



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 24 (01)

ISSN: 2312-8534

2024

Улаанбаатар хот

Ойт хээрийн бүсийн нууруудын эзэлхүүнд уур амьсгалын өөрчлөлтийн үзүүлэх нөлөө

Implication of climate change on the volume of lakes in the forest-steppe zone, Central Mongolia

©Энхболд Алтанболд ¹, Ганболд Бямбабаяр ^{1*}, Магсар Амгалан ², Ли Динжун ^{1,3}, Рэнцэндүгэр Болдбаяр ⁴, Галбадрах Цолмонбаяр ^{1,4}, Ядамсүрэн Гансүх ⁵

Altanbold Enkhbold ¹, Byambabayar Ganbold ¹, Amgalan Magsar ², Li Dingjun ^{1,3}, Rentsenduger Boldbayar ⁴, Galbadrakh Tsolmonbayar ^{1,4}, Gansukh Yadamsuren ^{5*}

¹ Геопедологийн лаборатори, Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар, 210646, Монгол Улс

² Физикийн тэнхим, Хэрэглээний Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль, Улаанбаатар 14191, Монгол Улс

³ Өвөр Монголын Мэнхэ газарзүйн мэдээллийн систем технологийн үйлчилгээний ХХК, Хөххот 010022, БНХАУ

⁴ Газарзүйн Мэдээллийн систем, Зайнаас Тандан Судлалын салбар, Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн, Шинжлэх Ухааны Академи, Улаанбаатар 15170, Монгол Улс

⁵ Газарзүйн тэнхим, Токио Метрополитан Их Сургууль, Токио 192-0397, Япон Улс

¹ Laboratory of Geopedology, Department of Geography, School of Art and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

² Department of Physics, School of Applied Sciences, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar 14191, Mongolia

³ Inner Mongolia Menghe Geographic Information Technology Service Co., Ltd., Hohhot 010022, Inner Mongolia, China

⁴ Division of GIS and Remote Sensing, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15170, Mongolia

⁵ Department of Geography, Tokyo Metropolitan University, Tokyo 192-0397, Japan

*Харилцагч зохиогч: byambabayar@num.edu.mn

*Corresponding author: byambabayar@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024.01.02

Засварласан: 2024.02.06

Зөвшөөрөгдсөн: 2024. 02.08

Хураангуй

Монгол орны төв хэсэгт байрлах Хангайн нурууны салбар уулс хооронд орших томоохон 2 нуур нь орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөнд өртөж хүрээлэн буй орчны өөрчлөлтүүд ихээр ажиглагдаж буй бүс нутаг юм. Уур амьсгалын нөөц ихтэй ойт хээрийн бүсэд хамаарах аялал жуулчлалын томоохон түшиц газруудад уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөллийг харьцуулан шинжилсэн судалгаа Монголд хийгдээгүй. Энэ судалгаанд усны нормчлогдсон индекс (NDWI), Чиг хандлагын шинжилгээ болон статистик шинжилгээний аргуудыг ашигласан. Үр дүнгээр Улаагчины Хар нуур орчимд агаарын дундаж температурын чиг хандлагын Манн-Кендаллын утга $Z=2.61$ -аар, Тэрхийн Цагаан нуур орчимд $Z=0.90$ -аар өссөн нь ууришлтыг нэмэгдүүлжээ. Хур тунадас Улаагчины Хар нуур орчимд $Z=-0.65$ буюу огцом буурч, агаарын дундаж температур өссөнөөр нуурын эзэлхүүн $y=-0.0067x+0.5307$ $R^2=0.6957$ огцом буурах хандлага илэрчээ.

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Э.Алтанболд: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, үндсэн бичвэр, Я.Гансүх: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, үндсэн бичвэрийн засвар, үр дүнгийн хяналт, зураглал боловсруулалт М.Амгалан, Г.Бямбабаяр: Өгөгдөл, зураглал боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт, Ли Динжун, Р.Болдбаяр, Г.Цолмонбаяр: Өгөгдөл боловсруулалт, зураглал боловсруулалт хийсэн.

Гэхдээ цаг хугацааны үечлэлээр 1993-1999 он хүртэл усны эзэлхүүн нэмэгдээд, түүнээс хойших хугацаанд огцом буурсан байна. Харин Тэрхийн Цагаан нуур орчимд хур тунадас $Z=2.72$ чиг хандлага өссөн боловч нуурын эзэлхүүн $y=-0.0003x+0.3702$ $R^2=0.0341$ бага зэрэг буурсан нь агаарын температурын өсөлттэй холбоотой байна. Цаг хугацааны хувьд Тэрхийн Цагаан нуур орчимд нуурын эзэлхүүн хур тунадас, агаарын жилийн дундаж температуртайгаа уялдаад харилцан адилгүй хэлбэлзэх онцлог илэрч байна. Судалгаанд хамрагдсан бүс нутаг нь цэвдгийн тасалданги болон үргэлжилсэн бүсэд орших бөөвөд сүүлийн үеийн цэвдгийн алдрал нууруудын эзэлхүүнд дам нөлөө үзүүлсэн байх магадлалтай юм. Цаашид энэ нуурын эзэлхүүнд илэрч буй сөрөг өөрчлөлтүүд нь ирээдүйд улам бүр нэмэгдэх төлөвтэй байгааг тогтоолоо. Энэ судалгаа нь хагас хуурай, хуурай уур амьсгалтай нутгуудад орших нууруудад орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс шалтгаалж усны хэмжээ багасснаас үүдэн цаашид гарах байгаль орчны тулгамдсан асуудлуудыг тодорхойлох загвар судалгаа болох боломжтой.

Түлхүүр үгс: Хангайн нуруу, Тэрхийн Цагаан нуур, Улаагчины Хар нуур, Усны эзэлхүүний өөрчлөлт, Чиг Хандлагын шинжилгээ, Уур амьсгалын өөрчлөлт

Abstract

The two large lakes in the center of Mongolia, located between the Khangay mountain ranges and branch ranges, are the sites of environmental changes affected by recent climate change. There is scarce research in Mongolia that examines and evaluates how climate change affects major tourism destinations that are part of the forest-steppe region with an abundance of climate resources. In this study, Trend analysis, Statistical analysis methods, and Water Normalized index (NDWI) were used. The results indicated that, in the area of Ulaagchiny Khar Lake, Terkhiiin Tsagaan Lake, evaporation increased when the Mann-Kendall value of the average air temperature trend increased by $Z=2.61$ and $Z=0.90$, respectively. Precipitation decreased $Z=-0.65$ or sharply in the vicinity of Ulaagchiny Khar Lake, and the average air temperature increased, resulting in a sharp decrease in the volume of the lake $y=-0.0067x+0.5307$ $R^2=0.6957$. But by time's periodicity, the water's volume increased from 1993-1999 before abruptly declining after that. However, precipitation $Z=2.72$ trend increased near Terkhiiin Tsagaan Lake, while the lake's volume slightly decreased $y=-0.0003x+0.3702$ $R^2=0.0341$, which is associated with an increase in air temperature. In terms of time, the volume of the lake around the Terkhiiin Tsagaan Lake fluctuates according to the average annual temperature and precipitation. Given that the research region is located in the zone of permafrost discontinuous and continuous, probably, the recent permafrost loss has indirectly impacted the lakes' volume. It was determined that the decreased changes in the volume of these lakes are expected to increase in the future. This research may be used as a model to predict future environmental concerns caused by decreased water volume as a result of present climate change in lakes in semi-arid and dry climates.

Keywords: Khangay mountain, Terkhiiin Tsagaan Lake, Ulaagchiny Khar Lake, Water volume change, Trend analysis, Climate change

Оршил

Нуур нь 0,1 км буюу түүнээс илүү талбайтай эх газрын дотоодод орших, экосистемийн онцлог бүхий хуурай газрын гадаргын усны нэг хэлбэр төдийгүй байгалийн харилцан үйлчлэлийн зангилаа юм (Wetzel, 2001).

Төв Азийн өндөрлөгт орших нууруудын газарзүйн байршил, талбайн хэмжээ, усзүйн горим, усны найрлага, шинж чанарт тектоникийн болон геоморфологийн үйл явцууд чухал нөлөө үзүүлсээр иржээ (Цэрэнсодном, 2000; Lehmkuhl, 2016, Lehmkuhl et al., 2018; Klinge et al., 2021a). Түүнчлэн эртний болон орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтүүдээс хамаарч нууруудын усны хэмжээ харилцан адилгүй хувирч өөрчлөгдөөр байна (Jeppesen et al., 2015; Lan et al., 2018; Woolway et al., 2020).

Төв азийн өндөрлөгт орших Монгол орон бол хагас хуурай, хуурай уур амьсгалтай бүс нутгийн заагт оршдог онцлогтой (Цэгмид, 1969; Lehmkuhl, 2016, Lehmkuhl et al., 2018; Klinge et al., 2021a; Yembuu, 2021a). Дундад өргөргийн өндөрлөг газрын гадарга бүхий нутгуудад орчин үеийн дэлхийн дулаарлын эрчим хамгийн тод илэрч байна (Chen et al., 2020). Энэ уур амьсгалын өөрчлөлтөнд нэн эмзэг бүс нутаг бол Монгол орон юм (Nandintsetseg et al., 2021). НҮБ-ийн тодорхойлсноор Монгол орон бол дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт, дулаарлын эрчимтэй нөлөөлж буй 10 орны нэгээр нэрлэсэн байдаг (Zuo et al., 2023). Монгол орны геоморфологийн онцлог, газрын гадаргын хувьд нутгийн баруун болон төв хэсгийн ихэнх талбайг уулархаг нутаг эзэлдэг бол, нутгийн зүүн, зүүн өмнөд хэсэгт талархаг боловч харьцангуй өндөрлөг газрын гадарга зонхилдог онцлогтой (Lehmkuhl, 2016; Doljin, Yembuu, 2021). Энэ эх газрын гадаргын өндөрлөгт оршдог онцлог нь тухайн бүс нутгийн чийг ба дулааны горимд шууд нөлөөлдөг (Lehmkuhl, 2016). Эх газрын гадарга, уур амьсгалын онцлог шинжээс ихээхэн хамаарч нууруудын систем түүний зүй тогтолд захирагдан Монголд бүрэлдэн тогтжээ (Enkhbold et al., 2022a; Dingjun et al., 2023). Эдгээр нуурын системүүд нь уур амьсгалын болон байгаль орчны өөрчлөлтөнд маш эмзэг өртөмтгий байдаг.

