинжилгээгээр статистик хамааралтай үзэгдлүүдээс ямар нэгэн хамаарлын хэлбэрийг тодорхойлох, энэхүү хамаарал нь өгөгдсөн туршилтын болон хэмжилтийн утгуудтай хэр нийцэж байгааг тогтоосны үндсэн дээр тохирох тэгшитгэлийг гарган авч, тухайн судлагдаж

буй объект хоорондын цаг хугацааны болон орон зайн хамаарал, ирээдүйн чиг хандлагыг тодорхойлоход оршино.

Корреляцийн шинжилгээгээр мөстлийн өөрчлөлт ба түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлийн хооронд шугаман хамаарал бий эсэхийг шалгаж хамаарлын хүчийг корреляцийн коэффициентоор илэрхийлсэн.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Мөстлийн талбайн өөрчлөлт: Мөстлийн хайлалт ухралт нь гадаргын морфологийн хэв шинж, орших өндөр, зүг зовхис, зузаан, салхи, хур тунадас, нарны цацраг зэргээс хамааран харилцан адилгүй байдаг. Цамбагарав уулын мөстлийн талбай 1969 онд 103.60 км² байсан бол 2022 онд 59.7 км² талбай болж 53 жилийн хугацаанд 43.9 км² талбайгаар буурч, нийт талбайн 42.4 хувийг алдсан байна. Нийт мөстлийн талбайн 90 гаруй хувь нь 3500 метрээс дээш өндөрт, 10 гаруй хувь нь 3500 метрээс доош өндөрт оршино. Талбайн хувьд 1969-1991 онд мөстлийн талбай хамгийн их буурчээ. Цамбагарав уулын мөстлийн хэмжээ жилд дунджаар 0.73 км² талбайгаар буурч байна (Зураг 4).



Зураг 4. Мөстлийн талбайн өөрчлөлт (1969-2022)

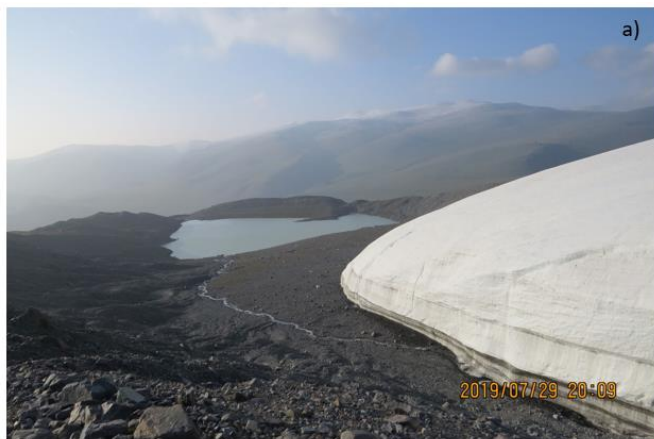
Сансрын зургийн өгөгдөлд боловсруулалт хийж тодорхойлсон мөстлийн хилийг ашиглан 12.5 метрийн нарийвчлалтай DEM давхцуулалт хийж Arcgis программын “Surface area” хэрэглүүрийн тусламжтай гадаргуугийн талбайг тодорхойлов. Цамбагарав уулын мөстлийн талбайн өөрчлөлтийг илүү нарийвчлалтай тооцоолсон (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Цамбагарав уулын мөстлийн талбайн өөрчлөлт (1969-2022 он)

Он	Талбайн хэмжээ /км²/	Гадаргуугийн талбай /км²/	Өөрчлөлтийн хувь/%/
1969	103.60	109.7	5.8
1991	80.3	83.6	4.1
2000	71.7	74.5	3.9
2011	68.8	70.9	3.0
2022	59.7	60.9	2.0

Судалгааны баг хээрийн судалгааг 2019 оны 07-р сарын 29-ны өдөр Цамбагарав уулын зүүн хойд хэсэгт “GPS” төхөөрөмж ашиглан цасны хилийн дагуу 150 метр мөстлийн хилийн

шугамыг тэмдэглэсэн. Мөстлийн талбайг тооцоход ашигласан аргагүйгээ хээрийн хэмжилтийн мэдээг ашиглан баталгаажуулсан ба дээрх хэмжилтийг 2019.07.29 өдөр хэмжсэн ба баталгаажуулахад ашигласан 2019 оны “Landsat” хиймэл дагуулын мэдээ нь 2019.08.14 өдрийн мэдээ байсан. Дээрх хэмжилт болон мэдээ нь цаг хугацааны хувьд 15 хоногийн зөрүү гарсан бөгөөд Цамбагарав уулын мөстлийн талбай богино хугацаанд томоохон өөрчлөлт гарахгүй гэж үзэж бид дээрх хэмжилт болон мэдээг харьцуулж үзэх боломжтой гэж үзсэн (Зураг 5). Нийт хэмжилтийн цэгүүдээс 6 цэг сонгон авч тэдгээр цэгүүдээсээ “NDPCSI” аргачлалаар тооцож гаргасан мөстлийн хилийн шугам хүртэлх зайг тооцож үзэхэд хамгийн их зөрүү 21.2 метр, хамгийн бага зөрүү 3.1 метр байсан ба дунджаар 10.3 метрийн зөрүү тооцоологдсон ба таарцын хувь 61.3% судалгаанд ашиглах боломжтой гэж үзэв.



Line	NDPCSI /m/ 6)
1	8.2
2	21.2
3	9.3
4	11.6
5	4.1
6	8.3
AVG	10.3
MAX	21.3
MIN	4.1

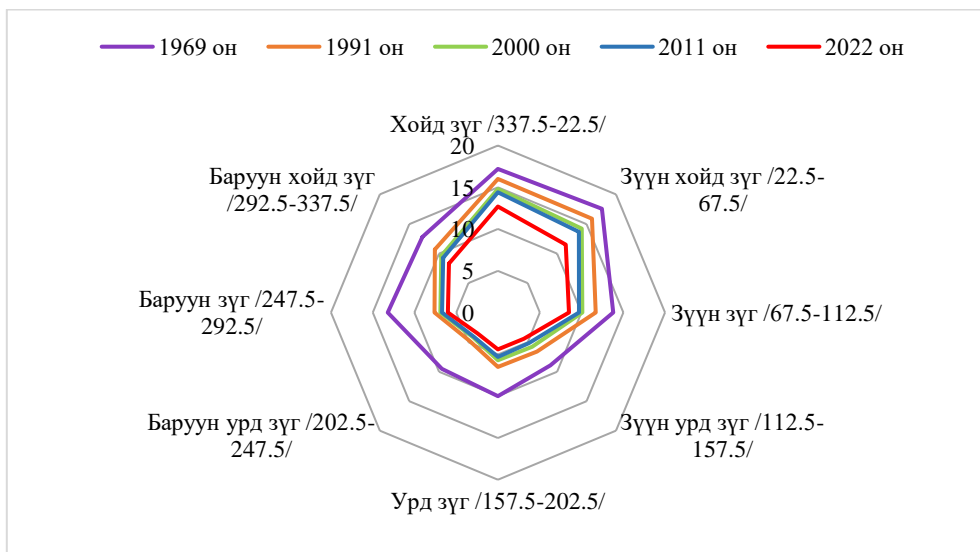
Зураг 5а. Хээрийн хэмжилтийн зураг (Зургийг Д.Отгонбаяр, 2019), б. NDPCSI аргачлалаар тооцсон мөстлийн хил болон хээрийн хэмжилтээр хэмжсэн эргийн шугамын зөрүү

