

Lake changes in the permafrost region of the Mongolian Altai Mountain (1970-2021)

Saruulzaya Adiya^{1,*}, Nandintsetseg Nyam-Osor¹

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

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

<https://orcid.org/0000-0002-7969-3801>

Received: 30 September 2023 / Accepted: 16 November 2023 / Published online: 28 December 2023

ABSTRACT

In this study, we examined changes in the surface area of the lakes in the permafrost region of the Mongolian Altai Mountain range between 1970 and 2021. We aimed to (1) determine the dynamic changes in the surface areas of the lakes, and (2) compare and analyze them using long-term climate data. We used a topo map (1970), Landsat 5 TM, and ETM+ (2000, 2006, 2011, 2015, and 2020-2021) satellite imagery, and delineated the surface areas of the lakes using normalized difference water index (NDWI). The long-term historical data and satellite imagery were used to determine changes in the number and the surface areas of the lakes (>1 ha). We classified the surface areas of the lakes into five categories (1 - 5 ha, 5 - 10 ha, 10 - 50 ha, 50 - 100 ha, and >100 ha) and compared them over the years. During the study period, the number and the total surface areas of the lakes decreased by -24.3% (or 406 to 307) and -18.6% (or 13093 to 10646 ha), respectively. Among the five categories, the number of small lakes with an area of 1-5 ha was significantly decreased. In contrast, we found that 17 lakes with a total area of 70 ha were newly formed during the past 50 years. The air temperature has increased significantly in the permafrost region of the Mongolian Altai Mountain since 1940. Hence, we conclude that the dynamics of the lakes in the region are attributed to the microclimate regimes, permafrost extent, and glaciers.

Keywords: *Lake changes, Mongolian Altai Nuruu, Permafrost, Climate changes*

Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсийн нууруудын өөрчлөлт (1970-2021)

Саруулзаяа Адъяа^{1,*}, Нандинцэцэг Ням-Осор¹

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

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

<https://orcid.org/0000-0002-7969-3801>

Хүлээн авсан: 2023 оны 09 сарын 30 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2023 оны 11 сарын 16 өдөр /
Нийтлэгдсэн: 2023 оны 12 сарын 28 өдөр

ХУРААНГУЙ

Энэхүү судалгаагаар бид 1970-2021 оны хооронд Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсийн нууруудын өөрчлөлтийг судалсан. Бид (1) Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүс нутагт тархсан нууруудын гадаргын усны динамик өөрчлөлтийг тодорхойлох; (2) цаг уурын урт хугацааны мэдээтэй нууруудын өөрчлөлтийг харьцуулан шинжлэхийг зорьсон. Уг судалгаанд байрзүйн зураг (1970), Landsat 5 TM болон ETM+ (2000, 2006, 2011, 2015, 2020-2021) хиймэл дагуулын зургуудыг ашиглаж, нууруудын гадаргын усны талбайн хэмжээг нормчлогдсон усны индекс (NDWI) ашиглан зурсан. Нууруудын тоо болон гадаргын усны талбайн (>1 га) өөрчлөлтийг тодорхойлохын тулд урт хугацааны мэдээ, хиймэл дагуулын мэдээ ашигласан. Бид нуурын гадаргын усны талбайг хэмжээгээр нь тав ангилж (1 - 5 га, 5 - 10 га, 10 - 50 га, 50 - 100 га, >100 га) хугацаагаар нь харьцуулсан. Судалгааны хугацаанд нуурын нийт тоо болон гадаргын усны талбайн хэмжээ –24.3%-иар (406-аас 307), –18.6%-иар (13093 га-10646 га) тус тус буурсан. Дээрх таван ангиллаас 1 - 5 га талбайтай жижиг нууруудын тоо эрс буурсан. Харин эсрэгээрээ сүүлийн 50 жилийн хугацаанд нийт 70 га талбай бүхий 17 нуур шинээр үүссэн. Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсэд 1940 оноос хойш жилийн дундаж агаарын температур эрс нэмэгдээд байгаа. Эндээс бид бүс нутгийн нууруудын динамик өөрчлөлт нь бичил уур амьсгалын горим, цэвдгийн тархалт, мөстлөгтэй холбоотой гэж дүгнэж байна.