Монгол орны газарзүйн байрлал, геоморфологийн онцлогоос хамаарч байгалийн өндөр уулын, ойт хээрийн, хээрийн, цөлийн гэсэн үндсэн 4 бүс ялгардаг (Doljin, Yembuu, 2021b; Dingjun et al., 2023). Эдгээр байгалийн бүсүүдээс ойт хээрийн бүс нь уур амьсгалын нөөц ихтэй нутаг дэвсгэрт хамаарагддагаараа бүс нутгийн эдийн засгийн хөгжил, газар ашиглалт, хүн амын суурьшил, хөдөө аж ахуй, аялал жуулчлал, усны хүрэлцээ хангамжид чухал ач холбогдолтой бүс юм. Орчин үед эдгээр байгалийн бүсүүд (egological zone)-ээс ойт хээрийн бүсэд дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөө хамгийн тод илэрч байна (Cui et al., 2021; Bazhenova, Tyumentseva, 2021; Enkhbold et al., 2024). Энэ өөрчлөлтийн илрэл нь газрын гадаргын усны багасалт, ургамал бүрхэвчийн өөрчлөлтөөр илүү эрчимтэй илрэх болжээ.

Ойт хээрийн бүс нь ерөнхийдөө ХӨ46-50° хооронд Монголд тархсан байдаг (Цэгмид, 1969; Doljin, Yembuu, 2021b). Монгол орны төв хэсэгт орших Хангайн нурууны ар хэсэг бүхэлдээ ойт хээрийн бүсэд багтдаг (Цэгмид, 1969). Хангайн нуруу, түүний салбар уулс нь дунджаар 1500-4000 гаруй метрийн өндөрт өргөгдсөн (Lehmkuhl et al., 2018; Bayasgalan, 2018). Монгол орны нутаг дэвсгэрт бүхлээрээ багтдаг томоохон уулсын систем юм (Bayasgalan, 2018). Хангайн нуруунд эртний ба орчин үеийн уур амьсгал, байгаль орчин, геоморфологийн өөрчлөлтүүд тод илэрдэг онцлогтой бүс нутаг юм (Lehmkuhl et al., 2004; Klinge et al., 2021a; Klinge et al., 2022). Хангайн нуруунд нууруудын харьцангуй ихтэй боловч ихэнх нууруудын байршил нь Хангайн нурууны арын тэгш өндөрлөгт, Хангайн салбар уулс хоорондын хотгорт ихэвчлэн оршино (Enkhbold et al., 2022b). Энэ нууруудын байршлын зүй тогтол нь Монгол орны уур амьсгалын горим, усзүйн сүлжээтэй нягт холбоотой юм.

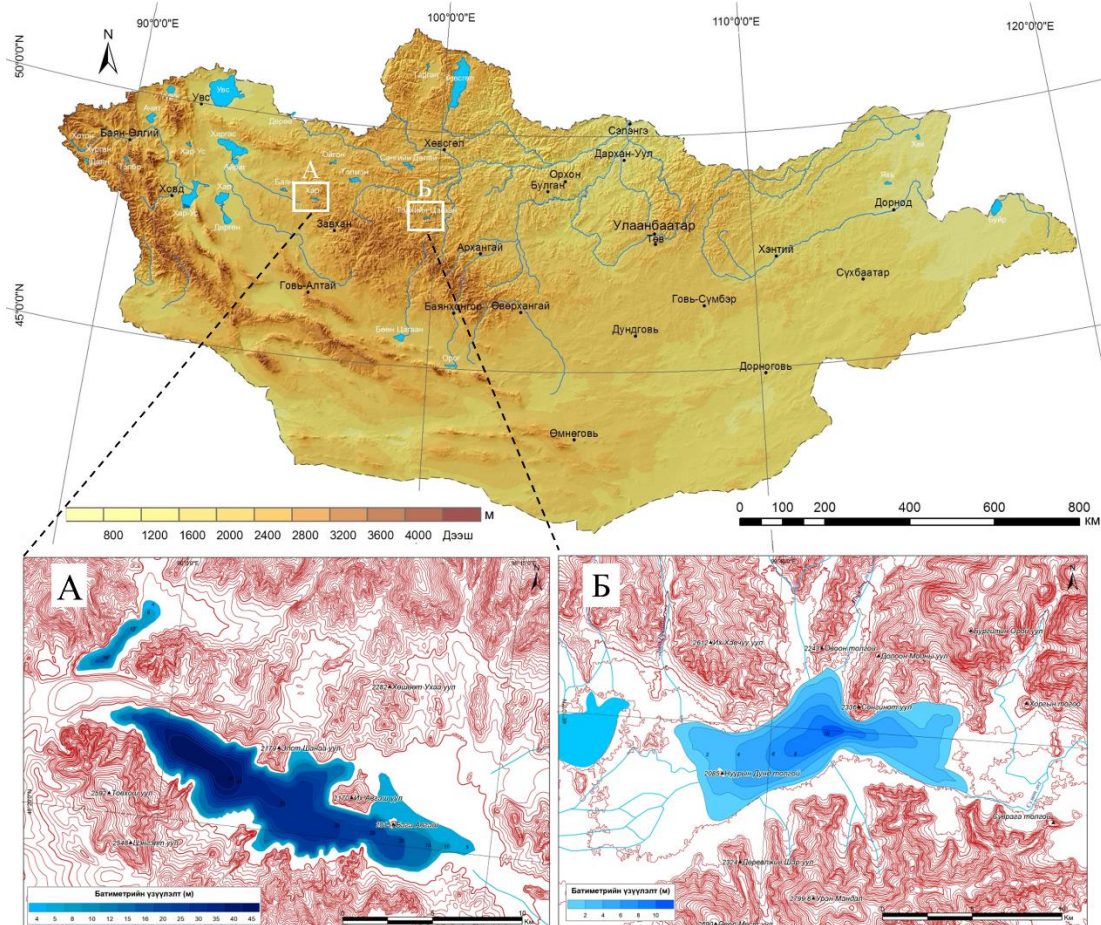
Хангайн нуруунд орших нууруудын судалгаанд хурдсын шинжилгээнд суурилсан палеогазарзүй, палео уур амьсгалын судалгаа, Нууруудын усзүйн горим, усны найрлага, шинж чанарын судалгаанууд ихэвчлэн хэвлэгджээ (Tian et al., 2013; Fukushi et al., 2015; Baatar et al., 2017; Matsumura et al., 2019; Amgalan et al., 2020; Dugerdil et al., 2021; Udaanjargal et al., 2021; Bliedtnet et al., 2022; Enkhbold et al., 2022b). Тухайн судалгаануудад нуурт хуримтлагдсан хурдсын шинжилгээнд сууриж Плейстоценоос Голоцены үеийг хамарсан палеогазарзүйн хувьсал, өөрчлөлтийг тодруулах хандлага үр дүнгүүдэд илэрч байна (Lehmkuhl et al., 2004; Dugerdil et al., 2021; Klinge et al., 2022). Түүнчлэн Хангайн нуруунд орших нуур орчмын геологи, геоморфологи, мөстлөгийн судалгаанууд ч хэвлэгдсэн байдаг (Lehmkuhl et al., 2004; Lehmkuhl, 2016; Lehmkuhl et al., 2018; Bayasgalan, 2018; Altanbold et al., 2019; Klinge et al., 2022; Enkhbold et al., 2022b). Харин орчин үеийн уур амьсгалын нөлөөллөөс шалтгаалсан өөрчлөлтийн судалгаа хийгдээгүй байна. Орчин үед нуурын усны хэмжээнд гарч буй өөрчлөлтийг тодорхойлох нь ирээдүйн чиг хандлагыг прогнолох, урьдчилсан арга хэмжээг зөв зохистой хэрэгжүүлэх менежментийн системийг бий болгоход чухал ач холбогдолтой юм.

Энэ судалгаанд хамрагдсан Хангайн нуруунд орших томоохон 3 нуур нь тектоник хөдөлгөөний нөлөөгөөр үүссэн уулс хоорондын хотгор, хөндий, хагарлын нөлөөгөөр тогтсон нуурууд юм (Altanbold et al., 2019; Enkhbold et al., 2023). Хангайн нуруунд орших орчин үеийн нууруудын хотгорууд нь шинэ тектоник хөдөлгөөний нөлөөгөөр үүсч, дэлхийн орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөлд шууд хамааралтай оршиж байгаа онцлог илэрч байна (Enkhbold et al., 2022b). Нуурын хотгорын геоморфологийн онцлогоос хамаарч нуурын ус зүйн горим тодорхойлогдож байдаг (Enkhbold et al., 2022c).

Энэ судалгаанд Хангайн нурууны салбар уулс хооронд, геоморфологийн өөр өөрөөсөө ялгагдах онцлог бүхий хотгорт орших Улаагчины Хар, Тэрхийн Цагаан нууруудыг сонгож тухайн бүс нутагт орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр ус зүйн горим хэрхэн өөрчлөгдөж буйг харьцуулан тодорхойлсон. Энэхүү судалгааны зорилгод хүрэхийн тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлсэн. Үүнд: (i) Тухайн бүс нутгийн уур амьсгалын чиг хандлагыг тодорхойлох, (ii) Уур амьсгалын өөрчлөлт болон нууруудын эзэлхүүн хоорондын хамаарлыг тодорхойлох, харьцуулах, (iii) Нууруудын эзэлхүүний өөрчлөлт түүний үр дагаврын хамаарлыг илрүүлэх зорилготой.

Судалгааны талбай

Энэхүү судалгаанд Хангайн нурууны салбар уулс хоорондын онцлог геоморфологийн нөхцөлд орших Улаагчины Хар, Тэрхийн цагаан нууруудыг сонгосон. Эдгээр нуурууд нь Монгол орны ойт хээрийн бүсэд орших томоохон нурууд юм (Зураг 1-2).