Мөстлийн талбайн өөрчлөлтөд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн шинжилгээ

Гадаргын зүг зовхист хуваарилагдах мөстлийн хэмжээ: Уулсын зүг зовхист тархах мөстлийн хувь хэмжээ нь тухайн уулын байрлал, чиглэл, хотгор гүдгэрийн хэлбэр зэргээс хамаарна. Мөн уул нурууд агаарын массын хөдөлгөөний замтай зэрэгцээ бол хоёр хажуу нь адил чиглэлтэй, хөндлөн байрласан бол салхи талд нь тунадас их орж мөсөн гол олноор тогтдог. Манай орны мөстлийн 61 хувь нь буюу ихэнх масс уулсын ар хажууд тархдаг байна. Цамбагарав уулын мөстлийн ихэнх хэсэг нь уулын ар хажууд байна. Тооцооллын үр дүнгээс үзвэл мөстлийн 30.2 % нь уулын ар хэсэгт, 17.0 % нь уулын зүүн хойд хэсэгт, 12.0 % нь уулын баруун хойд хэсэгт, 8.5 % нь зүүн хэсэгт, 7.3 % нь уулын зүүн урд хэсэгт, 11.1 % нь урд хэсэгт, 6.9 % нь баруун урд хэсэгт, 6.2 % нь баруун хэсэгт тус тус тархсан байна.

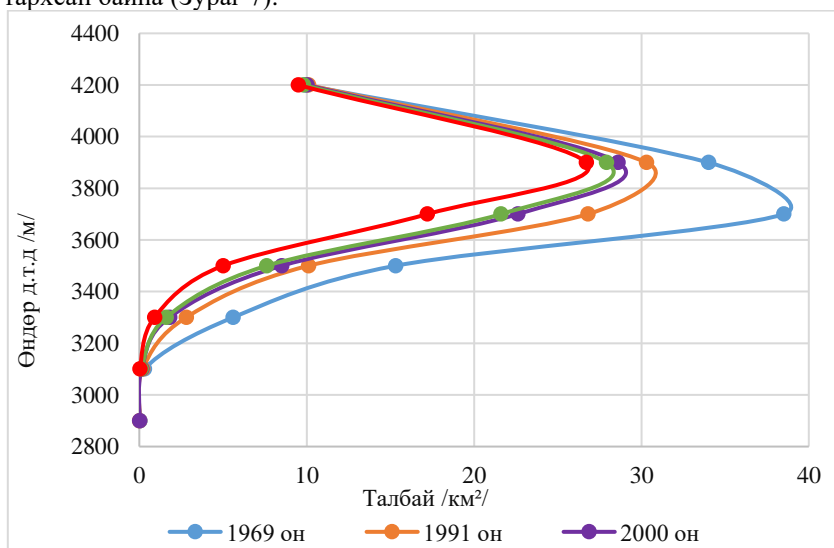
Мөстлийн алдрал уулын урд болон баруун урд хэсэгт хамгийн өндөр байгаа бол уулын зүүн хэсэгт хамгийн бага байна (Зураг 6). Цамбагарав уулын мөстлийн зүг зовхисоор тархах байдлыг талбайн хэмжээгээр 3 хувааж болно. Үүнд: 1. Том – 10 км²-с том талбайд хойд, зүүн хойд зүгийн, 2. Дунд – 5-10 км² талбай бүхий зүүн, урд, баруун хойд 3. Бага – 0-5 км² талбай бүхий зүүн урд, баруун урд, баруун зүгийн мөстөл зэрэг болно.

Сүүлийн 53 гаруй жилд Цамбагарав уулын хамгийн их мөстөл тархаж буй хойд, зүүн хойд зүгийн мөстлийн талбайн 18 - 28 %, бага талбайтай баруун урд, урд, зүүн урд зүүдүүдэд 44 – 57 % буурсан байна.



Зураг 6. Гадаргын зүг зовхист хуваарилагдах мөстлийн хэмжээ

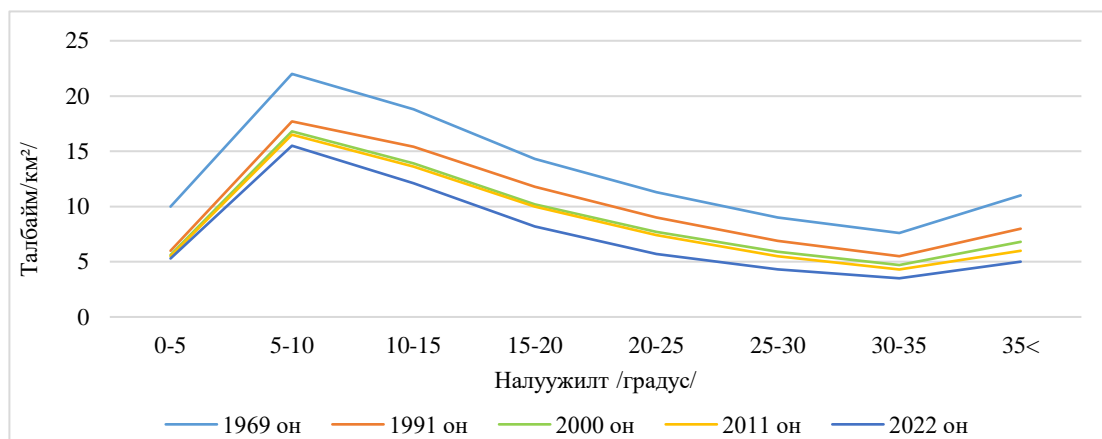
Гадаргын өндөрөөр хуваарилагдах мөстлийн хэмжээ: Цамбагарав уулын оргил түүний эргэн тойронд хавтгай оройн мөстөл, хойд хажуу түүнээс салбарлах ам хөндийнүүдэд өлгүү, хунхын мөстлүүд үүсжээ. Мөстлийн талбайн хэмжээнд авч үзвэл оройн мөстөл давамгайлах ба мөстлийн үндсэн масс нь ДТД 3300-4190 метрийн хооронд оршиж байна. Цамбагарав уулын үндсэн оргилууд болох Цаст уул (4190м д.т.д) болон Хөх нуруу (4130м д.т.д) оргилуудын эргэн тойронд мөстлийн томоохон массив байна. Мөстлийн ихэнх масс нь Хөх нуруу уулын зүүн хойд болон зүүн хойно тархсан байна (Зураг 7).



