



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA

SCHOOL OF ART AND SCIENCES

DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

Geographical Issues

Газарзүйн асуудлууд

Volume 25 (02)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Hydro-climate study of the Orog lake - Tuin river basin, South Mongolia

Khuslen Batjargal¹, Otgonsuren Shar^{2,3*}, Ganbold Boldbaatar^{2,3}

¹Buir lake-Menen steppe basin authority, Ulaanbaatar 16050, Mongolia

²Department of Meteorology and Hydrology, School of Art and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

³Climate and Cryosphere laboratory, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

*Corresponding author: sh.otgonsuren@num.edu.mn

Received: 2024.01.09

Revised: 2025.04.19

Accepted: 2025.04.23

Abstract

Hydrology and climate research at the catchment scale plays a vital role in accurately identifying the characteristics of the hydrological cycle, climatic resources, and water balance components, as well as their interrelationships. This type of research provides a scientific foundation for the sustainable management of water resources, maintenance of ecosystem equilibrium, risk assessment related to climate change, and evidence-based policymaking. Accordingly, we selected the Orog Lake–Tuin River basin as a representative case of Mongolia's semi-arid region and the Central Asian endorheic basins. Using open-access data from the United States Geological Survey (USGS), we analyzed changes in the water surface area of Orog Lake over the past 30 years (1991–2020), employing Landsat 5 and Landsat 8 satellite imagery. Additionally, high-resolution, spatiotemporal climate data from the ERA5 reanalysis dataset—developed by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) and internationally recognized—was extracted across 1440 spatial layers for four key climate parameters. These were processed and analyzed to identify seasonal interactions during July–September, a period when atmospheric, surface, and hydrological processes are most dynamically interconnected. We established statistical relationships among lake area, river discharge, precipitation, and evapotranspiration, and mapped the spatial distribution of key climate indicators across the basin. These findings were evaluated in comparison with observed data. The study revealed that the surface area of Orog Lake has declined by approximately 70 km², while the average discharge of the Tuin River has decreased by 0.5 m³/s. Over the past 30 years, total annual precipitation has dropped by 23 mm, air temperature has risen by about 2°C, and total potential evapotranspiration has increased by 18 mm. A strong correlation ($r = 0.7$) was found between river discharge and precipitation, while the correlation between lake surface area and river discharge was moderate to weak ($r = 0.48$). This suggests that a portion of the river's flow may be infiltrating into subsurface layers (soils and rocks) before reaching the lake.

Keywords: Hydroclimatic variability; Lake surface area; River discharge; Evapotranspiration; Satellite imagery

Орог нуур-Түйн голын сав газрын ус зүй, уур амьсгалын судалгаа

©Батжаргал Хүслэн¹, Шар Отгонсүрэн^{2,3*}, Болдбаатар Ганболд^{2,3}

¹Буйр нуур-Мэнэнгийн талын сав газрын захиргаа, Улаабаатар хот 16050, Монгол Улс

²Цаг уур, ус судлалын тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

³Ус, цаг уур, цэвдэг судлалын лаборатори, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

*Харилцагч зохиогч: sh.otgonsuren@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024.01.09