Зураг 1. Судалгааны талбайн нууруудын газарзүйн байршил А. Улаагчины Хар нуур
Б.Тэрхийн Цагаан нуур

Завхан аймгийн Эрдэнэхайрхан сумын нутагт ХӨ $48^{\circ}20'$, ЗУ $96^{\circ}06'$ -д д.т. дээш 1980 метрийн өндөрт орших цэнгэг уст Улаагчины Хар нуур юм. Уг нуур баруун хойноос зүүн урагш сунаж тогтсон байрлалтай. Нуурын урт 23-24 орчим км, дундаж өргөн нь 3.5-4.5 орчим км (Цэрэнсодном, 2000; Altanbold et al., 2019). Хамгийн гүн хэсэг нь нуурын баруун хэсэгтээ 47 орчим метр гүн бол зүүн хэсэгтээ 30 орчим метр гүнтэй. Нуурын талбай ойролцоогоор 85-91 орчим км² орчимд хэлбэлздэг. Усны үндсэн тэжээл нь хур тунадас ба гүний ус, гаднаас тэжээгдэх томоохон гол байхгүй, мөн гадагш урсгалгүй.

Улаагчины Хар нуурын геоморфологийн онцлог хэв шинж нь нуурыг бараг бүхэлд нь хүрээлсэн нуурын болон пролювын гаралтай хурдас тархсан. Нуурын баруун талаар элсэн хуримтлал түрсэн, зүүн талдаа налуу багатай хөндий гадарга тогтсон. Нуурын урд хэсэгт дундаж өндөрт уулсаар хүрээлэгдсэн, нуурын хойд талаар бүхэлдээ элсэн хуримтлалаар бүрхэгдсэн. Өмнөд талдаа зарим хэсгээр нь элсэн хуримтлал нуур рүү түрж тогтсон байдаг.

Алтанболд (2019) нарын судалгаагаар Улаагчины хар нуурын дундуур баруун хойноос зүүн урагш чигт Хар нуурын томоохон хагарал үүссэн болох нь тогтоогджээ. Энэ судалгаагаар Улаагчины хар нуур орчмын топографи, сансрын, геологийн, соронзон орны гажлын зураглалд

дүн шинжилгээ хийж нуурын хотгор нь хагарлуудын нөлөөгөөр үүссэн болохыг баталжээ (Altanbold et al., 2019). Хар нуур орчимд өргөргийн дагуух хагарлын дагуу нуурын хотгор доош сууж тектоникийн хотгорт уг нуур тогтсон тул гүний усны тэжээлтэй байх магадлал өндөр юм. Уг нуурын усыг тэжээх томоохон гол цутгадаггүй тул гүний тэжээл давамгайлдаг онцлогтой. Улаагчины Хар нуурт гүний усны тэжээгдлийн тооцоо одоогоор хийгдээгүй боловч судлаачдын материалд ул хөрсний болон гүний ус нуурын тэжээлийн үндсэн эх үүсвэр болж болохыг дурдсан байдаг (Grunert et al., 2000; Tserensodnom, 2000; Jadambaa, 2009; Jadambaa, Batjargal, 2012).

Архангай аймгийн Тариат сумын нутагт ХӨ 48°09', ЗУ 99°42'-д д.т.дээш 2054 метрийн өндөрт орших цэнгэг уст Тэрхийн Цагаан нуур юм. Уг нуур нь баруунаас зүүн тийш сунаж тогтсон 16 орчим км урттай, өргөн нь 5-6 орчим км хүрдэг. Нуурын хамгийн гүн хэсэгтээ 19 гаруй метр гүн, дунджаар 6.3 метр гүнтэй бол нуурын талбай 59-62 км²-ын хооронд хэлбэлздэг (Fukushi et al., 2015; Enkhbold et al., 2022b; Enkhbold et al., 2024). Нуурын усны үндсэн тэжээл нь хур тунадас бөгөөд нуурт Тэрхийн гол цутгаж Суман гол эх авч урсдаг.

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын геоморфологийн хэв шинж нь баруун талаараа нуур ба голын хурдаст тал, нуурын хойд хэсгээр дундаж өндөр уулс түүний бэлээр пролювын хурдас түрсэн. Нуурын өмнөд хэсэгт дундаж өндөр уулсаар бүхэлдээ хүрээлэгдэж түүний хормой бэлийн дагуу пролювын хурдас нуур руу түрсэн хэв шинжтэй. Харин нуурын зүүн талд хүрмэн чулуун лаавын тавцангаар хаагдсан. Тэрхийн Цагаан нуурын дундуур баруун хойноос зүүн урд чигт Тэрхийн хагарал, түүнтэй параллель зүүн хойд хэсэгт нь Хоргын хагарал үүссэн. Хоргын хагарлаар лаав бялхаж Тэрхийн голын хөндийг хаахад уг нуур үүссэн болохыг тогтоожээ (Enkhbold et al., 2022b). Нуур үүслийн буюу лаавын хаагдлын эхэн үед нуураас хальсан ус Суман голын хавцлыг дагаж урссанаар Суман гол урсан гарснаар уг нуурын систем үүсчээ (Enkhbold et al., 2022b).



Зураг 2. А. Улаагчины Хар нуур орчмын сансрын зураг, Гэрэл зургийг Г.Түвшин, Б. Тэрхийн Цагаан нуур орчмын сансрын зураг, Гэрэл зургийг Г.Ганзүрх

Судалгааны материал, аргазүй

Судалгаанд нууруудын талбайг ландсат хиймэл дагуулын 30 метрийн нарийвчлалтай зургийг <https://earthexplorer.usgs.gov/> цахим хуудаснаас татаж авсан. Радиометрийн засал хийж боловсруулсны дараа Усны Нормчлогдсон Индекс (NDWI)-ийн тооцоо хийсэн. Нууруудын батиметрийн хэмжилтийг Цэрэнсодном (2000), Даваа (2018) нарын материалыг ашиглав.

Уур амьсгалыг өгөгдлийг Архангай аймгийн Тариат, Завхан аймгийн Нөмрөг, Яруу сумдын 1993-2023 оны сарын дундаж агаарын хэм, нийлбэр хур тунадасны хэмжилтийг мэдээг <https://irimhe.namem.gov.mn/> татаж ашиглав.

Усны нормчлогдсон индекс (NDWI)-ийн тооцоо: Сансрын зурагт хэт ягаан туяаны (NIR) ба богино долгионы хэт улаан туяаны (SWIR) уртыг ашиглан ургамлын навчинд тогтсон усны хэмжээг хэмжих зорилгоор анх ашиглаж байжээ (Gao, 1996). Харин ногоон туяаны (NIR) долгионы уртыг ашиглан усны гардаргын талбайг хэмжих боловсруулж (McFeeters, 1996) улам боловсронгуй болгожээ (McFeeters, 2013). Усны нормчлогдсон индексийг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно. Энд:

$$NDWI = \frac{X_{green} - X_{nir}}{X_{green} + X_{nir}} \quad (1)$$

Энд NDWI- Усны нормчлогдсон индексийн утга, X_{green} - Хэт ногоон туяаны урт, X_{nir} - Хэт ягаан туяаны долгионы урт юм. “NDWI”-ийн тооцоо хийхэд -1-ээс +1 утгын хооронд индексийн утга хэлбэлздэг (McFeeters, 2013).

Чиг хандлагын шинжилгээ:

Манн-Кендалл (МК) шинжилгээний арга: МК (Z)-ын арга нь статистик шинжилгээгээр тодорхой өөрчлөлтийн чиг хандлагыг харуулдаг (Güçlü, 2020). Энэ судалгаанд нуурын эзэлхүүний өөрчлөлт ба уур амьсгалын хамаарлыг шинжлэв. Дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ. Энд:

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

МК хандлагыг тодорхойлоход үндсэн x_i өгөгдлийн хэмжээ ($i = 1, 2, \dots, n-1$) болон x_j ($j = i + 1, 2, \dots, n$) цуваа байна. Өгөгдлийн хэмжээг x_i утгаар тодорхойлно. x_j -г дараах тэгшитгэлээр тооцоолно. Энд:

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

Энд x_j болон x_i нь цаг хугацааны цуваа өгөгдөл юм. Өгөгдлийн цувралын хэмжээ 10 ба түүнээс их бол ($n \geq 10$) болно. МК шинжилгээнд нийлбэрүүдийн утгын тархалтаар тодорхойлдог. Тархалтын $E(S) = 0$ болон өөрчлөлтийг $Var(S)$ дараах тэгшитгэлээр тооцоолно. Энд:

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

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

Энд t нь цаг хугацааны цуваанд холбоотой бүлгийн тоо, мөн t_k нь k th холбоотой бүлэг дэх цувааны хэмжээ юм. Статистик хазайлтыг Z -г дараах байдлаар тооцоолно: Энд:

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

Энд Z нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага нь өсөх, Z нь тэгээс доош үед өөрчлөлтийн хандлага нь буурна. Цаг хугацааны хувьд шинжилгээг дараах байдлаар тодорхойлдог. Энд:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{\text{var}(d_k)}} (k = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

Энэ судалгаанд нуурын эзэлхүүний өөрчлөлтийг цаг хугацааны дарааллаар илэрхийлж тэгшитгэлийн дагуу тодорхойлно. Энд:

$$UB_k = -UF_k \quad (8)$$

$$K = n + 1 - k \quad (9)$$

Энд UB_k болон UF_k нь шинжилгээний цувааг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны дарааллын урвуу хамаарлаар илэрхийлж үр дүнг баталгаажуулдаг. Судалгаанд МК-ийн статистик утга α буюу 0 нь дундаж түвшин буюу үнэмшлийн шугамыг илэрхийлдэг. Харин UF нь хэмжээний өсөлт, бууралтын чиг хандлагыг тодорхойлно. Үнэмшлийн шугамнаас UF -ын хайдлагын утга дээш гарвал өсөлтийг, доош орвол хандлагын бууралтыг илэрхийлнэ. МК-ын хандлагыг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны урвуу хандлага --- UB -г тооцооны алдааг бууруулахад ашиглагддаг. $-UF$ нь --- UB -тэй параллель шугаман дарааллыг үүсгэж байвал өгөгдөл алдаагүй, хандлагын тооцооны алдаа бага (Dorjsuren et al., 2018; Sumiya et al., 2020; Dorjsuren et al., 2021) гэж үздэг.