Зураг 7. Гадаргын өндөржилтөд хуваарилагдсан мөстлийн хэмжээ

Цамбагарав уулын мөсөн голын доод хил 2000 он хүртэл 2700-2900 метр байсан бол 2022 онд 2900-3100 метр болж, сүүлийн 20 орчим жилд 200 м-ээр дээшилсэн байна. Цаашид 2900-3100 метр орших мөстлийн талбай мөн хайлж дээшлэх, мөсөн голуудын хайлалтын бүсийн талбай нэмэгдэх, хуримтлалын бүс улам багасах төлөвтэй байна.

Гадаргын хэвгийг хуваарилагдах мөстлийн хэмжээ: Налуужилт нь мөсөн голын масс балансад чухал нөлөөтэй хүчин зүйлүүдийн нэг юм. Нийт мөстлийн 78.4 % нь 0-25 хэмийн налууд оршиж байгаагаас сүүлийн 53 жилд талбайн хэмжээ нь 0-5 хэмийн налууд 47.0 %, 5-10 хэмийн налууд 29.5 %, 10-15 хэмийн налууд 35.6 %, 15-20 хэмийн налууд 42.6 %, 20-25 хэмийн налууд 49.6 %, 25-30 хэмийн налууд 52.2 %, 30-35 хэмийн налууд 53.9 %, 35 хэмээс дээш налууд 54.5 % тус тус буурсан байна (Зураг 8).

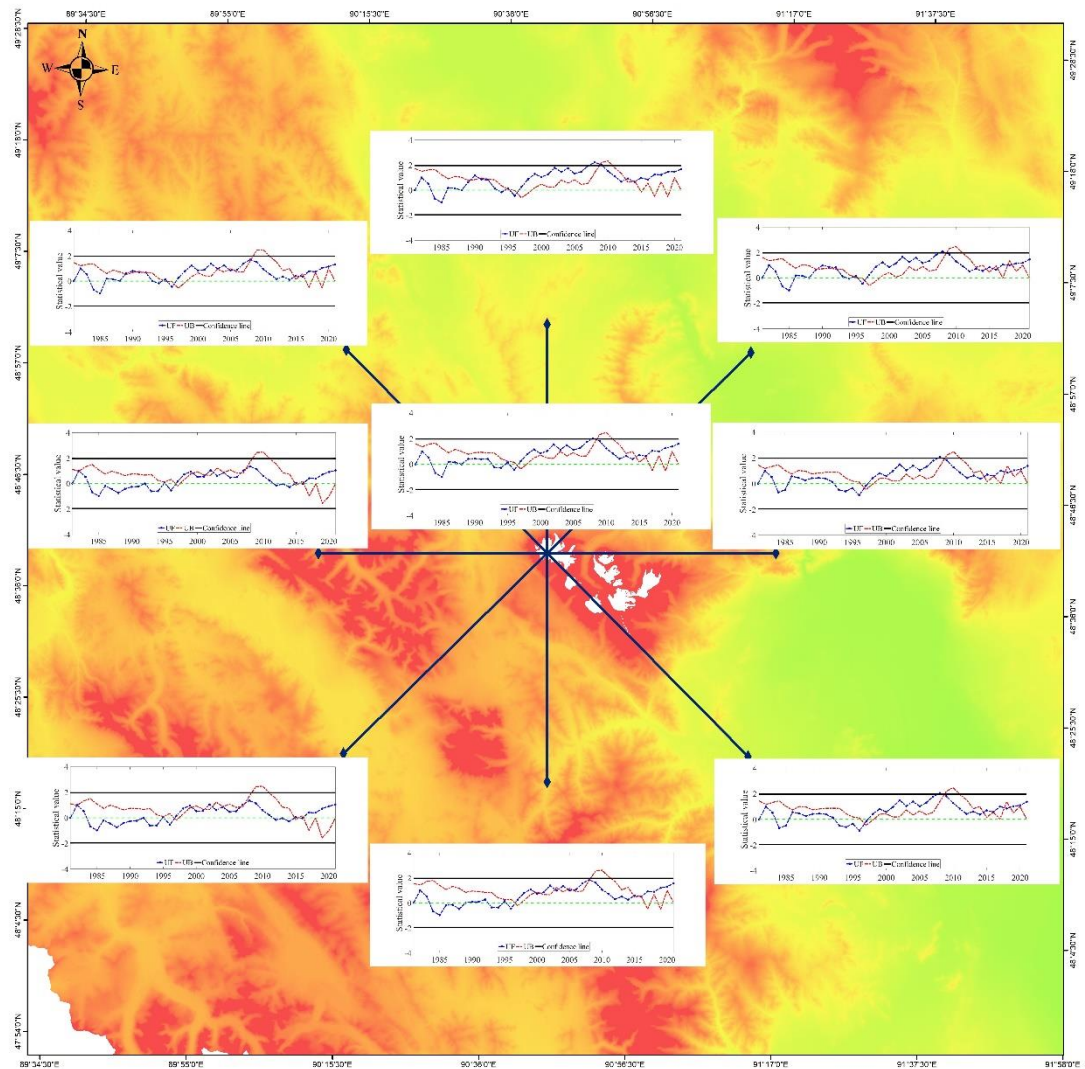


Зураг 8. Гадаргын хэвгийг хуваарилагдсан мөстлийн хэмжээ

Агаарын температур, хур тунадасны горим мөстлийн хайлалтад нөлөөлөх нь: Жилийн дундаж агаарын температур 1981-2021 онд $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ -р нэмэгдсэн байна. Үүнийг улирлаар ялгаж үзвэл зуны агаарын дундаж температур $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, хавар $1.38\text{ }^{\circ}\text{C}$, намар $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}$ -р нэмэгдсэн бол өвлийн температур $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}$ -р буурсан байна. Зүг чигээр авч үзвэл бүх талд $0.5\text{-}0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ нэмэгдсэн байна. Хойд зүгт агаарын температур бусад зүүдтэй харьцуулахад их нэмэгдсэн байна. Харин баруун, баруун урд зүүдэд харьцангуй бага байна (Зураг 9, Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Цамбагарав уулын 1981-2021 оны агаарын температурын өөрчлөлтийн чиг хандлага