Түлхүүр үгс: Нуурын өөрчлөлт, Монгол Алтайн нуруу, Цэвдэг, Уур амьсгалын өөрчлөлт

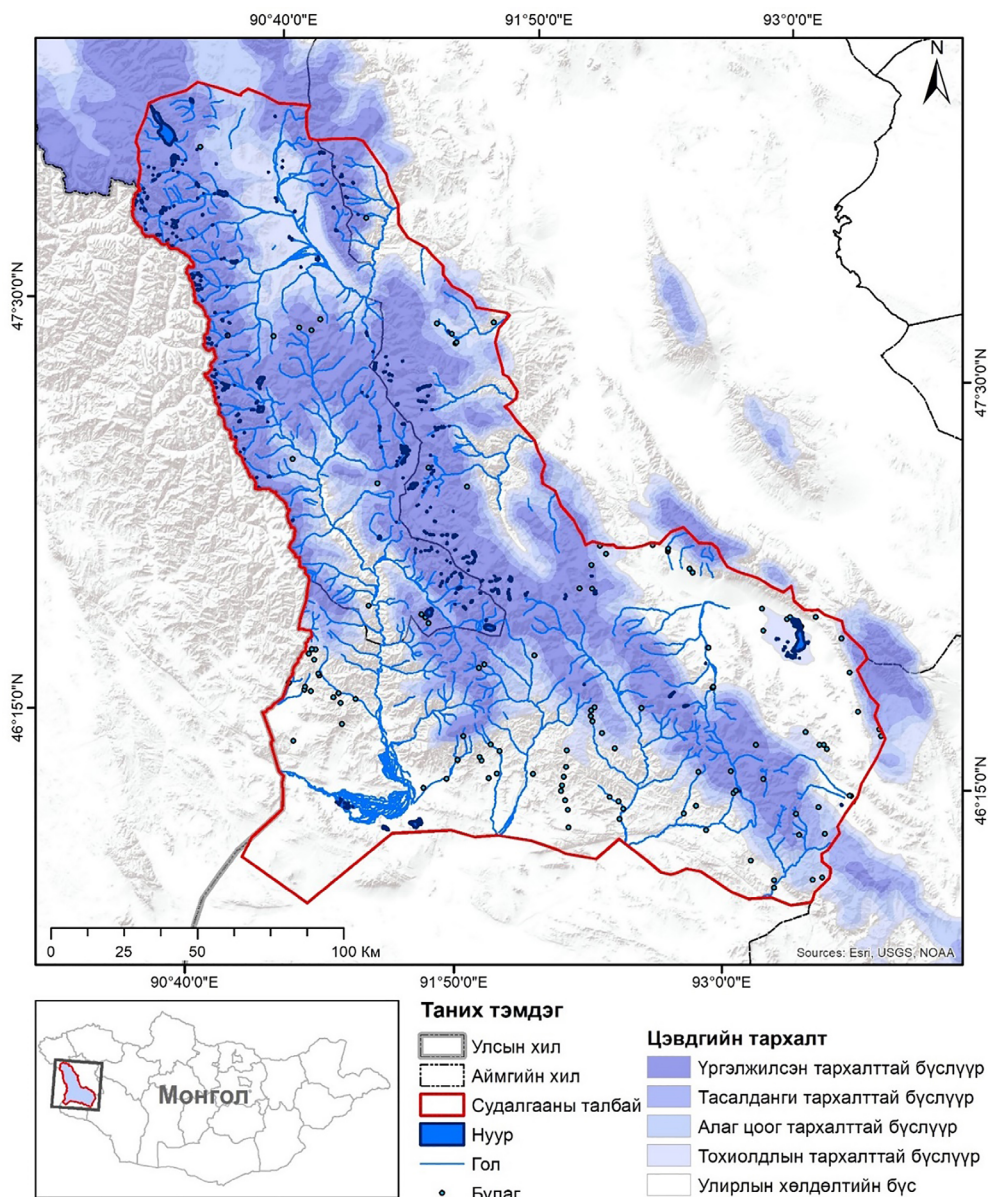
1. ОРШИЛ

Монгол Алтайн нуруу нь газарзүйн байршлын хувьд Монгол орны баруун хагаст, Монгол-Хятадын хил дагуу баруун хойноос зүүн урагш чиглэн 800 гаруй км урт сунаж тогтсон уулс юм. Монгол Алтайн нуруунд бүс нутгийн бичил уур амьсгал, уулзүй, геокриологи, экосистемийн өвөрмөц хэв шинж, бусдаас ялгаатай орчин бүрэлдсэн байдаг. Энэхүү

уулархаг бүс нутагт Монгол орны цэвдгийн 14.8% тархдаг [1]. Монгол Алтайн нурууны далайн түвшнээс дээших өндөр, зүг зовхис нь цэвдгийн тархалт, түүний доод хил оршин байх гол хүчин зүйлс болдог. Түүнчлэн Монгол Алтайн нуруунд манай орны ихэнх мөстлөг, мөсөн гол, гол горхи, нуурууд тархдаг бөгөөд эдгээр нь цэвэр усны чухал нөөц болдог [2],[3]. Цэвдэг нь гадаргын болон гүний ус бүрэлдэн

тогтох гол эх үүсвэр болдог [4]. Цэвдэгт бүс нутагт тархсан нуурууд нь нутгийн иргэдийн усны хэрэгцээ, биологийн олон янз байдал, нүүдлийн шувууд болон загасны амьдрах орчныг бүрдүүлдэг онцлогтой [3],[5].

Уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр цэвдгийн алдрал эрчимтэй явагдаж энэ нь гадаргын усны өөрчлөлт болон нутгийн иргэд, тэдгээрийн аж амьдрал, биологийн олон янз байдалд ихээхэн нөлөөлж байна [6],[7]. Цэвдэг устаж үгүй болсноор тухайн



Зураг 1. Монгол Алтайн нурууны цэвдгийн тархалт ба судалгааны талбайн байршил

бүс нутагт тархсан нуурын ус газрын гүн рүү нэвчих үзэгдэл явагддаг [8]. Учир нь цэвдэг бол нуурын усыг тогтоон барьж байдаг нэгэн төрлийн тусгаарлагч юм. Монгол орны хэмжээнд тархсан нуурууд, термокарстын нуур, мөстлөгийн нууруудын гарал үүсэл, геоморфологи, шинж чанар, усны түвшин, тэдгээрийн өөрчлөлтийн судалгаа нэлээдгүй хийгдсэн байдаг [2],[3],[8]. Жишээлбэл, Walther [3] мөстлөг, цэвдгийн гаралтай нууруудын усны түвшинг Монгол Алтайн нуруунд хийсэн. Харин Saruulzaya [8] Монгол орны цэвдгийн тархалттай бүсүүдэд орших термокарстын нуурын өөрчлөлтийг өндөр нарийвчлалттай хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан тооцсон ба судалгааны хугацаанд уур амьсгалын гол параметрууд болох жилийн дундаж агаарын температур, хур тунадас, ууршилт, усны балансыг тооцож, нууруудын өөрчлөлттэй холбон судалсан. Уг судалгааны үр дүнгээр цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүсэд термокарстын нуурын тоо болон талбай хэмжээ нэмэгдсэн бол тасалданги тархалттай бүсэд нуурууд ширгэж, нуурын тоо буурсан тоо баримт байдаг.

Орчин үед нуурын судалгаанд ихэвчлэн газарзүйн мэдээллийн системийн программ хангамжид тулгуурлан томоохон газар нутгийг хамарсан хиймэл дагуулын мэдээ ашиглан нууруудын оронзай, цаг хугацааны тархалт, өөрчлөлтийг тогтоон гаргадаг. Гэвч Монгол орны баруун хязгаар болох Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүс нутгийн нууруудын өөрчлөлтийн урт хугацааны динамикийг одоог хүртэл нарийвчлан тодорхойлоогүй. Иймд бид энэхүү судалгаагаар дараах зорилго дэвшүүлсэн: (1) Монгол Алтайн уулархаг цэвдэгтэй бүс нутагт тархсан нууруудын гадаргын усны динамик өөрчлөлтийг (1970-2021 он) тодорхойлох; (2) урт хугацааны цаг уурын мэдээ ашиглан нуурын өөрчлөлттэй харьцуулан дүн шинжилгээ хийх.

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

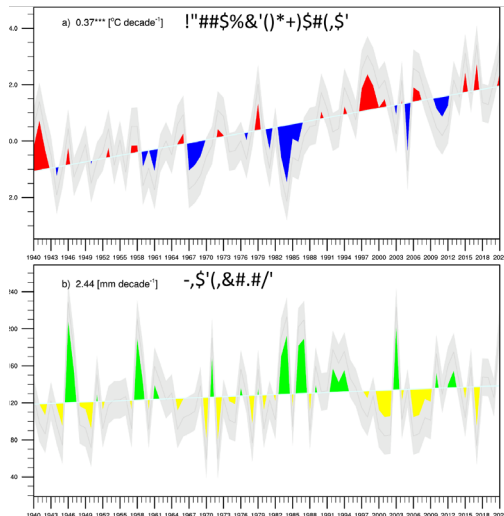
Хиймэл дагуулын мэдээ ба боловсруулалт: Судалгааны талбайн хэмжээнд 1970 оны байрзүйн зураг болон Landsat хиймэл дагуулын 6 өөр хугацааны 6-9 сарын (2000, 2006, 2011, 2015 болон 2020-2021 оны) Green буюу ногоон, Near infrared буюу ойрын хэт улаан туяаны сувгуудыг мэдээг ашиглан [9] нууруудын талбайн өөрчлөлтийг гаргасан. Үүнд Landsat 5 TM хиймэл дагуулын 15, Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын 10 зураг ашиглан дүн шинжилгээ хийв. Landsat хиймэл дагуулын мэдээг ENVI 4.7 программын радиометрийн тохируулга хийн дижитал тоон (DN) өгөгдлийг агаар мандлын дээд (TOA) хилийн спектрийн цацрагийн тусгал болгож хувиргасан. Бид энэхүү судалгаанд анхан шатны боловсруулалт хийж хөрвүүлсэн мэдээг ArcGIS 10.8 программ хангамж ашиглан NDWI (Normalized Difference Water Index) нь ойрын долгионы уртыг ашиглан усны тусгалыг дээд зэргээр нэмэгдүүлэх [10] индексийг судалгааны талбайн хэмжээнд боловсруулж нууруудын гадаргын усны өөрчлөлтийг тодорхойлсон. Ингэхдээ нууруудын талбайг 1-5 га, 5-10 га, 10-50 га, 50-100 га, >100 га гэж тав ангилсан.