Шинэлэг (ITAM) чиг хандлагын шинжилгээ: Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ϕ) нь өөрчлөлтийн хандлагыг илрүүлэх, түүний нарийвчлалыг МК аргын үр дүнтэй харьцуулах байдлаар үр дүнг баталгаажуулдаг (Malik et al., 2020). Дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно. Энд:

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

Энд ϕ = Өөрчлөлтийн чиг хандлага, n = өгөгдлийн тоо, x_i = өгөгдлийн цувааны сүүлийн утга, x_j = өгөгдлийн цувааны эхний утга, μ = өгөгдлийн цувааны дундаж утга юм.

Хазайлтын (SSET) шинжилгээний арга: Энэ (β) аргаар нууруудын эзлэхүүний болон уур амьсгалын хоорондын хамаарлын дундаж хазайлтын тооцоог хийдэг (Sumiya et al., 2020). Өгөгдлийн шинжилгээний хазайлтыг Q_i дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно. Энд:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (11)$$

Энд x_j болон x_k өгөгдлийн цаг хугацааны j өөрчлөлтийн ($j > k$) утгууд байна. Хэрэв зөвхөн нэг өгөгдөл байгаа бол $N = \frac{n(n-1)}{2}$; N нь үргэлжлэх хугацаа юм. Олон өгөгдөл байгаа бол $N < \frac{n(n-1)}{2}$; N нийт өгөгдлийн тоо юм. Хазайлтын шинжилгээний (β) дундаж утгыг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно. Энд:

$$\beta = \begin{cases} Q[(N+1)/2] & N \text{ сондгой үед} \\ Q[(N/2) + Q(N+2)/(2)/(2)] & N \text{ тэгш үед} \end{cases} \quad (12)$$

Хазайлтын шинжилгээгээр β -ийн утга нь өсөх эсвэл буурах зүй тогтолд тулгуурлан баталгаажуулалт хийдэг (Malik et al., 2020; Dorjsuren et al., 2022). Дээрх аргуудын нийлбэр тооцоолол нь чиг хандлагын шинжилгээ юм.

Статистик шинжилгээ:

Шугаман регресс: Уур амьсгалын хандлагыг нуурын эзлэхүүнтэй нь цаг хугацааны хувьд өөрчлөлтийн хамаарлыг тодорхойлсон. Регрессийн параметр нь a , регрессийн коэффициент b нь хамгийн бага квадратын аргаар үнэлж дараах тэгшитгэлээр тооцно (Freedman, 2008). Энд:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

Энд $x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n x_i$, $y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n y_i$ нь $b > 0$ байх үед уур амьсгалын хүчин зүйл өсөх, $b < 0$ байх үед буурах хандлагатай байгааг илэрхийлнэ.

Корреляцийн коэффициент: Нууруудын эзэлхүүний өөрчлөлтөд уур амьсгалын нөлөөллийг энэ аргаар тооцсон. Корреляцийн коэффициентын аргын дараах тэгшитгэлээр тооцов (Benesty et al., 2009). Энд:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

Энд: y_i - корреляцийн коэффициент, x_i - үл хамаарах хувьсагч, $\bar{x}$ - үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i - хамаарах хувьсагч, $\bar{y}_i$ - хамаарах хувьсагчийн дундаж утга юм. Энэ тэгшитгэлд $\bar{x}$ болон $\bar{y}$ хоёр хүчин зүйлсийн түүврийн утгуудын дундаж утга, $r_{xy} > 0$ нь эерэг хамаарлыг, $r_{xy} < 0$ нь сөрөг хамаарлыг илэрхийлдэг.

Нууруудын эзэлхүүний тооцоо:

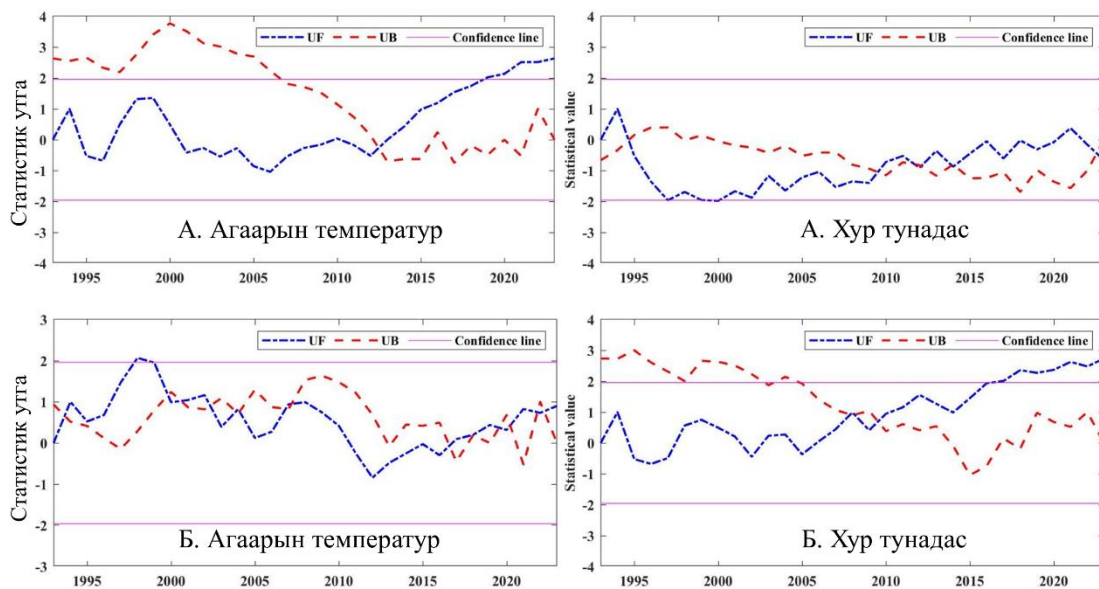
Энэ судалгаанд геометрийн шугаман бус хотгор бүхий хэлбэртэй нууруудын эзэлхүүнийг батиметрийн үзүүлэлтэнд нь тулгуурлан тооцоолсон. Дараах тэгшитгэлээр сүүлийн 30 жилийн хугацааны эзэлхүүнийг тооцов (Zhang et al., 2021; Qi et al., 2022). Энд:

$$\Delta V = \frac{1}{3} (h_2 - h_1) \cdot (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \cdot A_2}) \quad (15)$$

Энд h_1 , A_1 болон h_2 , A_2 нь батиметрийн утгууд болон нуурын талбайн хэмжилтийн өгөгдлүүд юм.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн чиг хандлага: Хангайн нуруунд орших Улаагчины Хар, Тэрхийн Цагаан нууруудын бүс нутгийн уур амьсгалын чиг хандлагыг тодорхойлов (Зураг 3).



Зураг 3. Уур амьсгалын чиг хандлага А. Улаагчины Хар нуур орчимд Б. Тэрхийн Цагаан нуур орчимд

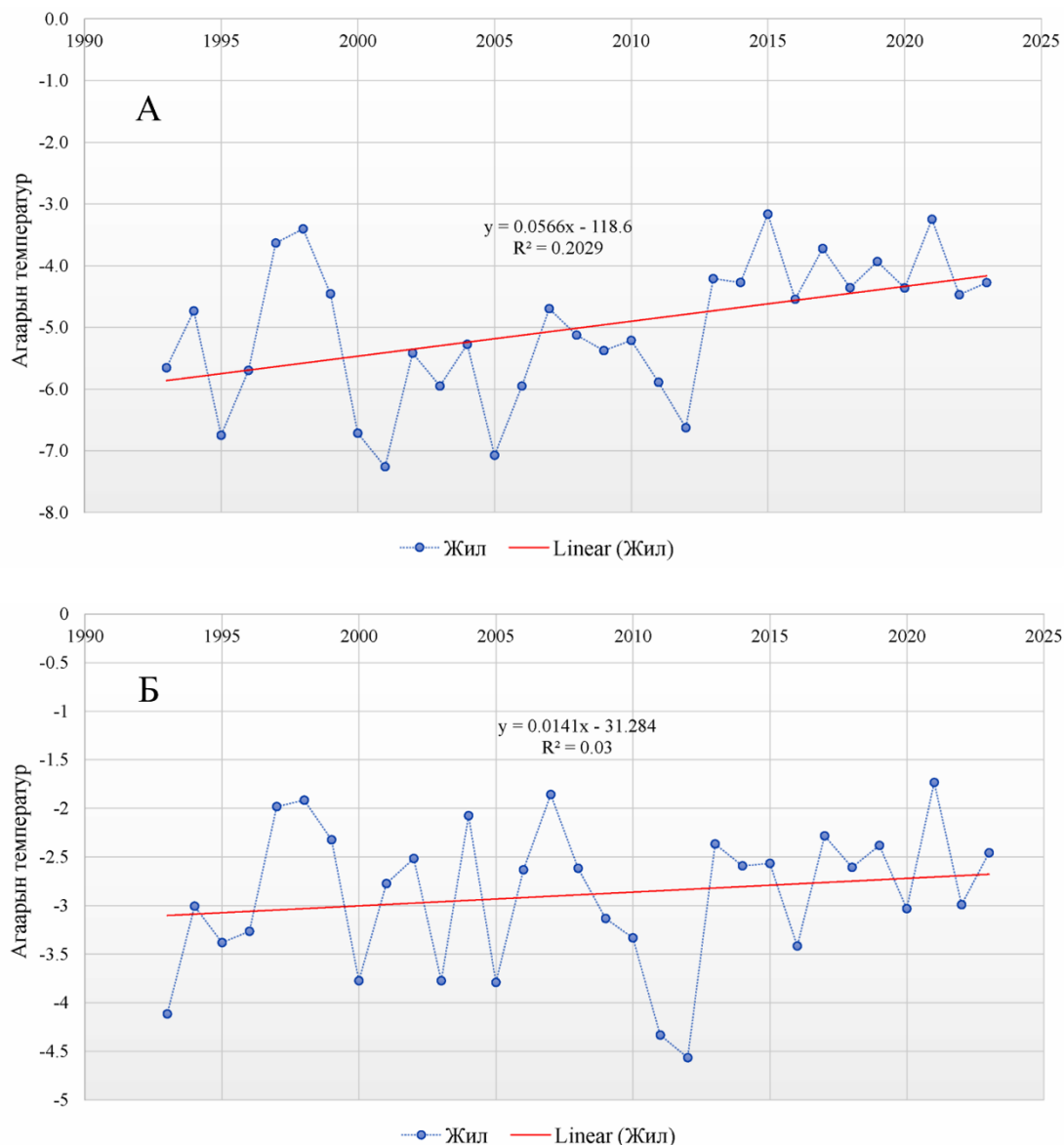
Энд UF болон UB нь хандлагын параметрууд нь хоорондоо параллель урвуу хандлага илэрч байгаа нь өгөгдлийн хэмжилтийн утга болон тооцоо үнэмшилтэй болохыг гэрчилнэ. Чиг хандлагын шинжилгээний тоон утгуудыг авч үзэв (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Уур амьсгалын чиг хандлага