№	Зүг зовхис	Z	Ф	β
1	Хойд	2.54**	-10.39***	0.01
2	Зүүн хойд	2.31**	-16.25***	0.01
3	Зүүн	2.10**	-18.25***	0.01
4	Зүүн урд	2.10**	-18.25***	0.01
5	Урд	2.32**	-0.59	0.01
6	Баруун урд	1.59*	-0.45	0.01
7	Баруун	1.59*	-0.45	0.01
8	Баруун хойд	2.09**	-1.16*	0.01
9	Дундаж	2.39**	-1.27*	0.01



Зураг 9. Цамбагарав уулын агаарын температурын чиг хандлага (1981-2022)

Зүг зовхис тус бүрийн агаарын температурын цуваанд МК шинжилгээний үр дүнг тооцвол дараах байдалтай байна. Үүнд:

1. Зүүн урд, урд, зүүн, хойд, зүүн хойд зүгүүдэд 1996-2008 онд эрс өсөж статистикийн +2 утгыг давсан, 2009-2014 онд аажим буураад, 2015-2021 онд дахин өсөж байна байна.
2. Баруун, баруун хойд, баруун урд зүгүүдэд 1985-1992, 1996-2008, 2014-2021 онд аажим өсөлтүүд ажиглагдаж байгаа бөгөөд 2008 онд статистикийн +2 утга руу ойртсон байна.
3. Дундаж 1996-2007 онд аажим өсөж, 2008 онд +2 давж статистикийн ач холбогдолтойгоор эрс өссөн, 2009-2014 онд аажим буураад, 2015-2021 онд аажмаар өсөж байна.

Хур тунадас 1981-2021 онд хур тунадас 14.2 мм-р нэмэгдсэн бөгөөд богино хугацаанд буураад буцаад өсөж байна. Өвлийн хур тунадас 1981-2021 онд 0.58 мм-р буурсан бол, хавар 6.35 мм, зун 8.05 мм, намар 0.39 мм-р нэмэгдсэн байна.

Хур тунадсыг Цамбагарав уулын зүг зовхисоор нь авч үзвэл: Зүүн зүгт 6.5 мм-р, зүүн хойд зүгт 2.5 мм-р буурсан бол, бусад хэсгүүдэд ялангуяа урд зүгт 25.2 мм, баруун урд зүгт 31.3 мм-р нэмэгдсэн байна. 1981-2021 онд Хойд болон зүүн хойд зүгт буурч бусад зүгүүдэд нэмэгдсэн.

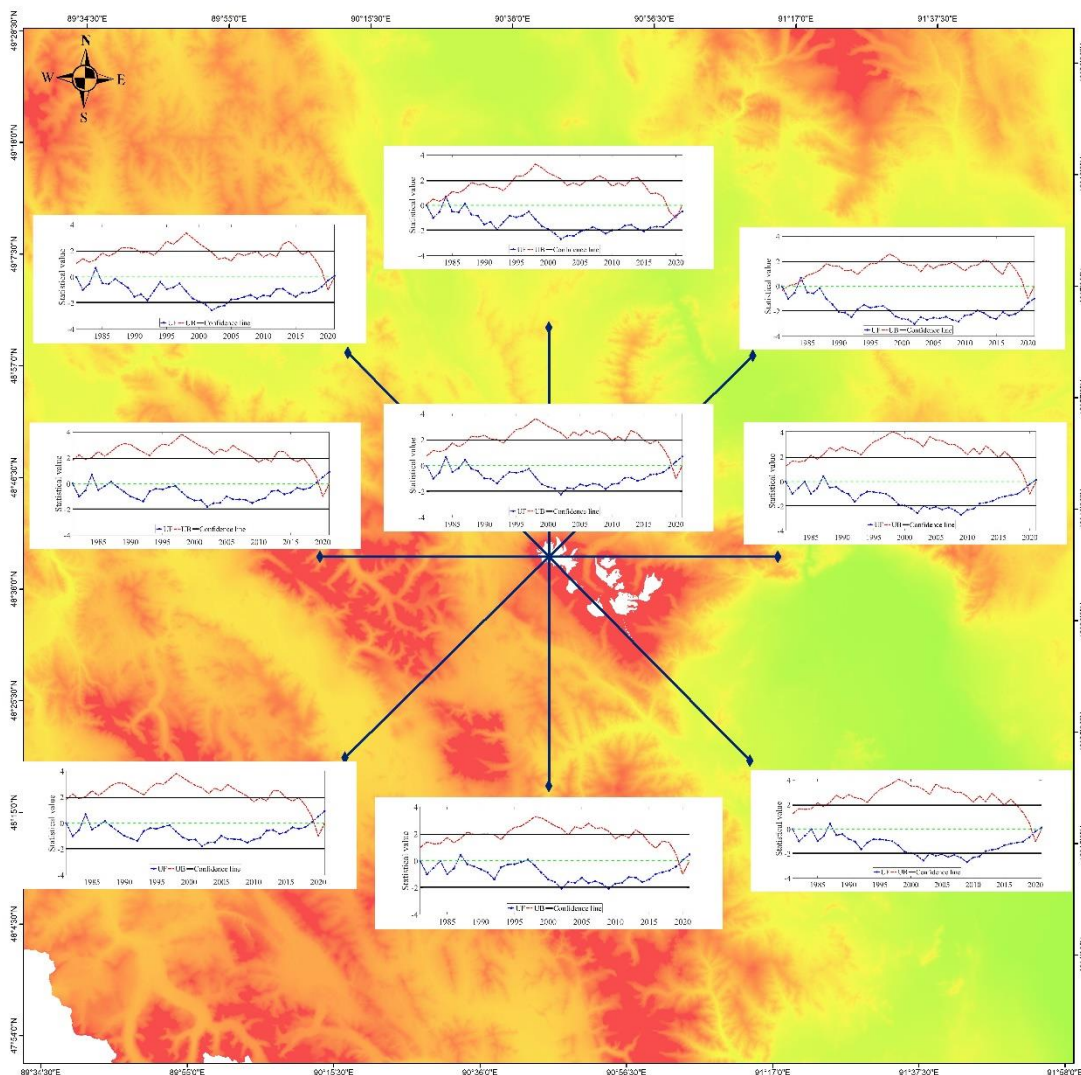
Зүг зовхис тус бүрийн хур тунадасны цуваанд МК шинжилгээний үр дүнгээс үзвэл:

1. Урд зүгт 1981-2001 он хүртэл аажим буураад, 1992-2002, 2005-2009 онуудад -2 давж статистикийн ач холбогдолтойгоор эрс буурч, 2010 оноос аажим өсөж байна.