Цаг уурын урт хугацааны мэдээ:

Бидний сонгож авсан судалгааны талбай нь Монгол Алтайн нуруунд орших Ховд аймгийн 8 сумын газар нутгийг хамрах бөгөөд Цэцэг, Мөст, Дуут, Жаргалант, Булган, Үенч, Алтай сумууд багтаж байна. Ховд аймагт хамгийн анхны цаг уурын станцыг 1937 онд байгуулж байсан. Аймгийн хэмжээнд одоогоор 16 цаг уурын станц, харуулууд ажилладаг хэдий ч энэхүү судалгааны талбайн хувьд нуурын талбайн өөрчлөлтийг үнэлэхийн тулд хамгийн урт, тасралтгүй мэдээтэй Ховд аймгийн Булган сумын Байтаг цаг уурын станцын 1940-2021 оны агаарын температур болон хур тунадасны мэдээг авч ашигласан.

4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Уур амьсгал болон цэвдгийн өөрчлөлт: Монгол Алтайн нурууны жилийн дундаж агаарын температур, жилийн нийлбэр хур тунадасыг авч үзэхэд агаарын температур сүүлийн 82 жилийн хугацаанд 2.5°C -ээр нэмэгдсэн бол нийлбэр хур тунадас 10 жил тутамд Байтаг станцад 2.73 мм багассан байна (Зураг 2). Энэхүү өөрчлөлт нь судалгааны талбайд тархсан цэвдгийн гэсэлт эрчимжих, нууруудын усны ууршилт нэмэгдэх үндсэн хүчин зүйл болж байна. Өмнөх судалгааны үр дүнгээс харахад судлаачид Монгол оронд уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр агаарын температур дэлхийн дунджаас хоёр дахин их байгааг тогтоосон бөгөөд энэ нь бидний судалгааны талбайд хийсэн урт хугацааны агаарын температурын хандлагатай ижил төстэй үр дүн ажиглагдсан [8].

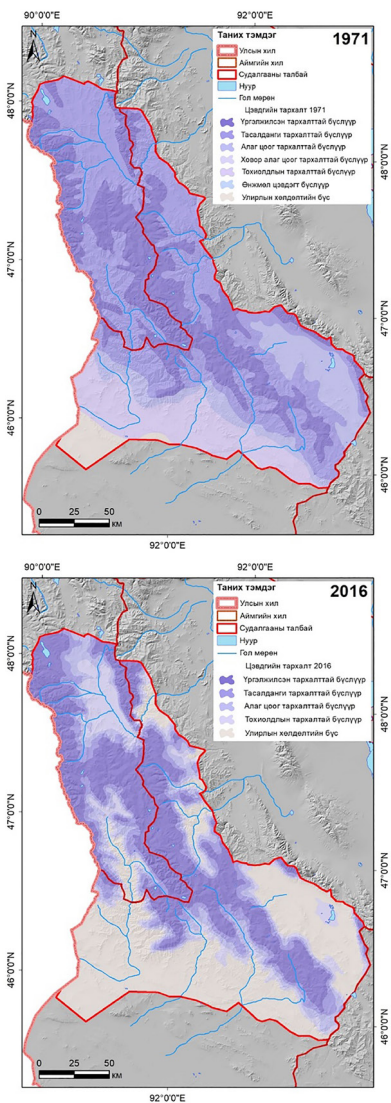


Зураг 2. Судалгааны талбайн жилийн дундаж агаарын температур болон хур тунадасны өөрчлөлт