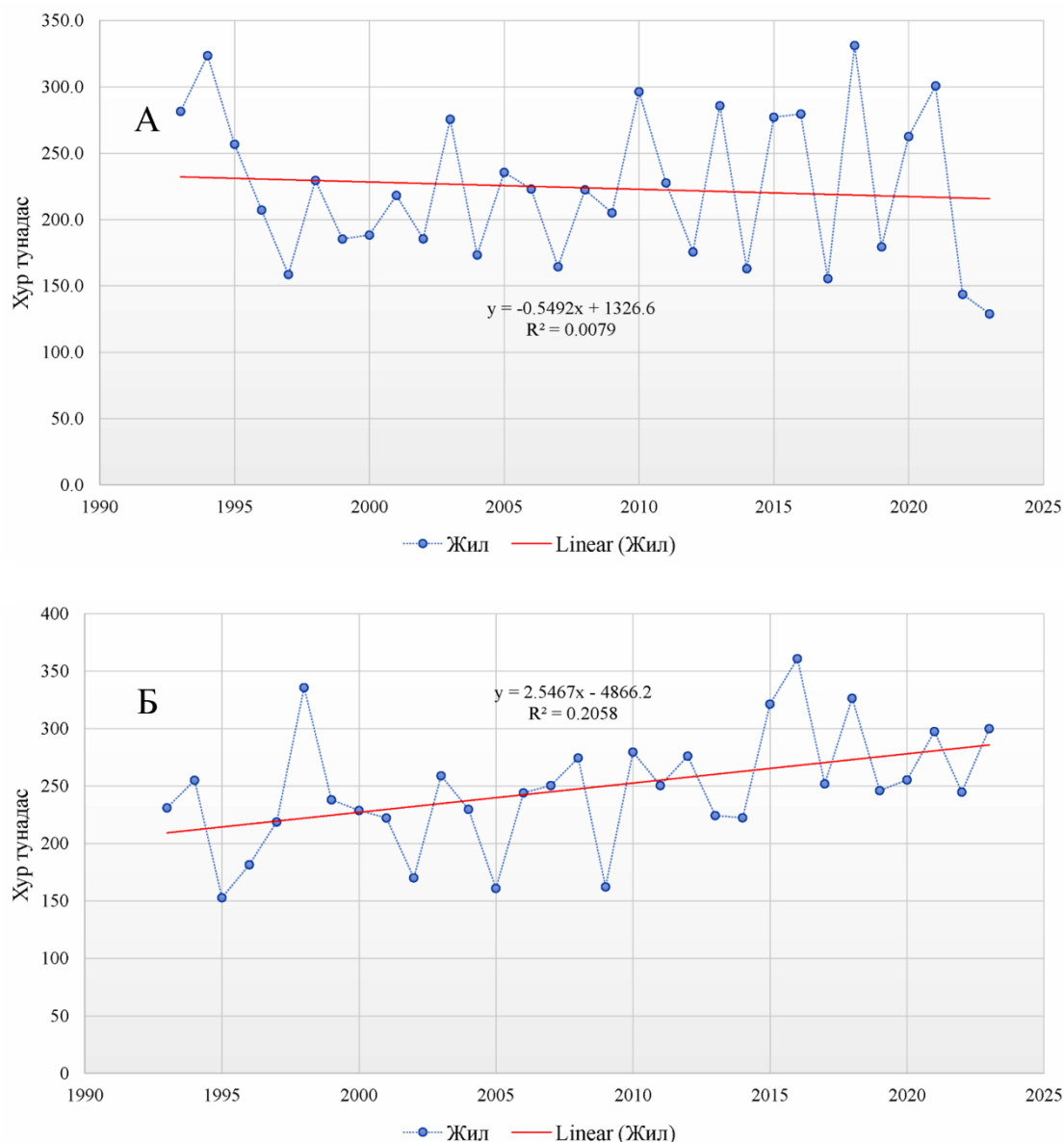
№	Нуурууд	Үзүүлэлт	МК (Z)	ITAM (φ)	SSET (β)
А	Улаагчины Хар	Агаарын температур	2.61**	-0.05	0.06
		Хур тунадас	-0.65*	-0.13	-0.98*
Б	Тэрхийн Цагаан	Агаарын температур	0.90*	-0.02	0.01
		Хур тунадас	2.72**	0.04	2.49**

Энд * 0.1 Ач холбогдлын түвшин бага; ** 0.05 Харьцангуй ач холбогдлын түвшин; *** 0.01 Ач холбогдлыг түвшин өндөр утгуудыг илэрхийлнэ.

Судалгаанд хамрагдаж буй нууруудын уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийг шугаман хандлагаар илэрхийлж харьцуулав (Зураг 4-5).



Зураг 4. Агаарын дундаж температурын өөрчлөлт А. Улаагчины Хар нуур орчимд Б. Тэрхийн Цагаан нуур орчимд



Зураг 5. Хур тунадасны өөрчлөлт А. Улаагчины Хар нуур орчимд Б. Тэрхийн Цагаан нуур орчимд

Чиг хандлагын шинжилгээгээр сүүлийн 30 жилийн хугацаанд Улаагчины Хар нуур орчимд агаарын температурын хандлага МК-ийн статистик утга $Z=2.61$ буюу огцом өссөн байна. Тодруулбал 1993-2013 он хүртэл агаарын дундаж температур харьцангуй тогтвортой байсан бол түүнээс хойших хугацаанд статистик утга огцом нэмэгдэх хандлага илэрчээ. Хур тунадасны хувьд сүүлийн 30 жилийн хугацаанд МК-ийн статистик утга $Z=-0.65$ буюу буурсан байна. Тодруулбал 1993-2003 он хүртэл хур тунадас огцом буураад түүнээс хойших хугацаанд бага зэрэг нэмэгдсэн боловч $\phi=-0.05$, $\beta= 0.06$ буюу чиг хандлагын статистик утга олон жилийн дундаж хэмжээнд хүрээгүй.

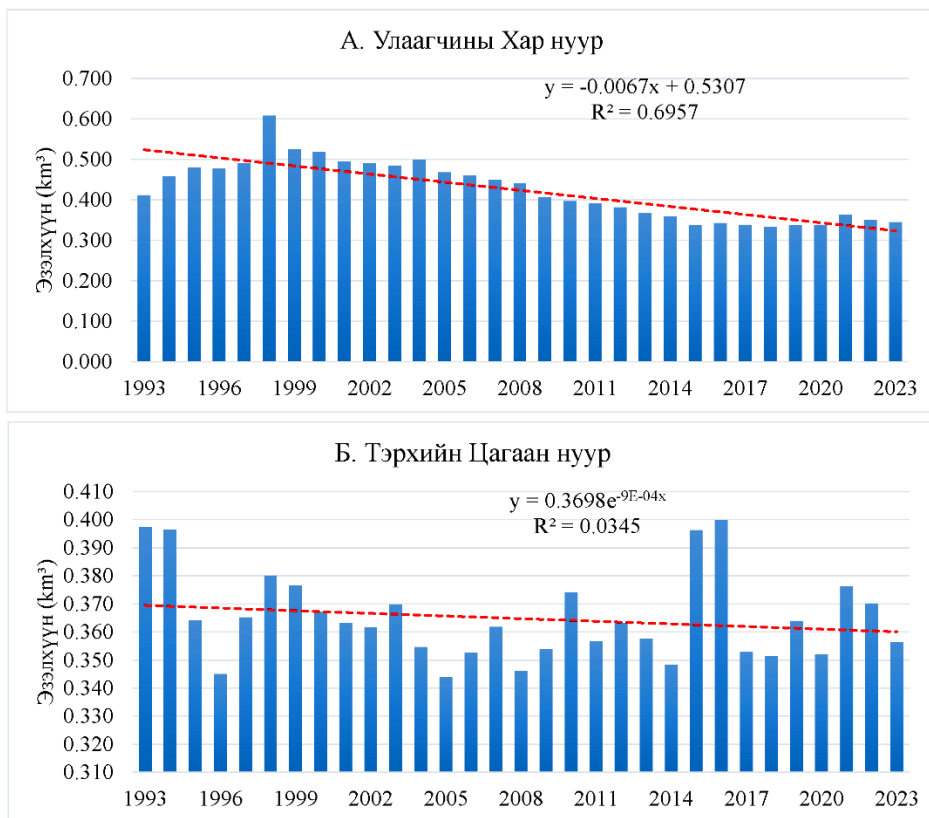
Улаагчины Хар нуур орчимд $Z=-0.65$, $\phi=-0.13$, $\beta= 0.98$ буюу хур тунадас буурах хандлагатай, харин эсрэгээрээ агаарын температур нэмэгдэх хандлагатай байгаа нь тухайн бүс нутагт ууршилтыг нэмэгдүүлж нуурын усны эзэлхүүний огцом бууралтанд нөлөөлжээ. Түүнчлэн статистик шинжилгээгээр сүүлийн 30 жилийн хугацаанд хур тунадасны хэмжээ $y=-0.5492x$

+1326.6 $R^2=0.0079$ буурсан, агаарын дундаж температур $y=0.0566x -118.6$ $R^2=0.2029$ нэмэгдсэн учраас нуурын эзэлхүүний хэмжээ огцом буурахад нөлөөлжээ.