2. Хойд 1984-1992 онд аажим буурч статистикийн -2 утгад ойртоод 1997-2000 онд аажим, 2002-2006, 2010, 2011, 2015 онд статистикийн ач холбогдолтойгоор эрс буураад, 2015 оноос аажим өсөж байна.
3. Баруун хойд зүгт 1984-1992, 1994-1999 онд аажим буурч -2 руу ойртсон, 2000-2004 онд статистикийн ач холбогдолтойгоор эрс бууч, 2005 оноос аажим өсөж байна.
4. Баруун, баруун урд зүгт 1985-2002 онд аажим буурч статистикийн -2 утга руу ойртоод, 2003 оноос аажим өсөх хандлагатай
5. Зүүн хойд 1984-1989 онд аажим буурч, 1990-1992, 1998-2018 онд статистикийн ач холбогдолтойгоор эрс буураад, 2019 онд -2 – 0 утга руу аажим өсөж байна.
6. Зүүн урд, зүүн, зүгүүдэд 1999, 2002-2011 онд статистикийн ач холбогдолтойгоор буурч -2 утгыг давсан бол 2012 оноос аажмаар өсөж байна.
7. Дунджаар 1987-1992, 1998-2001 онд аажим буурсаар 2002 онд статистикийн ач холбогдолтойгоор -2 давж эрс буурсан (Хүснэгт 5). 1993-1997, 2003-2021 аажим өсөлт ажиглагдаж байна.
8. Хойд зүгт 2015, зүүн хойд-2019, зүүн-зүүн урд-2012, Урд зүгт 2010, баруун урд- баруун-2003, баруун хойд зүгт-2005 оноос хур тунадас аажим нэмэгдсэн байна (Зураг 10).

Хүснэгт 5. Цамбагарав уулын 1981-1991 оны хур тунадасны өөрчлөлтийн чиг хандлага

S/No.	Name of Stations	Z	Ф	β
1	Хойд	-0.29	-0.58	0.00
2	Зүүн хойд	-0.98	-0.02	-0.38
3	Зүүн	1.03*	0.23	0.26
4	Зүүн урд	1.03*	0.23	0.26
5	Урд	1.08*	0.64	0.54
6	Баруун урд	2.05**	1.29*	0.70
7	Баруун	2.05**	1.29*	0.70
8	Баруун хойд	0.83	0.54	0.18
9	Дундаж	1.08*	0.41	0.34

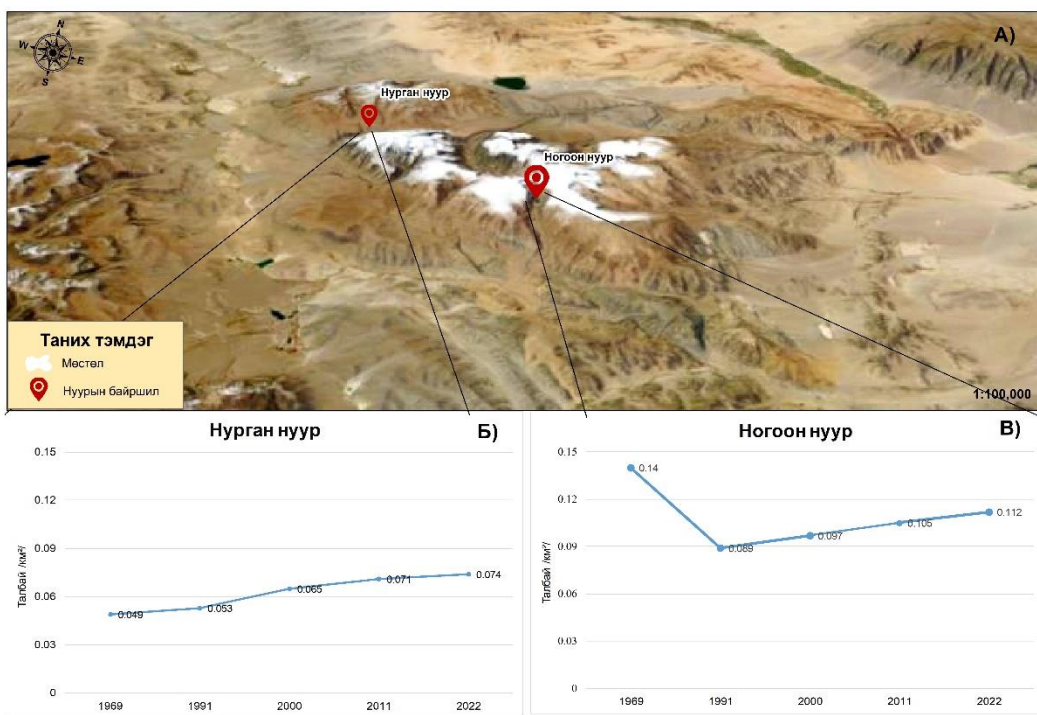


Зураг 10. Цамбагарав уулын хур тунадасны чиг хандлага (1981-2022)

Өндөрлөг газарт орших мөстлийн гаралтай нууруудын талбайн өөрчлөлт: Кериосферийн бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн нэг бол мөстлийн гаралтай нуурууд юм. Мөсөн голын хайлалт нь орших зүг зовхис, өндөр болон хэв шинжээс хамааран харилцан адилгүй байгаа тул цаст уулын хойд хажууд, Эрэгтийн голын ай савд орших хөндийн мөсөн голын Нурганы нуур, Өмнө хэсэгт Ямаатын хавтгай оройн мөсөн голоос эх авах, Цагаан сайр голын ай савд орших Ногоон нуурыг сонгон авч талбайн өөрчлөлтийг тодорхойлсон.

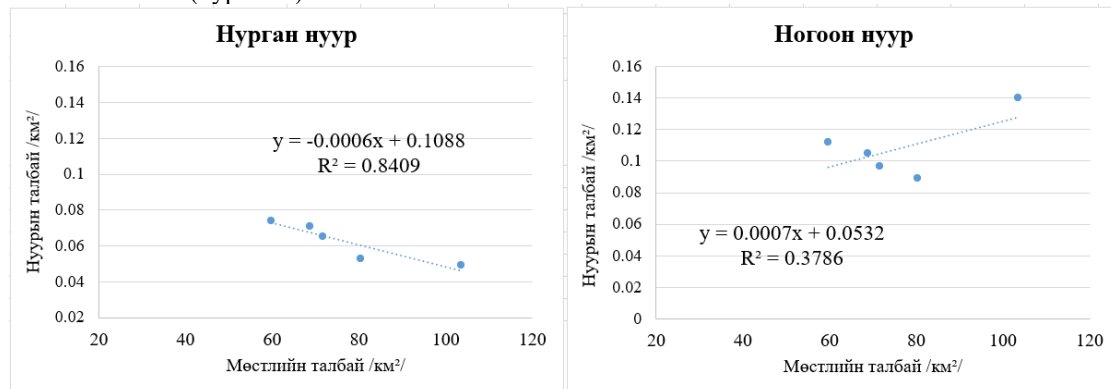
Цамбагарав баруун хойно орших Нурган нуурын д.т.д 2985 метрийн өндөрт орших бол уулын урд хэсгийн Ногоон нуур нь д.т.д 3070 метрийн өндөрт оршиж байна. Эдгээр нуурууд VI сарын дунд үед мөс нь бүрэн хайлж, мөсөн голын хайлалт, хур тунадасны нөлөөгөөр VII сарын дундаас VIII сарын эхэн үед хамгийн их устай байдаг.