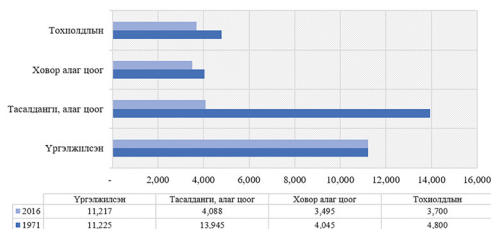
Цэвдгийн өөрчлөлт: Судалгааны талбайн цэвдгийн тархалтын өөрчлөлтийг 1971-2016 оны Монгол орны цэвдгийн тархалтын зургаас харьцуулан гаргасан [1], [11]. Монгол Алтайн нурууны үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрийн цэвдгийн талбайд өөрчлөлт маш бага байсан бол тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрийн эзлэх талбайн хэмжээ нэлээдгүй буурсан байна. Өөрөөр хэлбэл цэвдгийн тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын тархалттай бүслүүрт цэвдгийн алдрал хамгийн эрчимтэй явагдаж байгаа нь харагдаж байна (Зураг 3).

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутгийн хэмжээнд цэвдгийн мониторингийн 33 цооног байдаг бөгөөд ихэвчлэн 10-15 м хүртэлх гүнтэй. Судалгааны талбайн газар нутагт зөвхөн Цэцэг нуурын урт хугацааны мониторингийн цэг байрладаг. Уг цооногт 2010 оноос хойш 10 м гүнд цэвдгийн температурыг хэмждэг боловч уг цооногийн мэдээ нь даталогерийн багетей дуусах, хөрсний ус цооногт орох гэх мэт нөлөөгөөр мэдээний тасалдалт ихтэй. Уг цооногт идвэштэй давхаргын гүн 2.95 м ба цэвдгийн температур 10 м-ийн гүнд -0.116°C байна. Цэвдгийн температур тэг хэмд ойрхон байгаа нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг мэдрэмтгий, цэвдэг устаж үгүй болох эрсдэл өндөртэйг харуулж байна.

Үүнээс гадна бид Монгол Алтайн нурууны 1971 он болон 2016 оны цэвдгийн тархалтын талбайн өөрчлөлтийг бүс тус бүрээр харьцуулахад (Зураг 4) тухайн хугацаанд цэвдгийн үргэлжилсэн бүслүүрийн талбай -0.07% ($11,225-11,217\text{ км}^2$), тасалданги, алаг цоог -70.6% ($13,945-4,088\text{ км}^2$), ховор алаг цоог -13.55% ($4,045-3,495\text{ км}^2$), тохиолдлын тархалттай бүслүүрийн талбай -22.9% ($4,800-3,700\text{ км}^2$)-иар тус тус буурсан байна.

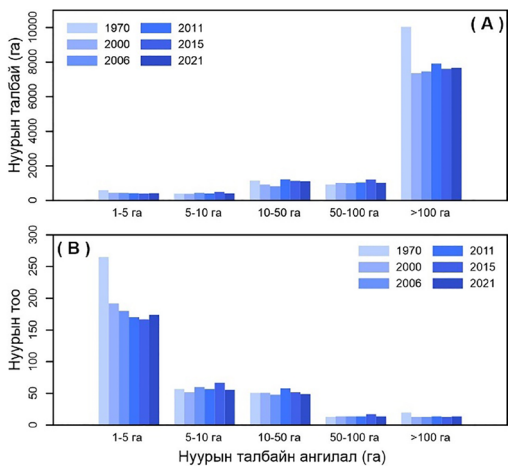


Зураг 3. Судалгааны талбайн цэвдгийн өөрчлөлт



Зураг 4. Цэвдгийн тархалтын талбайн өөрчлөлт

Нууруудын гадаргын усны өөрчлөлт:
Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсэд сонгож авсан судалгааны талбайд тархсан нууруудын гадаргын усны өөрчлөлтийг 1970-2021 оны хооронд тодорхойлсон (Хүснэгт 1). Нууруудыг судалгааны талбайд тархсан байршлаар нь авч үзвэл цэвдгийн үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог бүсэд давамгайлан тархсан байгаа нь судалгаагаар тогтоогдсон. 1970 оноос хойш 1-5 га талбайтай нуурын тоо болон талбайн хэмжээ тасралтгүй буурсан. 5-10 га талбайтай нуурууд 1970-2000 оны хооронд буурсан хэдий ч 2006 онд өссөн бөгөөд 2011 оноос дахин буурсан тоон үзүүлэлт харагдаж байна. Мөн 10-50 га болон 50-100 га талбайтай нуурын тоо болон талбай 2000-2011 оны хооронд өссөн. Харин 100 га-аас дээш талбайтай нуурын гадаргын усны хэмжээ бусад нууруудтай харьцуулахад хамгийн их байна.