Чиг хандлагын шинжилгээгээр сүүлийн 30 жилийн хугацаанд Тэрхийн Цагаан нуур орчимд агаарын температурын хандлага МК-ийн статистик утга $Z=0.90$, $\phi=-0.02$, $\beta=0.01$ буюу өссөн байна. Тодруулбал 1995-2010 он хүртэл агаарын температур огцом өсөх хандлага илэрсэн. 2011-2015 онд агаарын температурын хандлагын статистик утга буурсан боловч 2016 оноос хойших хугацаанд статистик утга тогтмол нэмэгдэх хандлага илэрчээ. Тэрхийн цагаан нуур орчимд 1993-2010 он хүртэл олон жилийн дундаж хэмжээтэй хур тунадас унадаг байсан бол түүнээс хойших хугацаанд чиг хандлагын шинжилгээгээр МК-ийн статистик утга $Z=2.72$, $\phi=0.04$, $\beta=2.49$ буюу хур тунадас нэмэгдэх хандлагатай байна.

Тэрхийн Цагаан нуур орчимд хур тунадас нэмэгдэх хандлагатай байгаа боловч агаарын температурын МК, ITAM, SSET чиг хандлагын утгууд мэдэгдэхүйц нэмэгдсэн нь тухайн бүс нутагт ууршилтыг нэмэгдүүлж нуурын усны эзэлхүүний бууралтанд нөлөөлжээ. Түүнчлэн статистик шинжилгээгээр сүүлийн 30 жилийн хугацаанд хур тунадасны хэмжээ $y=2.5467x-4866.2$ $R^2=0.2058$ нэмэгдсэн боловч агаарын дундаж температур $y=0.0141x-31.284$ $R^2=0.03$ бага зэрэг нэмэгдсэн учраас нуурын эзэлхүүн бага зэрэг багасахад нөлөөлжээ.

Уур амьсгалын өөрчлөлт ба нууруудын эзэлхүүн хоорондын хамаарал: Хангайн нуруунд орших томоохон 2 нуурын сүүлийн 30 жилийн талбайн хэмжээг сансрын хиймэл дагуулын зурагт тулгуурлан тооцоолж нууруудын батиметрийн хэмжилтэнд үндэслэн усны эзэлхүүний өөрчлөлтийг тооцож гаргасан (Зураг 6).

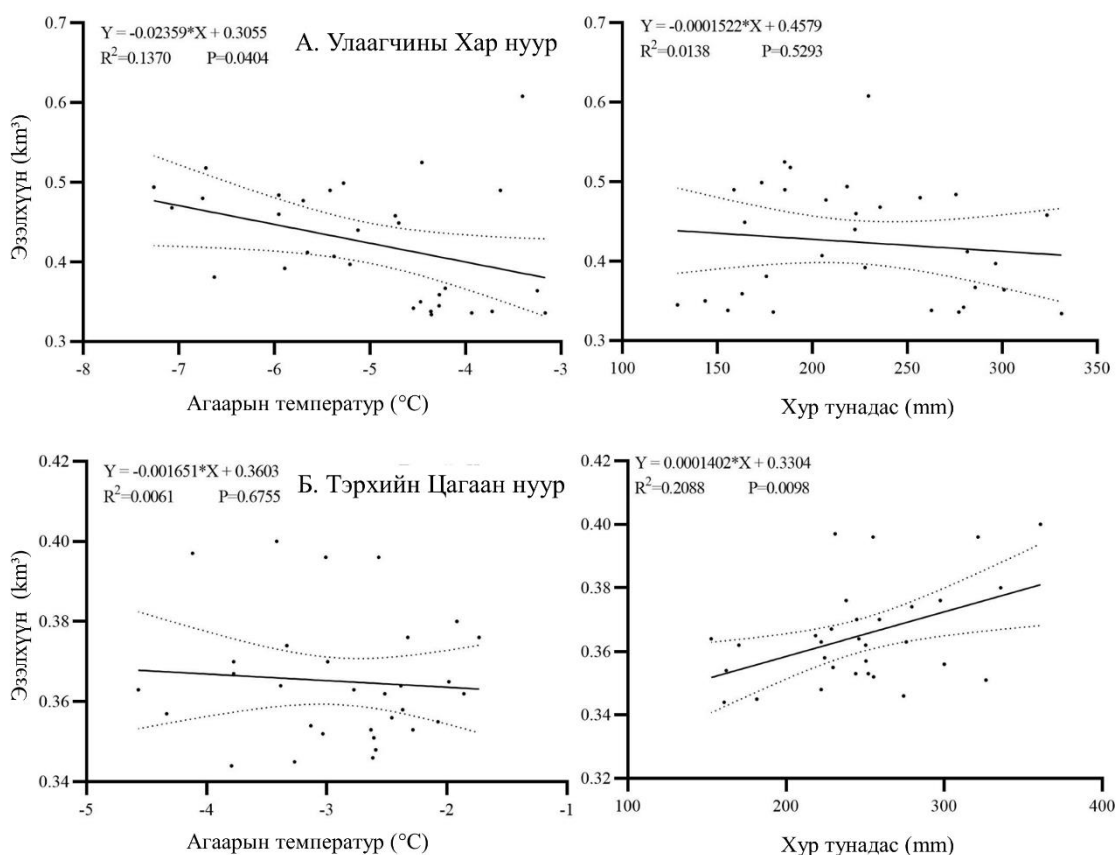


Зураг 6. Нууруудын эзэлхүүний өөрчлөлтийн хандлага

Хангайн нурууны салбар уулсын хооронд усзүйн горим, геоморфологийн өөр өөр хэв шинж бүхий гадаргын онцлогтой хоёр нуурын усны эзэлхүүний өөрчлөлт сүүлийн 30 жилийн хугацаанд харилцан адилгүй байна.

Улаагчины Хар нуур 1993-2023 оны хооронд нуурын эзэлхүүн $y = -0.0067x + 0.5307$ $R^2 = 0.6957$ огцом буурах хандлага илэрсэн. Гаднаас тэжээлгүй эдгээр нууруудын усны эзэлхүүнд орчин үеийн агаарын дундаж температур нэмэгдсэнээс хамаарч гадаргаас уурших усны хэмжээ илэрхий нэмэгдсэн шугаман хандлага хүчтэй хамааралтай буурчээ. Тэрхийн Цагаан нуурын хувьд гүний усны тэжээлгүй, хур тунадас, голын урсцаас шууд хамааралтай байдаг. Тэрхийн Цагаан нуур сүүлийн 30 жилийн хугацаанд нуурын эзэлхүүн $y = -0.0003x + 0.3702$ $R^2 = 0.0341$ бага зэрэг буурсан бөгөөд бусад нууруудтай харьцуулахад харьцангуй тогтвортой байна. Энэ нь голуудын тэжээл, тухайн жилийн хур тунадасны хэмжээтэй шууд уялдаатай байна. Улаагчины Хар нуурын үндсэн тэжээ нь гүний ус бөгөөд цаашид гидрогеологийн нарийвчилсан судалгааг хийж гүний усны тэжээлийн горимтой холбож судлах шаардлагатай юм. Түүнээс гадна тухайн нууруудын орчимд үйлчилгээ эрхэлж буй жуулчны баазуудын нөлөө, малын тоо толгойн өсөлт, жуулчдын тооны өсөлт нуурын усны хэмжээнд нөлөөлсөн байх боломжтой юм.

Нууруудын эзэлхүүний өөрчлөлт болон уур амьсгалын хоорондын хамаарлыг тооцоолов (Зураг 7).



Зураг 7. Нууруудын эзэлхүүний өөрчлөлт ба уур амьсгалын хамаарал

Нууруудын эзэлхүүн болон уур амьсгалын хамаарлаас үзэхэд Улаагчины Хар нуурын эзэлхүүний бууралтанд агаарын дундаж температур илүү хамааралтай боловч хур тунадас урвуу хамааралтай гарсан нь энэ нуураас уурших усны хэмжээ тунадаснаасаа үлэмж хэмжээгээр их байсантай шууд холбоотой юм. Энэ ууршилтын хэмжээнд тухайн нуурыг хүрээлсэн элсэн хуримтлал бүхий геоморфологийн онцлог шинж нөлөөлсөн байх боломжтой юм.

Тэрхийн Цагаан нуурын хувьд хур тунадасны хэмжээ илүү хамааралтай боловч агаарын температурын олон жилийн дундаж өсөлтөөс хамаараад эзэлхүүний бууралтанд нөлөөлсөн байна. Мөн Тэрхийн Цагаан нуурт гаднаас гол, горхины тэжээлтэй учраас усны эзэлхүүн нь харьцангуй

бага буурсан байна. Эндээс ойт хээрийн бүсэд орших нууруудын эзэлхүүний хэмжээнд уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлжээ. Тухайлбал 2000 оноос хойш нууруудын эзэлхүүн буурах хандлага илэрсэн нь Монгол орны хуурайших хандлагатай тохирдог (Dulamsuren, 2022; Enkhbold et al., 2024).

Монгол орны нууруудын талбайн бууралтын хандлагаас үзвэл томоохон 20 гаруй нууруудын эзэлхүүн 1993-1999 оны хооронд хамгийн хэмжээндээ хүрч байсан бол 2000 оноос хойш тогтмол буурах хандлагатай байдаг (Kan et al., 2015; Purevdagva, 2022; Enkhbold et al., 2024). Ойт хээрийн бүсэд орших нууруудын хувьд 1990-ээд оны дунд үед хамгийн их усны эзэлхүүнтэй байсан бол 2000 оноос хойш тогтмол буурсан хандлага илэрч байна.

Улаагчины Хар нуурын хувьд 2000 оноос агаарын температур, хур тунаданы хэмжээтэй уялдан нуурын эзэлхүүн тогтмол буурсан бол Тэрхийн Цагаан нуурын хувьд тухайн жилийн хур тунадасны хэмжээтэйгээ уялдан харьцангуй хэлбэлзэлтэй байв. Судалгаанд хамрагдсан нууруудын усны эзэлхүүний харилцан адилгүй өөрчлөлт нь орчин үеийн дэлхийн дулааралтай холбоотой нь тогтоогдож байна.

Ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбай, эзэлхүүний өөрчлөлт ба уур амьсгал, цэвдгийн хамаарал: Орчин үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс хамаарч хээрийн, ойт хээрийн болон өндөр уулын бүсэд орших нууруудад цаг хугацааны болон эрчмийн хувьд илүү хурдан нөлөөлж байгааг тодорхойлжээ (Enkhbold et al., 2024). Энэ нь уур амьсгалын нөөц ихтэй нутгуудад дулаарлын эрчим илүү тод илэрч буйн нэг жишээ юм. Өндөр уулын бүсэд нууруудын талбайн бууралтад агаарын дундаж хэм, Ойт хээрийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадас, Хээрийн бүсийн нууруудын талбайд агаарын дундаж хэм, Говийн бүсийн нууруудын талбайд хур тунадасны хэмжээ илүү хүчтэй хамааралтай нөлөөлдөг болохыг тогтоожээ (Amgalan et al., 2020; Sumiya et al., 2020; Dulamsuren, 2022; Purevdagva, 2022; Enkhbold et al., 2024).