Нурган нуур 1969 оноос 2022 он хүртэл 53 жилийн хугацаанд 0.025 км² талбайгаар томорсон, Ногоон нуур 1969-ээс 1991 оны хооронд 0.051 км² буураад 1991 оноос 2022 он хүртэл тогтмол өсөлттэй байна (Зураг 11).



Зураг 11А. Мөстлийн гаралтай нууруудын байршил Б. Нурган нуурын талбайн өөрчлөлт
 В. Ногоон нуурын талбайн өөрчлөлт

Мөстлийн гаралтай нуурын талбай болон мөстлийн талбайн өөрчлөлтийн хамаарал:
 Мөстлийн талбайн өөрчлөлт болон өндөрлөг газар орших нуурын талбайн хоорондын хамаарлыг бодоход мөстлийн өөрчлөлт Цамбагарав уулын хойд хэсэгт байрлах Нурган нууртай маш хүчтэй эерэг хамааралтай буюу $R^2=0.84$ байна. Урд талын Ногоон нууртай сул хамааралтай буюу $R^2=0.378$ байна (Зураг 12).



Зураг 12. Мөстлийн талбай ба нууруудын талбайн хамаарал

Мөстөл, мөсөн голууд орших бүс нутгийн уур амьсгал, морфологийн хэв шинж зэргээс шалтгаалан динамик нь өөр өөр байдаг. Монгол орны мөсөн голууд хуурай, эрс тэс уур амьсгалтай бүс нутагт орших тул масс балансын эргэлт бага, дулааралд маш мэдрэмтгий байдаг. Төв Азийн гадагш урсгалгүй гол мөрний усны тэжээлийн 50-70 %-ийг Монгол Алтайн нурууны мөстлөөс хайлсан ус эзэлдэг.

Энэ судалгаанд мөстлийн талбайг “NDPCSI” ба нуурын талбайг “AWEI” аргуудаар тодорхойлж, мөн 3 хэмжээст загварт гадаргуудын талбайг тооцоолсон нь илүү нарийвчлалтай.

Мөн мөстөл, мөсөн голын хайлалтад нөлөөлөх хүчин зүйлс, гадаргын усанд үзүүлэх нөлөө, тэдгээрийн хоорондын хамаарлыг тодорхойлноороо бусад судалгааны өгүүллүүдээс шинэлэг талтай, ялгаатай юм.

Сүүлийн жилүүдэд Монгол Алтайн нурууны орчин үеийн мөстөл тэр дундаас Цамбагарав уулын районы мөстлийг А.Орхонсэлэнгэ, Т.Даваагатан, Камр, Ран, Ганьюшкин, Катодо, Г.Даваа, А.Дашцэрэн, Д.Отгонбаяр, Бородавко зэрэг судлаачид судалж байна. Цамбагарав уулын мөстлийн талбай, талбайн өөрчлөлтийг судалсан зарим судлаачдын үр дүнг хүснэгт 6 -д харуулав.

Хүснэгт 6. Цамбагарав уулын мөстлийн талбай, талбайн өөрчлөлтийг судалсан зарим судлаачид

№	Он	Талбайн хэмжээ км ²	Ашигласан материал	Судлаачид
1	1947-1950, 1972	80.2	Агаарын зураг болон байр зүйн зураг	(Dashdeleg, 1990)
2	1948	105.1	Байр зүйн зураг 1:100000	(Kadota, Davaa, 2004)
3	1963	74.8	Сорона хиймэл дагуулын зураг	(Kadota, Davaa, 2004)
4	1987	84.8	Агаарын зураг	(Klinge, 2001)
5	1991	86.6	Landsat	(Kamp et al., 2013)
6	1998	76.6	Landsat	(Kamp et al., 2013)
7	2000	74.8	Landsat	(Kadota, Davaa, 2004)
8	2008	73.18	Landsat	(Otgonbayar, 2013)
9	2011	69.3	Landsat	(Kamp et al., 2013)
10	2016	68.1	Landsat	(Ganyushkin et al., 2017)
11	2017	63.92	Landsat	(Davaagatan, Orkhonselenge, 2020)
12	2020	65.21	Landsat, Aster	(Borodavko et al., 2022)

Цамбагарав уул орчимд агаарын температур, хур тунадасны горимд хугацааны хувьд 3 үе, зүг зовхисоор авч үзвэл 4 үе ялгарч байна. Үүнд:

Хугацааны хувьд:

1. Температур 1981-1996 онд аажим, хур тунадас аажим буурах
2. Температур 1997-2008 онд эрс нэмэгдэх, хур тунадас эрс буурах
3. Температур, хур тунадас 2012-2021 онд аажим өсөх

Зүг зовхис тус бүрээр нь авч үзвэл:

1. 1981-1996 бүх зүгт агаарын температур аажим өсөж, хур тунадас аажим буурах
2. 1997-2011, 2015 онд, хур тунадас хойд зүүн хойд, зүүн, урд зүгүүдэд эрс буурч, температур эрс өсөх,
3. 1997-2011 онд хур тунадас баруун урд, баруун зүгүүдэд аажим буурах, агаарын температур аажим өсөх
4. 2012-2021 онд агаарын температур хур тунадас аажим өсөх хандлага илэрч байна.

МК шинжилгээ болон агаарын температур хур тунадасны өөрчлөлтөөс 1997-2008 онд агаарын температур хамгийн их өсөж, хур тунадас буурсан байна. Гэсэн хэдий ч мөсөн голын хайлалт энэ үед хамгийн бага байсан (жилд 0.26 км²). Хур тунадас багасаж, агаарын температур эрс өсөж байсан ч мөсөн голын хайлалт бага байсан нь дараах 2 үндэслэлээр тайлбарлагдана. Үүнд:

1. Агаарын температурын горимыг жилийн дунджаар бус хуримтлал, хайлалтын үе болон улирлаар ялгаж үзвэл хайлалтын үеийн агаарын температур буурч, хуримтлалын үеийн хур тунадас нэмэгдсэн байна.
2. 1969-2000 онд д.т.д 2900 м хүртэлх өндөрт орших жижиг мөсөн голууд бүрэн хайлж, томоохон хөндийн мөсөн голууд ухарсан байна. Тиймээс 2000-2010 онд мөсөн голын хайлалт хамгийн бага байсан.