Зураг 5. Монгол Алтайн нурууны 1970-2021 оны нууруудын тоо болон гадаргын усны талбайн өөрчлөлт

Хүснэгт 1. Судалгааны талбайд тархсан нуурын өөрчлөлт (1970-2021 он)

Талбайн ангилал (га)	1970		2000		2006		2011		2015		2020-2021	
	тоо	талбай (га)	тоо	талбай (га)	тоо	талбай (га)	тоо	талбай (га)	тоо	талбай (га)	тоо	талбай (га)
1-5	265	600	192	450	180	435	170	420	167	400	174	417
5-10	57	393	52	376	60	442	57	407	67	496	56	410
10-50	51	1140	51	919	48	820	58	1223	52	1137	49	1113
50-100	13	920	14	1020	14	1005	14	1048	17	1214	14	1031
100<	20	10039	13	7357	13	7466	14	7913	13	7610	14	7674
Нийт	406	13093	322	10122	315	10168	313	11011	316	10857	307	10646

1970 онд нийт 13093 га талбайтай 406 нуур, 2000 онд 322 нуур (10122 га), 2006 онд 315 нуур (10168 га), 2011 онд 313 нуур (11011 га), 2015 онд 316 нуур (10857 га), 2020/21 онд 307 нуурууд (10646 га) байсан. Үүнээс харахад судалгааны талбайд нийт нуурын тоо болон талбайн хэмжээ буурсан (99 нуур ба 2447 га).

Талбайн ангиллаар авч үзэхэд (Зураг 5 ба Зураг 6) 1-5 га талбайтай нууруудын тоо 1970 онд 265 (600 га) байсан бол 2020/21 онд 174 (417 га) болж эрс буурсан байна. Харин 5-10 га талбайтай нуурууд 1970-2021 онд бараг өөрчлөгдөөгүй (57-56 нуур) боловч талбайн хэмжээ 17 га-аар нэмэгджээ. 10-50 га талбайтай нуурын тоо 1970 онд 51 (1140 га) байсан бол 2020/21 онд 49 (1113 га) болж буурчээ. 50-100 га нуурын тоо 1970 онд 13 (920 га) байсан бол 2021/21 онд 14 (1031 га) болж бага зэрэг нэмэгдсэн. Харин 100 га-аас дээш талбайтай нууруудын хувьд 1970 оноос хойш 2447 га-аар буурсан. Судалгааны талбайд жижиг нуурын тоо бусад нууруудаас илүү олон байсан. 1970-2021 оны хооронд нийт 70 га талбай бүхий 17 шинэ нуур үүссэн бол 1-5 га талбайтай 40 нуур ширгэж, хатаж алга болсон. Эдгээр ширгэж, хатаж үгүй болсон нууруудын ихэнх нь 1 га орчим талбайтай байсан.

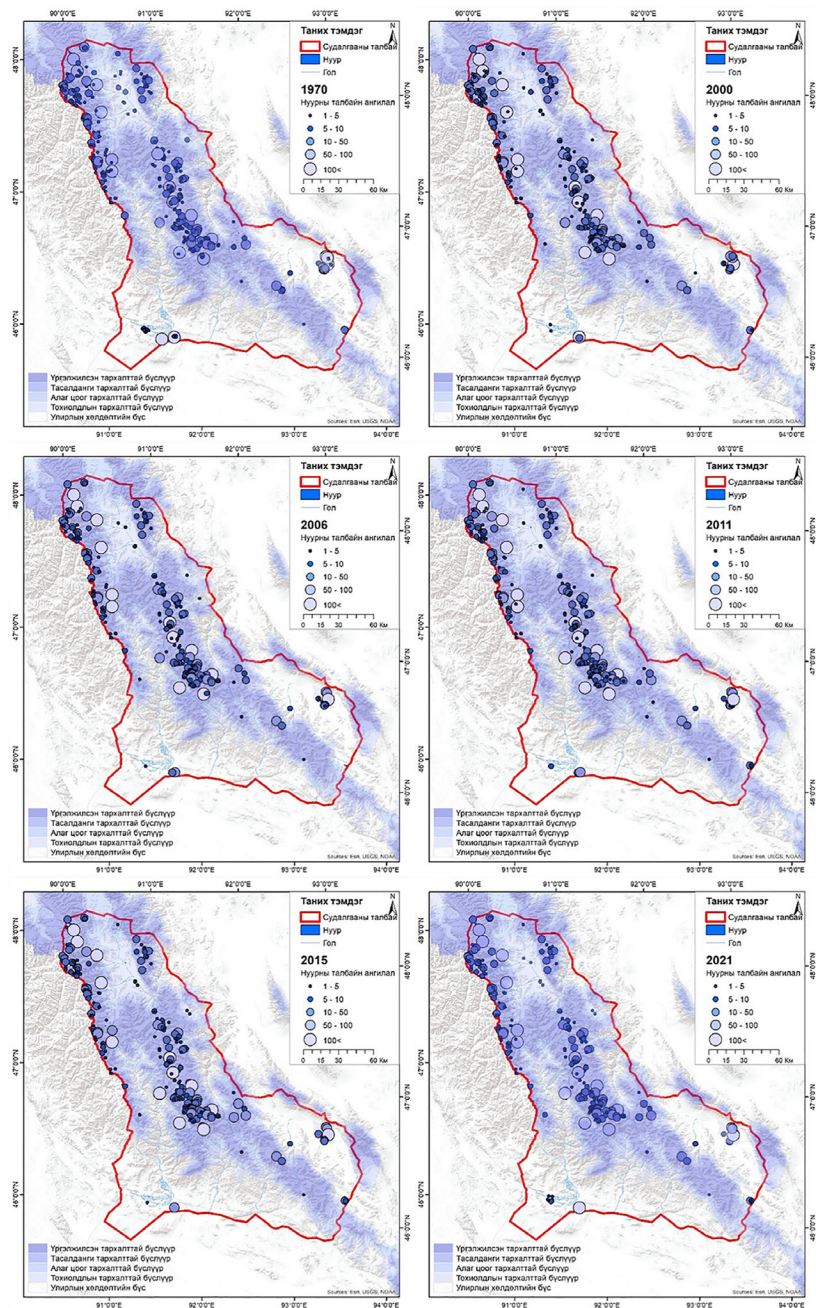
Үүнээс гадна нуурын өөрчлөлтийг бид цэвдгийн тархалт болон уур амьсгалын