Монгол орны хэмжээнд хур тунадасны хэмжээ сүүлийн 80 гаруй жилийн хугацаанд 3.3 хувиар нэмэгдсэн боловч агаарын олон жилийн дундаж температур өссөнөөс шалтгаалж нууруудын талбай, эзэлхүүнд төдийлөн нөлөөлөхгүй байна. Агаарын жилийн дундаж температурын өсөлтөөс хамаарч хуурайшлын индексийн тооцоогоор 2000 оноос хойш Монгол орны нутаг дэвсгэрт бараг бүхэлдээ хуурайших хандлага огцом нэмэгдсэн (Dulamsuren, 2022) нь нууруудын талбай, эзэлхүүнд огцом бууралттай шууд холбоотой. Тухайлбал сүүлийн 20 жилийн хугацаанд нууруудын талбай 15400 км²-аас 14300 орчим км² буюу 1000 гаруй км²-аар огцом буурах хандлага илэрсэн байдаг (Purevdagva, 2022).

Нуурын усны тэжээлд тодорхой нөлөөлж болох дараагийн хүчин зүйл нь цэвдгийн алдрал, түүний нөлөө юм. Хангайн нурууны баруун хойд хэсэгт цэвдгийн доод хил д.т.д 1670 метрээс, Зүүн хойд хэсэгт д.т.д 1360 метрээс эхэлдэг (Yamkhin et al., 2022). Судалгаанд хамрагдсан Улаагчины Хар нуур цэвдгийн доод хилээс 300 гаруй метрийн өндөрт тасалданги цэвдгийн бүсэд, Тэрхийн Цагаан нуур 700 орчим метрийн өндөрт үргэлжилсэн цэвдгийн бүсэд оршиж байна.

Улаагчины Хар нууртай хамгийн ойролцоо байрлах Нөмрөгийн цэвдгийн цооногийн температур 0.4°C, Тэрхийн Цагаан нуур орчимд байрлах хоёр цооногийн температур 0.45°C орчим байна (Yamkhin et al., 2022).

Эндээс Хангайн нурууны нуурууд орчмын цэвдгийн бүсэд дулаарал нэмэгдсэн нь цэвдгийн зузаан дээрээсээ багасах үед улирлын гэсэлтийн зузаан түүнийг дагаад нэмэгдэнэ (Lehmkuhl, 2016; Walther, Kamp, 2023). Дулааны улиралд мөнх цэвдгийн дээд хэсэг аажмаар хайлж, хайлсан усны урсгал нь хөрсний нэмэлт чийгийг бий болгодог (Lehmkuhl, 2016; Klinge et al., 2021b). Энэ зүй тогтол нь хөрсний усны хэмжээг нэмэгдүүлэх бөгөөд гадаргын налуу, хажуугийн урсцаар дамжин нуурыг тэжээх үндэслэлтэй юм. Гэхдээ Монгол орны цэвдэг нь мөсжилт багатай (Klinge et al., 2021b; Walther, Kamp, 2023) тул цэвдгийн хайлалт нь нуурыг

тэжээх дагалдагч нөхцөл бүрдүүлэхээс нуурыг бүрэн тэжээх хэмжээнд хүрэхгүй юм. Гэвч энэ өөрчлөлт дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлт нуурын эзэлхүүнд нөлөөлөх боломжтой.

Улаагчины Хар нуурт гүний усны тэжээгдлийн тооцоо одоогоор хийгдээгүй боловч судлаачдын материалд ул хөрсний болон гүний ус нуурын тэжээлийн үндсэн эх үүсвэр болж болохыг дурдсан байдаг (Grunert et al., 2000; Цэрэнсодном, 2000; Jadambaa, 2009; Jadambaa, Batjargal, 2012).

Сүүлийн 80 гаруй жилийн хугацаанд Монгол орны ойт хээрийн бүсэд агаарын дундаж хэм 2.4°C хүртэл нэмэгдсэн. Энэ хэмжээ ялангуяа 2000 оноос хойш огцом өөрчлөгдсөн болохыг тогтоосон (Dulamsuren, 2022). Энэ өөрчлөлт нь дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн эрчмээс 2.5 дахин хурдацтай өөрчлөлт юм. Хэрэв Улаагчины Хар нуурын хотгор хагаралтай холбоогүй, гүний усны тэжээлээс хамааралгүй байсан бол нуурын хэмжээ $85\text{--}91\text{ км}^2$ -ын хооронд хэлбэлзэх боломжгүй, маш их хэмжээгээр татарч, ширгэх магадлалтай юм. Тэрхийн Цагаан нуурын хувьд гүний усны тэжээлээс хамааралгүй, гадаргын усзүйн горимтой шууд холбоотой болох нь нотлогдсон. Цаашид нуурын усны тэжээлийн эх үүсвэрийг ялгах, хувь хэмжээг тодорхойлох тухайд гидрогеологийн болон усны балансын аргуудыг туршиж үзэх нь чухал юм.

Дүгнэлт

Хангайн нуруунд орших томоохон нууруудын эзэлхүүний хэмжээнд уур амьсгалын нөлөө хэрхэн нөлөөлж буй харьцуулан тодорхойлов. Судалгаанд хамрагдсан нуурууд нь ойт хээрийн бүсэд хамаарах боловч усны тэжээлийн уялдаа, усзүйн горим, геоморфологийн харилцан адилгүй хэв шинжээс хамаарч усны эзэлхүүний хувьд эрс ялгаатай өөрчлөлтүүд илэрчээ.

Судалгааны үр дүнгээр Улаагчины Хар нуур орчимд агаарын дундаж температурын чиг хандлагын Манн-Кендаллын утга $Z=2.61$ -аар, Тэрхийн Цагаан нуур орчимд $Z=0.90$ -аар өссөн нь ууршилтыг нэмэгдүүлжээ. Хур тунадас Улаагчины Хар нуур орчимд $Z=-0.65$ буюу огцом буурч, агаарын дундаж температур өссөнөөр нуурын эзэлхүүн $y=-0.0067x+0.5307$ $R^2=0.6957$ огцом буурах хандлага илэрчээ. Гэхдээ цаг хугацааны үечлэлээр 1993-1999 он хүртэл усны эзэлхүүн нэмэгдээд, 2000 оноос хойших хугацаанд огцом буурсан байна. Харин Тэрхийн Цагаан нуур орчимд хур тунадас $Z=2.72$ чиг хандлага өссөн боловч нуурын эзэлхүүн $y=-0.0003x+0.3702$ $R^2=0.0341$ бага зэрэг буурсан нь агаарын температурын өсөлттэй холбоотой байна. Цаг хугацааны хувьд Тэрхийн Цагаан нуур орчимд нуурын эзэлхүүн хур тунадас, агаарын жилийн дундаж температуртайгаа уялдаад харилцан адилгүй хэлбэлзэх онцлог илэрч байгаа боловч 2000 оноос хойш нууруудын эзэлхүүнд огцом өөрчлөлт илэрч багассан нь Монгол орны хуурайших хандлагатай тохирч байна.

Улаагчины Хар нуур орчимд хур тунадас буурах хандлагатай, харин эсрэгээрээ агаарын температур нэмэгдэх хандлагатай байгаа нь тухайн бүс нутагт ууршилтыг нэмэгдүүлж нуурын усны эзэлхүүний огцом бууралтанд нөлөөлжээ. Түүнчлэн судалгаанд хамрагдсан бүс нутгийн нууруудын эзэлхүүнд илэрч буй сөрөг өөрчлөлтүүд нь ирээдүйд улам бүр нэмэгдэх төлөвтэй байгаа нь судалгаагаар тогтоогдож байна.

Судалгаанд хамрагдсан бүс нутаг нь цэвдгийн тасалданги болон үргэлжилсэн бүсэд орших бөгөөд цэвдгийн цооногуудын температур $0.4\text{--}0.45^{\circ}\text{C}$ буюу эерэг утгатай байгаа нь цэвдгийн алдрал нууруудын эзэлхүүнд дам нөлөө үзүүлсэн байх магадлалтай юм. Цаашид цэвдгийн болон гүний усны, гадаргын гол, горхины тэжээлийн уялдааг улам бүр тодруулж усны балансын аргуудыг туршиж үзэх шаардлагатай юм.

Талархал

Энэхүү судалгааг МУИС-ийн өндөр түвшний судалгааны (P2023-4569) төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