Цаг уурын хувьд Алтайн нурууны бусад уулсын адил Цамбагаравын районд 1997-2008 он нь агаарын температур өндөр, хур тунадас багатай байсан бол 2009-2011 аажим буурч, (Ganyushkin et al., 2017) 2012 оноос хойш агаарын дундаж температур, хур тунадас нэмэгдэж байна (Dorjsuren et al., 2018). 1997-2011 онд жижиг мөсөн голуудын хайлалт их байсан бол 2011 оноос томоохон хөндийн мөсөн голууд ухарч эхлэх төлөвтэй байна.

Цамбагарав ууланд сүүлийн 50 жилийн дотор үүссэн нууруудын дийлэнх хэсэг нь орчин үеийн мөсөн голууд болон бага мөстлийн үеийн хуримтлалын цогцолборуудад үүссэн байдаг. Эдгээр нуурууд мөсөн голоос хайлсан усыг нөөцөлж байдаг онцлогтой хэдийн ч сүүлийн

жилүүдэд дулаарал, мөстлийн хайлалт, хэт их хур бороо орох зэргээс шалтгаалан далан нь задарч өндөр уулын бүс нутагт тохиолддог томоохон гамшигт үзэгдлүүдийн нэг болох Мөстлийн гаралтай нууруудын задрал (GLOF) үер үүсдэг. Тиймээс мөстлийн гаралтай нууруудын ажиглалт судалгааг хийх шаардлагатай байдаг. Судлаачид Цамбагарав уулын нууруудаас Нурганы нуурын талбайн өөрчлөлт эргийн шугамын өөрчлөлтийн мониторинг ажиглалтын судалгаа, 1960-аад оноос хойш үүссэн нууруудыг илрүүлэх, өөрчлөлтийг тодорхойлох судалгаа хийгддэг бөгөөд бусад нуурууд төдийлөн судлагдаагүй байгаа юм. Нурганы нуур нь термокарист болон мөстлийн хайлалтын улмаас талбайн хэмжээ нь нэмэгдсээр байгаа бөгөөд талбайтай сүүлийн 51 жилийн хугацаанд жилд усны түвшин нь 3 м нэмэгдэж талбайн хэмжээ нь жилд дунджаар 0.2 км² -р нэмэгдсэн гэж дүгнэсэн байна (СУШИ, 2021). Бидний судалгааны үр дүнгээс харахад тус нуурын талбай сүүлийн 1969-2022 онд жилд дунджаар 0.5 км² -р нэмэгдсэн байна. Харин өмнө хэсгийн Ногоон нуур судлагдаж байгаагүй бөгөөд энэ судалгаагаар 1969-2022 оны талбайн өөрчлөлтийг 10 жилийн интервалтайгаар тодорхойлсон. Энэ нуурын талбай 1969-1991 онд буурсан боловч 1991 оноос хойш жилд дунджаар 0.0007 км² нэмэгдсэн. Энэ судалгааны үр дүн нь Цамбагарав уулын мөнх цас, мөсөн голоос гаралтай жижиг нуурт хийгдсэн нарийвчилсан судалгаа болсноороо ач холбогдолтой юм.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаанд Монгол орны томоохон мөстлийн төвүүдийн нэг болох Цамбагарав уулын 1969-2022 мөстлийн талбайн өөрчлөлт болон өөрчлөлтөд нөлөөлөх хүчин зүйлс, гадаргын усзүйн өөрчлөлт зэргийг тодорхойлов.

Судалгаанд мөстлийн талбайг NDPSI, уур амьсгалын өгөгдлийг Манн-Кендаллын, чиг хандлагын тест, ITAM, Sen's slope estimator test, нуурын талбайг AWEI индексээр тооцоолж статистик шинжилгээгээр хоорондын хамаарлыг гаргав. Цамбагарав уулын 7 мөстлийн цогцолборт 59.7 км² мөстөл байгаагаас 3500 м-с дээш өндөрт нийт талбайн 89.4 хувь нь оршиж байна. 5-10 хэмийн налууд мөстлийн талбай их, хайлалт хамгийн бага байгаа бол 35 хэмээс дээш налууд хайлалт хамгийн эрчимтэй байна. Цамбагарав уулын мөстлийн талбай дулаарлын нөлөөгөөр эрчимтэй хайлсаар байгаагийн зэрэгцээ мөстлийн гаралтай нууруудын тоо болон талбай нэмэгдэж байна. Мөн эдгээрийн хоорондын хамаарлыг тооцож үзэхэд Цамбагарав уулын баруун хойно орших Нурган нуур болон мөстлийн талбай хоорондоо маш хүчтэй эерэг хамааралтай буюу $R^2=0.84$ байна. Урд талын Ногоон нууртай сул хамааралтай буюу $R^2=0.3786$ байна. Нууруудын талбайн өөрчлөлт дүн нь статистик тооцооллын ач холбогдол өндөр байна (P утга=0.001742).

Мөстлийн гаралтай нуур мөснөөс хайлсан усыг нөөцлөх, дахин хуваарилах давуу талтай боловч морений даланд хашигдаж тогтсон байдаг тул идэвхтэй хайлалтын үе болон хур борооны үетэй давхцах үед усны эзлэхүүн ихсэхэд нуур задарч гамшиг учруулах эрсдэлтэй байна. Мөстөл, мөсөн гол нь хуурай, хагас хуурай бүс нутгийн өндөрлөг уулын ус зүйн системд маш чухал хэсэг тул дулаарлын нөлөөгөөр мөстөлд үүссэн өөрчлөлт нь нуур, голын урсац зэрэг бусад хэсгүүд цаашлаад хүмүүсийн ахуй амьдралд нөлөөлж байна. Тиймээс цаашид мөстлийн хайлалт болон түүний ус зүйн сүлжээний судалгааг тогтвортой үргэлжлүүлэн хийх шаардлагатай.

Ном зүй

1. Суши, П. И. П. В. (2021). Формирование И Развитие Моренного (Приледникового) Озера Нурган, Северо Западная Монголия. *Криосфера Земли*, 25(4), 26-35.
2. Agatova, A., Nepor, R., Ganyushkin, D., Otgonbayar, D., Griga, S., & Ovchinnikov, I. (2022). Specific effects of the 1988 earthquake on topography and glaciation of the tsambagarav ridge (Mongolian Altai) based on remote sensing and field data. *Remote Sensing*, 14(4), 917.
3. Bantcev, D. V., Ganyushkin, D. A., Chistyakov, K. V., Volkov, I. V., Ekaykin, A. A., Veres, A. N., Andreeva, T. A. (2019). The Components of the Glacial Runoff of the Tsambagarav Massif from Stable Water Isotope Data. *Geosciences*, 9(7), 297.
4. Borodavko, P., Mel'nik, M., Volkova, E., & Demberel, O. (2022). Intrastructural Transformation of Water-Glacial Resources of Tsambagarav Ridge (Mongolian Altai). *Geography and Natural Resources*, 43(4), 386-393.