өөрчлөлттэй харьцуулан үзэхэд тасалданги, алаг цоог тархалттай бүсүүдэд 1-5 га талбайтай нуурууд хатаж ширгэсэн. Цэвдгийн тархалтыг бүсээр нь харьцуулсан үр дүнтэй илүү хамааралтай байгаа нь ажиглагдсан. Учир нь 1971 оноос хойш Монгол Алтайн уулархаг бүс нутагт орших судалгааны талбайд цэвдгийн тасалданги, алаг цоог бүслүүрийн -70.6% буурсан буюу энэ бүсэд цэвдэг идэвхтэй алдарсан нь нууруудын ширгэлттэй хамааралтай. Sargulzaya [8] Монгол орны цэвдгийн ялгаатай бүсүүдэд нуурын өөрчлөлтийг тогтоосон байдаг. Үргэлжилсэн тархалттай бүсэд нуурууд тоо болон талбайн хэмжээ өссөн бол бусад бүсэд буурсан үр дүнд хүрсэн байдаг. Монгол Алтайн уулархаг бүс нутагт дээрх судлаачийн үр дүнтэй ижил төстэй үр дүн ажиглагдаж байна. Судалгааны үр дүнгээс харахад уур амьсгалын өөрчлөлт болон цэвдгийн алдралын нөлөөнд жижиг нуурууд (1 га талбай) илүү өртөмтгий байгааг тодорхой харуулж байна.

Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлт болон цэвдгийн өөрчлөлтийн гол индикатор бол нуурын өөрчлөлт юм [6]. Өмнөх судалгааны зарим үр дүнгээр уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр Монгол орны мөсжилт ихтэй үргэлжилсэн тархалттай цэвдэгтэй бүсэд шинээр нуурууд үүсэж, нэмэгдсэн үр дүн гарсан

бол мөсжилт багатай тохиолдлын тархалттай бүсэд нуурууд хатаж ширгэсэн байдаг [8]. Энэхүү судалгааг өмнөх

судалгаатай харьцуулахад нуурын гадаргын усны өөрчлөлтийн хандлага нь ойролцоо үр дүнг харуулж байна [8], [12],[13].



Зураг 6. Монгол Алтайн нуурууны нууруудын тархалт болон талбайн өөрчлөлт

5. ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгаагаар Монгол Алтайн нурууны цэвдэгтэй бүсэд тархсан нууруудын талбайн өөрчлөлтийг 1970-2021 оны хооронд тодорхойлов. Мөн нууруудын өөрчлөлтийг цаг уурын урт хугацааны мэдээтэй харьцуулсан бөгөөд дараах дүгнэлтийг хийж байна. Үүнд:

- Судалгааны хугацаанд уур амьсгалын дулаарал эрчимтэй явагдаж байгаа нь зарим үр дүнгээс тодорхой харагдаж байна. Ховд аймгийн Булган сумын Байтаг цаг уурын станцын жилийн дундаж агаарын температур 1940-2021 оны хооронд 2.5°C-ээр нэмэгдсэн бол хур тунадас 10 жил тутамд 2.73 мм-ээр буурсан.
- Монгол Алтайн нуруунд цэвдгийн үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог болон тохиолдлын тархалттай бүслүүрийг дамнан оршино. Урт хугацааны уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр 1971 оноос цэвдгийн алдрал идэвхтэй явагдсан бөгөөд тасалданги, алаг цоог бүслүүрийн тархалт 70.6%-иар буурсан.
- Монгол Алтайн нуруунд 1970 оноос хойш судалгаанд хамрагдсан нийт нуурын тоо 99, талбай 2447 га-аар тус тус буурсан. Өөрөөр хэлбэл тус хугацаанд нийт нуур -24.3%-иар, талбай 18.6%-иар буурсан. Мөн хугацаанд нийт 70 га талбай бүхий 17 шинэ нуур үүссэн бол нийт 40 нуур ширгэсэн. Эдгээр ширгэж, хатаж үгүй болсон нууруудын ихэнх нь жижиг талбайтай нуурууд байсан. Жижиг талбайтай нуурууд (1 га талбай) нь уур амьсгалын өөрчлөлт болон цэвдгийн алдралын нөлөөнд эмзэг өртөмтгий байгаа нь тогтоодсон.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг ШУТС-ийн санхүүжилтээр 2022-2024 оны хооронд хэрэгжиж буй ШУТБИХХЗГ-2022/154 дугаартай “Цэвдгийн алдралын нөлөөгөөр ялгарах хүлэмжийн хийн ирээдүйн хандлагыг загварчлах нь” суурь судалгааны санхүүжилтийн хүрээнд хийсэн.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. Я. Жамбалжав, Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт. Улаанбаатар хот, 2017.
- [2]. Ж. Цэрэнсодном, Монгол орны нуурын каталоги. Улаанбаатар, 2000.
- [3]. M. Walther et al., “Glaciers, permafrost and lake levels at the Tsengel Khairkhan Massif, Mongolian Altai, during the Late Pleistocene and Holocene,” *Geosciences*, vol. 7, no. 3, p. 73, 2017. <https://doi.org/10.3390/geosciences7030073>
- [4]. [4] T. Hiyama, A. Dashtseren, K. Asai, H. Kanamori, Y. Iijima, and M. Ishikawa, “Groundwater age of spring discharges under changing permafrost conditions: the Khangai Mountains in central Mongolia,” *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 1, p. 015008, 2021. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd1a1>
- [5]. T. Alerstam, G. A. Gudmundsson, M. Green, and A. Hedenstrom, “Migration along orthodromic sun compass routes by arctic birds,” *Science*, vol. 291, no. 5502, pp. 300-303, 2001. <https://doi.org/10.1126/science.291.5502.300>
- [6]. G. Grosse, B. M. Jones, and C. D. Arp, “Thermokarst lakes, drainage, and drained basins,” *Treatise on Geomorphology. Glacial and Periglacial Geomorphology*, pp. 325-353, 2013. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00216-5>

- [7]. X. Wu, W. Zhang, and C. Mu, "Permafrost degradation affects hydrology, ecology, and carbon cycle," *Frontiers. Environmental. Science.*, vol. 10, p. 1053941, 2022. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1053941>
- [8]. A. Saruulzaya, M. Ishikawa, Y. Jambaljav, and others, "Thermokarst lake changes in the southern fringe of Siberian permafrost region in Mongolia using Corona, Landsat, and ALOS satellite imagery from 1962 to 2007," *Advances. Remote Sensing.*, vol. 5, no. 04, p. 215, 2016. <https://doi.org/10.4236/ars.2016.54018>
- [9]. US Geological Survey Earth A. Resources Observation Systems (USGS EROS) Data Center(<http://earthexplorer.usgs.gov/>)
- [10]. H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," *Int. Journal. Remote Sensing.*, vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033, Jul. 2006, <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- [11]. G. Gravis, "Geographic extent and thickness of permafrost," in *Geocryological conditions Mongolian Peoples Republic*, 1971, pp. 30-48.
- [12]. A. Magsar, T. Matsumoto, A. Enkhbold, and N. Nyam-Osor, "Application of remote sensing and GIS techniques for the analysis of lake water fluctuations: a case study of ugii lake, Mongolia," *Nature. Environment. Pollution. Technology.*, vol. 20, no. 5, pp. 2051-2059, 2021. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2021.v20i05.022>
- [13]. K. M. Hinkel, R. Frohn, F. Nelson, W. Eisner, and R. Beck, "Morphometric and spatial analysis of thaw lakes and drained thaw lake basins in the western Arctic Coastal Plain, Alaska," *Permafrost. Periglacial. Processes.*, vol. 16, no. 4, pp. 327-341, 2005. <https://doi.org/10.1002/ppp.532>