Ном зүй

1. Цэгмид, Ш (Ред). (1969). *Монгол орны физик газарзүй*. Улаанбаатар, Монгол: Улсын Хэвлэлийн газар, 99-113
2. Цэрэнсодном, Ж. (2000). *Монгол орны нуурын каталог (цэс)*, Улаанбаатар хот, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр, 67-89
3. Altanbold, E., Ulambadrakh, Kh., Daariimaa, B., Baatarchuluun, Ts., Dash, D. (2019). The morphological origin of the Ulaagchiny Khar Lake. *Geological Issues* 17 (1):144-57.
4. Amgalan, M., Matsumoto, T., Ulaanbaatar, T., Nandintsetseg, N., Erdenesukh, S., Sandelger, D., & Altanbold, E. (2020). Estimation of evaporation from Ogii Lake using the energy budget method. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)*, 76(5), I_301-I_309.
5. Baatar, B., Chuluun, B., Tang, S. L., Bayanjargal, O., & Oyuntsetseg, B. (2017). Vertical distribution of physical–chemical features of water and bottom sediments in four saline lakes of the Khangai mountain region, Western Mongolia. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-14.
6. Bayasgalan, G. (2018). *late cenozoic landscape evolution in the khangay mountains, Mongolia*. North Carolina State University.
7. Bazhenova, O., & Tyumentseva, E. (2021). The impact of current climate changes on morphodynamic regimes of steppes and forest steppes in Southern Siberia. *American Journal of Climate Change*, 10(3), 317-330.
8. Benesty, J., Chen, J., Huang, Y., & Cohen, I. (2009). *Noise reduction in speech processing* (Vol. 2). Springer Science & Business Media.
9. Bliedner, M., Strobel, P., Struck, J., Salazar, G., Szidat, S., Nowaczyk, N., ... & Zech, R. (2022). Holocene temperature variations in semi-arid central Mongolia—a chronological and sedimentological perspective from a 7400-year lake sediment record from the Khangai Mountains. *Frontiers in Earth Science*, 10, 910782.
10. Chen, T., Tang, G., Yuan, Y., Guo, H., Xu, Z., Jiang, G., & Chen, X. (2020). Unraveling the relative impacts of climate change and human activities on grassland productivity in Central Asia over last three decades. *Science of the Total Environment*, 743, 140649.
11. Cui, F., Wang, B., Zhang, Q., Tang, H., De Maeyer, P., Hamdi, R., & Dai, L. (2021). Climate change versus land-use change—What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone?. *Science of the Total Environment*, 759, 143525.
12. Dingjun, L., Altanbold, E., Batsuren, D., Tuvshin, G., Yumchmaa, G., Boldbayar, R., & Gansukh, Y. (2023). Changes in the area of lakes in different natural regions of Mongolia and climate effect. *Geographical Issues*, 23(01), 4-21.
13. Doljin, D., & Yembuu, B. (2021a). The Relief and Geomorphological Characteristics of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 23-50). Cham: Springer International Publishing.
14. Doljin, D., & Yembuu, B. (2021b). Division of the Physiographic and Natural Regions in Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 177-193). Cham: Springer International Publishing.
15. 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.
16. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadamjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., ... & Qin, T. (2022). Trend Analysis of Hydro-Climatic Variables in Lake Baikal Basin. *Water Resources*, 49(1), 46-57.
17. 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.
18. Dugerdil, L., Ménot, G., Peyron, O., Jouffroy-Bapicot, I., Ansanay-Alex, S., Antheaume, I., ... & Joannin, S. (2021). Late Holocene Mongolian climate and environment reconstructions from

- brGDGTs, NPPs and pollen transfer functions for Lake Ayrag: Paleoclimate implications for Arid Central Asia. *Quaternary Science Reviews*, 273, 107235.
19. Dulamsuren, D. (2022). Current seasonal climate change in Mongolia, *4th National Report on Climate Change*, Ulaanbaatar. 6-14
 20. Enkhbold, A., Dingjun, L., Ganbold, B., Yadamsuren, G., Tsasanchimeg, B., Dorligjav, S., Nyamsuren, O., Dorjsuren, B., Gerelmaa, T., Dashpurev, B., Boldbayar, R. (2024). Changes in morphometric parameters of lakes in different ecological zones of Mongolia: Implications of climate change. *Climate Research*, 93, 33-46
 21. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Doljin, D. (2022a). A review of modern trends and historical stages of development of lake research in Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 25-37.
 22. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., & Gerelmaa, T. (2022b). Morphodynamic development of the Terhiin Tsagaan Lake Depression, Central Mongolia: Implications for the relationships of Faulting, Volcanic Activity, and Lake Depression Formation. *Journal of Mountain Science*, 19(9), 2451-2468.
 23. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Tsermaa, B., & Doljin, D. (2022c). Depression morphology of Bayan Lake, Zavkhan province, Western Mongolia: implications for the origin of lake depression in Mongolia. *Physical Geography*, 43(6), 727-752.
 24. Freedman, D. A. (2008). On regression adjustments to experimental data. *Advances in Applied Mathematics*, 40(2), 180-193.
 25. Fukushi, K., Katsuta, N., Jenkins, R. G., Matsubara, K., Takayama, B., Tanaka, Y., ... & Kashiwaya, K. (2015). Centennial-scale environmental changes in Terhiin Tsagaan Lake, Mongolia Inferred from lacustrine sediment: Preliminary results. *Earth surface processes and environmental changes in East Asia: Records from Lake-catchment Systems*, 25-44.
 26. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
 27. Grunert, J., Lehmkuhl, F., & Walther, M. (2000). Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia). *Quaternary International*, 65, 171-192.
 28. Güçlü, Y. S. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-
 29. Jadambaa, N. (2009). Hydrogeology of Western Mongolia. In J. Byamba, (Eds.), *Geology and Minerals of Mongolia: Hydrogeology* (pp. 223–239). Soyombo Printing.
 30. Jadambaa, N., & Batjargal, D. (2012). groundwater resources assessment of Mongolia. Integrated water management national assessment report, volume I. Government of Mongolia, Ministry of Environment and Green Development 283–464
 31. Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Noges, T., ... & Beklioglu, M. (2015). Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 750, 201-227.
 32. Kang, S., Lee, G., Togtokh, C., & Jang, K. (2015). Characterizing regional precipitation-driven lake area change in Mongolia. *Journal of Arid Land*, 7, 146-158.
 33. Klinge, M., Schluetz, F., Zander, A., Huelle, D., Batkhishig, O., & Lehmkuhl, F. (2021a). Late Pleistocene lake level, glaciation and climate change in the Mongolian Altai deduced from sedimentological and palynological archives. *Quaternary Research*, 99, 168-189.
 34. Klinge, M., Schneider, F., Dulamsuren, C., Arndt, K., Bayarsaikhan, U., & Sauer, D. (2021b). Interrelations between relief, vegetation, disturbances, and permafrost in the forest-steppe of central Mongolia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(9), 1766-1782.

35. Klinge, M., Schneider, F., Li, Y., Frechen, M., & Sauer, D. (2022). Variations in geomorphological dynamics in the northern Khangai Mountains, Mongolia, since the Late Glacial period. *Geomorphology*, 401, 108113.
36. Lan, J., Xu, H., Sheng, E., Yu, K., Wu, H., Zhou, K., ... & Wang, T. (2018). Climate changes reconstructed from a glacial lake in High Central Asia over the past two millennia. *Quaternary International*, 487, 43-53.
37. Lehmkuhl, F. (2016). Modern and past periglacial features in Central Asia and their implication for paleoclimate reconstructions. *Progress in Physical Geography*, 40(3), 369-391.
38. Lehmkuhl, F., Klinge, M., & Stauch, G. (2004). The extent of Late Pleistocene glaciations in the Altai and Khangai Mountains. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 2, pp. 243-254). Elsevier.
39. Lehmkuhl, F., Nottebaum, V., & Hülle, D. (2018). Aspects of late Quaternary geomorphological development in the Khangai Mountains and the Gobi Altai Mountains (Mongolia). *Geomorphology*, 312, 24-39.
40. Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-innovative trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-15.
41. Matsumura, Y., Endo, N., Hasebe, N., & Davaasuren, D. (2019). Paleolake reconstruction and estimation of paleo-inflow in the Olgoi Basin, Mongolia, based on GIS and hydraulic analyses. *Island Arc*, 28(3), e12299.
42. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
43. McFeeters, S. K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: a practical approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561.
44. Nandintsetseg, B., Boldgiv, B., Chang, J., Ciais, P., Davaanyam, E., Batbold, A., ... & Stenseth, N. C. (2021). Risk and vulnerability of Mongolian grasslands under climate change. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034035.
45. Purevdagva, Kh. (2022). Water Resources Impact Assessment, *4th National Report on Climate Change*, Ulaanbaatar. 31-45
46. Qi, M., Liu, S., Wu, K., Zhu, Y., Xie, F., Jin, H., ... & Yao, X. (2022). Improving the accuracy of glacial lake volume estimation: a case study in the Poiqu basin, central Himalayas. *Journal of Hydrology*, 127973.
47. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., ... & Girma, A. (2020). Changes in water surface area of the lake in the Steppe Region of Mongolia: A case study of Ugii Nuur Lake, Central Mongolia. *Water*, 12(5), 1470.
48. Tian, F., Herzschuh, U., Dallmeyer, A., Xu, Q., Mischke, S., & Biskaborn, B. K. (2013). Environmental variability in the monsoon–westerlies transition zone during the last 1200 years: lake sediment analyses from central Mongolia and supra–regional synthesis. *Quaternary Science Reviews*, 73, 31-47.
49. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
50. Tucker, C. J., Slayback, D. A., Pinzon, J. E., Los, S. O., Myneni, R. B., & Taylor, M. G. (2001). Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International journal of biometeorology*, 45, 184-190.
51. Udaanjargal, U., Hasebe, N., Davaasuren, D., Fukushima, K., Tanaka, Y., Gankhurel, B., ... & Gerelmaa, T. (2021). Characteristics of Lake Sediment from Southwestern Mongolia and Comparison with Meteorological Data. *Geosciences*, 12(1), 7.

52. Walther, M., & Kamp, U. (2023). Mountain permafrost: A reflection on the periglacial environment in Mongolia. *Geosciences*, 13(9), 274.
53. Wetzel, R. G. (2001). Limnology: lake and river ecosystems. Gulf professional publishing. 66-89
54. 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.
55. Yamkhin, J., Yadamsuren, G., Khurelbaatar, T., Gansukh, T. E., Tsogtbaatar, U., Adiya, S., ... & Natsagdorj, S. (2022). Spatial distribution mapping of permafrost in Mongolia using TTOP. *Permafrost and Periglacial Processes*, 33(4), 386-405.
56. Yembuu, B. (2021). General Geographical Characteristics of Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 1-8). Cham: Springer International Publishing.
57. Yücel, A., Markovic, M., Atilgan, A., Rolbiecki, R., Ertop, H., Jagosz, B., ... & Jakubowski, T. (2022). Investigation of Annual Lake Water Levels and Water Volumes with Şen Innovation and Mann-Kendall Rank Correlation Trend Tests: Example of Lake Eğirdir, Turkey. *Water*, 14(15), 2374.
58. Zhang, G., Bolch, T., Chen, W., & Crétaux, J. F. (2021). Comprehensive estimation of lake volume changes on the Tibetan Plateau during 1976–2019 and basin-wide glacier contribution. *Science of the Total Environment*, 772, 145463.
59. Zuo, P., Dashnyam, Z., & Jiang, P. (2023). Driving Factors and Feasibility Analysis: China–Mongolia Collaboration on Climate Change under the Belt and Road Initiative Framework. *Mongolian Journal of International Affairs*, 24.