5. Borodavko, P. S., Volkova, E. S., Melnik, M. A., Litvinov, A. S., & Demberel, O. (2018). *Climate change impact on high-altitude geomorphological systems*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
6. Brazier, V., Kirkbride, M. P., & Owens, I. F. (1998). The relationship between climate and rock glacier distribution in the Ben Ohau Range, New Zealand. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 80(3-4), 193-207.
7. Dashdeleg, N. (1990). Modern glaciers of Mongolia. *Moscow, Ulaanbaatar: Academy of Sciences of Mongolia and Academy of Sciences of USSR*.
8. Davaagatan, T., & Orkhonselenge, A. (2020). Modern glacier dynamics in Mt. Tsambagarav in the Mongolian Altai Mountain Range. *Mongolian Geoscientist*, 51, 12-20.
9. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadamjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., . . . Abiyu, A. (2021). Study on Relationship of Land Cover Changes and Ecohydrological Processes of the Tuul River Basin. *Sustainability*, 13(3), 1153.
10. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., . . . Gedefaw, M. (2018). Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77, 1-12.
11. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Yiran, X., . . . Abiyu, A. (2018). Observed Trends of Climate and River Discharge in Mongolia's Selenga Sub-Basin of the Lake Baikal Basin. *Water*, 10(10), 1436.
12. Feyisa, G. L., Meilby, H., Fensholt, R., & Proud, S. R. (2014). Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote sensing of environment*, 140, 23-35.
13. Ganyushkin, D., Chistyakov, K., Derkach, E., Bantcev, D., Kunaeva, E., Terekhov, A., & Rasputina, V. (2022). Glacier Recession in the Altai Mountains after the LIA Maximum. *Remote Sensing*, 14(6), 1508.
14. Ganyushkin, D., Otgonbayar, D., Chistyakov, K., Kunaeva, E., & Volkov, I. (2016). Recent glacierization of the Tsambagarav ridge (North-Western Mongolia) and its changes since the Little Ice Age maximum. *LED I SNEG-ICE AND SNOW*, 56(4), 437-452.
15. Ganyushkin, D. A., Chistyakov, K. V., Volkov, I. V., Bantcev, D. V., Kunaeva, E. P., & Terekhov, A. V. (2017). Present glaciers and their dynamics in the arid parts of the Altai mountains. *Geosciences*, 7(4), 117.
16. Golledge, N. R., Keller, E. D., Gomez, N., Naughten, K. A., Bernales, J., Trusel, L. D., & Edwards, T. L. (2019). Global environmental consequences of twenty-first-century ice-sheet melt. *Nature*, 566(7742), 65-72.
17. Herren, P.-A., Eichler, A., Machguth, H., Papina, T., Tobler, L., Zapf, A., & Schwikowski, M. (2013). The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range. *Quaternary Science Reviews*, 69, 59-68.
18. Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Taylor, M., Guillén Bolaños, T., Bindi, M., Brown, S., . . . Ebi, K. (2019). The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5 C. *Science*, 365(6459), eaaw6974.
19. Kadota, T., & Davaa, G. (2004). *A preliminary study on glaciers in Mongolia*. Paper presented at the Proc. of the 2nd Intern. Workshop on Terrestrial Change in Mongolia.
20. Kamp, U., Krumwiede, B., McManigal, K., Pan, C., Walther, M., & Dashtseren, A. (2013). The glaciers of Mongolia. *INSTAAR Occas. Pap*, 61.
21. Khishigsuren, S., & Bayasgalan, A. (2007). Glaciations of Mongolia. *The Korean Journal of Quaternary Research*, 21(2), 34-38.
22. Klinge, M. (2001). Glacial-geomorphologic investigations in the Mongolian Altai: a contribution to the late quaternary landscape and climate history of western Mongolia. *Aachen: Aachener Geographische Arbeiten*, 35, 125.
23. Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Bao, A., Frankl, A., & De Maeyer, P. (2019). Spatiotemporal characteristics of future changes in precipitation and temperature in Central Asia. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1571-1588.

24. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.-O., Roberts, D., Skea, J., & Shukla, P. R. (2022). *Global Warming of 1.5° C: IPCC Special Report on Impacts of Global Warming of 1.5° C above Pre-industrial Levels in Context of Strengthening Response to Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*: Cambridge University Press.
25. Orkhonselenge, A., & Harbor, J. M. (2018). Impacts of modern glacier changes on surface water resources in western and northern Mongolia. *Journal of Water Resource and Protection*, 10(06), 559.
26. Otgonbayar, D. (2013). Modern glaciation of the Mongolian Altai (on the example of Munhhairhan and Sutai mountain ranges and Tsambagarav mountain knot. *Barnaul: Business Connect*.
27. Schneider, A. (2012). Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach. *Remote Sensing of Environment*, 124, 689-704.
28. Sibandze, P., Mhangara, P., Odindi, J., & Kganyago, M. (2014). A comparison of Normalised Difference Snow Index (NDSI) and Normalised Difference Principal Component Snow Index (NDPCSI) techniques in distinguishing snow from related land cover types. *South African Journal of Geomatics*, 3(2), 197-209.
29. Sikdar, P., Chakraborty, S., Adhya, E., & Paul, P. (2004). Land use/land cover changes and groundwater potential zoning in and around Raniganj coal mining area, Bardhaman District, West Bengal: a GIS and remote sensing approach. *J Spat Hydrol*, 4(2), 1-24.
30. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., . . . Gerelmaa, T. (2020). Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugi Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5), 1470.
31. Svendsen, H., Beszczynska-Møller, A., Hagen, J. O., Lefauconnier, B., Tverberg, V., Gerland, S., . . . Zajaczkowski, M. (2002). The physical environment of Kongsfjorden–Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard. *Polar research*, 21(1), 133-166.
32. Tsutomu, K., & Gombo, D. (2007). Recent glacier variations in Mongolia. *Annals of Glaciology*, 46, 185-188.
33. Tugjamba, N. (2021). Hydrography of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 77-100): Springer.
34. Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 64(4), 335-344.
35. Woolway, R. I., Kraemer, B. M., Lenters, J. D., Merchant, C. J., O'Reilly, C. M., & Sharma, S. (2020). Global lake responses to climate change. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(8), 388-403.