Засварласан: 2025.04.19

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.04.23

Хураангуй

Ус зүй- уур амьсгалын судалгаа нь гол, нуурын сав газрын түвшинд усны эргэлтийн онцлог, уур амьсгалын нөөц, усны балансын бүрдүүлэгчид тэдгээрийн харилцан уялдааг нарийвчлан тодорхойлж улмаар усны нөөцийн тогтвортой менежмент, экосистемийн тэнцвэрт байдлыг хадгалах, уур амьсгалын өөрчлөлтөөс үүдэх эрсдэлийг урьдчилан тооцоолох, бодлого боловсруулахад чухал суурь судалгаа байдаг онцлогтой. Иймд бид Монгол орны хуурай гандуу бүс нутаг, Төв Азийн гадагш урсацгүй ай савын төлөөлөл Орог нуур-Түйн голын сав газрыг сонгон авч дараах ажлуудыг хийж гүйцэтгэлээ. Нээлттэй өгөгдөл болох АНУ-ын геологийн судалгааны албанаас боловсруулан гаргасан Ландсат-V, VIII хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан Орог нуурын 1991-2020 оны буюу сүүлийн 30 жилийн усан мандлын талбайн өөрчлөлтийг тодорхойлсон. Олон улсын түвшинд хүлээн зөвшөөрөгдсөн уур амьсгалын орон зай, цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтай Европын дунд хугацааны цаг агаарын прогнозын төвөөс гаргасан ERA-5 мэдээ авч гол дөрвөн параметрээр 1440 давхарга ялган тоон хэлбэрт шилжүүлж дүн шинжилгээ хийсэн. Агаар мандал, дэвсгэр гадарга, ус зүйн үйл явц хамгийн хүчтэй харилцан үйлчлэлд ордог 7-9 сарын элементүүдийг тусгайлан авч боловсруулан нуурын талбай, голын урсац, хур тунадас, ууришилт зэргийн холбоо хамаарлыг тогтоосон. Сав газрын түвшинд уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн орон зайн тархалтыг гаргаж хэмжилтийн бодит мэдээтэй харьцуулан үнэлсэн. Судалгааны үр дүнгээс Орог нуурын талбай 70 орчим км²-аар, Түйн голын урсац 0.5 м³/с-ээр тус тус буурсан, хур тунадасны хэмжээ 30 жилийн хугацаанд 23 мм-ээр багасаж, агаарын температур 2 орчим градусар дулаарсан бол нийлбэр ууришилт 18 мм-ээр нэмэгдсэн байна. Голын урсац ба хур тунадас хоорондын корреляцийн коэффициент 0.7 буюу хүчтэй хамаардаг бол нуурын талбайн хэмжээ урсацаас 0.48 буюу хамаарал сул байна. Энэ нь тухайн голын урсац нуурт хүрэлгүйгээр хөрс чулуулагт нэвчиж (шиургаж) байгаатай холбоотой байж болох юм.

Түлхүүр үгс: Ус зүй -уур амьсгалын өөрчлөлт; нуурын усан мандлын талбай; голын урсац; нийлбэр ууришилт; хиймэл дагуулын өгөгдөл

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: **Ш.Отгонсүрэн:** Онолын үндэслэл, аргагүй боловсруулалт, үр дүнгийн тайлал, үндсэн бичвэр, **Б.Хүслэн:** Өгөгдөл цуглуулалт, зураглал, үр дүнгийн боловсруулалт, **Б.Ганболд:** үндсэн бичвэрийн хяналт.

Оршил

Дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт нь бүс нутаг, сав газрын хэмжээнд харилцан адилгүй нөлөө үзүүлж байгаатай холбоотойгоор олон улсын гидрологийн шинжлэх ухааны холбоо (International Association of Hydrological Sciences, IAHS) шийдлээ хүлээж буй 23 асуудлыг Blöschl et al. (2019) дэвшүүлэн гаргасан бөгөөд түүний дотор сав газрын түвшинд гидрологийн үйл явцын орон зай, цаг хугацааны хувьсал өөрчлөлт түүнд гол нөлөөлөгч бөгөөд тодорхойлогч уур амьсгалын хүчин зүйлсийн хамт нарийвчлах тухай тусгасан байдаг. Гол нуурын сав газрын түвшинд ус зүй болон уур амьсгалын судалгаа нь дэлхийн хэмжээнд улам бүр нэмэгдэж буй усны нөөцийн хомсдол, уур амьсгалын өөрчлөлтөөс шалтгаалсан урсацын хэлбэлзэл, усны балансын алдагдал, экосистемийн доройтол зэрэг олон хүчин зүйлийг нарийвчлан тодорхойлдог (БОНХЯ, 2012). Улмаар бүс нутгийн усны нөөцийг үр ашигтай төлөвлөх, гамшгийн эрсдэлийг бууруулах, газрын ашиглалт болон байгаль орчны бодлогыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй боловсруулахад үнэтэй хувь нэмэр оруулдаг (Мижиддорж нар, 2021).

Түвшин (2018) нарын Бөөнцагаан, Орог, Олгой нууруудын олон жилийн болон улирлын талбайн өөрчлөлтийг зайнаас тандан судлалын аргыг ашиглан тодорхойлжээ. Ландсат 5, 8 хиймэл дагуулын 2000-2017 оны хооронд нийт 14 зурагт ус болон ургамлын индексийг бодож түүнээсээ нуурын талбайн хэмжээг гарган авч улмаар сүүлийн 10 гаруй жилийн хугацаанд говийн бүсийн нууруудын талбайд Байдраг, Түйн голын усны түвшин харьцангуй буурснаас шалтгаалсан болохыг тодорхойлжээ (Tuvshin et al., 2018). Улаан нуурын талбайн өөрчлөлт, түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлсийн судалгаанд 1986-2016 онуудын 13 жил нь устай 17 жил нь хуурай байсан болохыг тодорхойлжээ (Бүрэнжаргал, 2018). Уг нуурын талбай хур тунадастай шууд хамаарал ($r=0.68$) байгааг тогтоожээ. Байгалийн янз бүрийн бүсүүдэд дэхь нууруудын морфометрийн өөрчлөлтөөр говийн бүсийн нууруудад хур тунадас илүү хамааралтай болохыг тогтоосон байна (Enkhbold et al., 2024).

Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын хэлбэлзэл, өөрчлөлт болон хүний буруутай үйл ажиллагаанаас шалтгаалсан системийн дарамт нэмэгдэж буйтай холбоотойгоор усны нөөцийн хомсдол дэлхий дахинд тулгамдсан асуудал болоод байна (Huntington et al., 2006; Оюунбаатар нар, 2017; IPCC, 2021). Ийм нөхцөлд усны нөөцийг судлах, удирдах, төлөвлөхөд сав газрын түвшний ус зүй, уур амьсгалын судалгаа онцгой ач холбогдолтой болсон (Blöschl et al., 2019). Сав газар нь уур амьсгалын хүчин зүйлс, гадаргын усны урсац, газрын ашиглалт, хөрсний нөхцөл зэргийг нэгтгэн авч үзэхэд хамгийн тохиромжтой орон зайн нэгж юм (Viviroli et al., 2007; Liu et al., 2020).

Гадагш урсацгүй сав газрууд, ялангуяа Монгол орны хагас хуурай бүсүүдэд усны нөөцийн нөхөн сэргэлт хязгаарлагдмал, уур амьсгалын хүчин зүйлүүд хоорондоо өндөр хамааралтай тул усны тэнцвэрт байдалд тулгарч буй эрсдэл нэмэгдэж байна (Pekel et al., 2016; AghaKouchak et al., 2015). Эдгээр сав газруудад байрлах нуур нь тухайн бүс нутгийн уур амьсгал, усны горимын өөрчлөлтийг цогцоор илтгэх байгалийн үзүүлэлт болж өгдөг (Song et al., 2014). Монгол орны хагас хуурай бүсийг төлөөлөх Орог нуур–Түйн голын сав газар нь уур амьсгалын болон экологийн хувьд эмзэг бүс нутаг бөгөөд гадаргын усны нөөц нь хур тунадас, температурын хэлбэлзлээс шууд хамаарч байна (Munkhjargal et al., 2018).

Хиймэл дагуулын болон re-анализ өгөгдөл нь газрын хэмжилт хангалтгүй тохиолдолд усны судалгаанд чухал үүрэг гүйцэтгэх болсон (Wulder et al., 2012; Behnke et al., 2016). Ялангуяа Landsat хиймэл дагуулын мэдээ нь нуурын талбай, газрын гадаргын өөрчлөлт, цасны бүрхүүл зэргийг орон зай, цаг хугацааны өндөр нарийвчлалтайгаар тодорхойлох боломж олгодог (Feng et al., 2019; Zhou et al., 2021). Харин ECMWF байгууллагаас гаргасан ERA5 өгөгдөл нь уур амьсгалын олон төрлийн үзүүлэлтийг өдөр тутмын болон цаг хугацааны нарийвчлалтайгаар бүрдүүлж, урт хугацааны судалгаанд ашиглахад нэн тохиромжтой эх үүсвэр болдог (Hersbach et al., 2020; Urrutia-Jalabert et al., 2022).

Манай судалгаанд дээрх мэдээллийн эх сурвалжуудыг ашигласнаар, Орог нуур–Түйн голын сав газрын гидроклиматик хэлбэлзлийг 30 жилийн хугацаанд нарийвчлан үнэлэх боломж бүрдсэн юм. Нуурын талбай 70 км²-ээр, голын урсац 0.5 м³/с-ээр буурч, хур тунадасны хэмжээ 23 мм-ээр багасч, агаарын температур 2°C-аар нэмэгдсэн, харин нийлбэр ууршилт 18 мм-ээр нэмэгдсэн зэрэг өөрчлөлтүүд нь бүс нутгийн уур амьсгалын хандлагатай нийцэж байна (Wang et al., 2021; Xue et al., 2020).

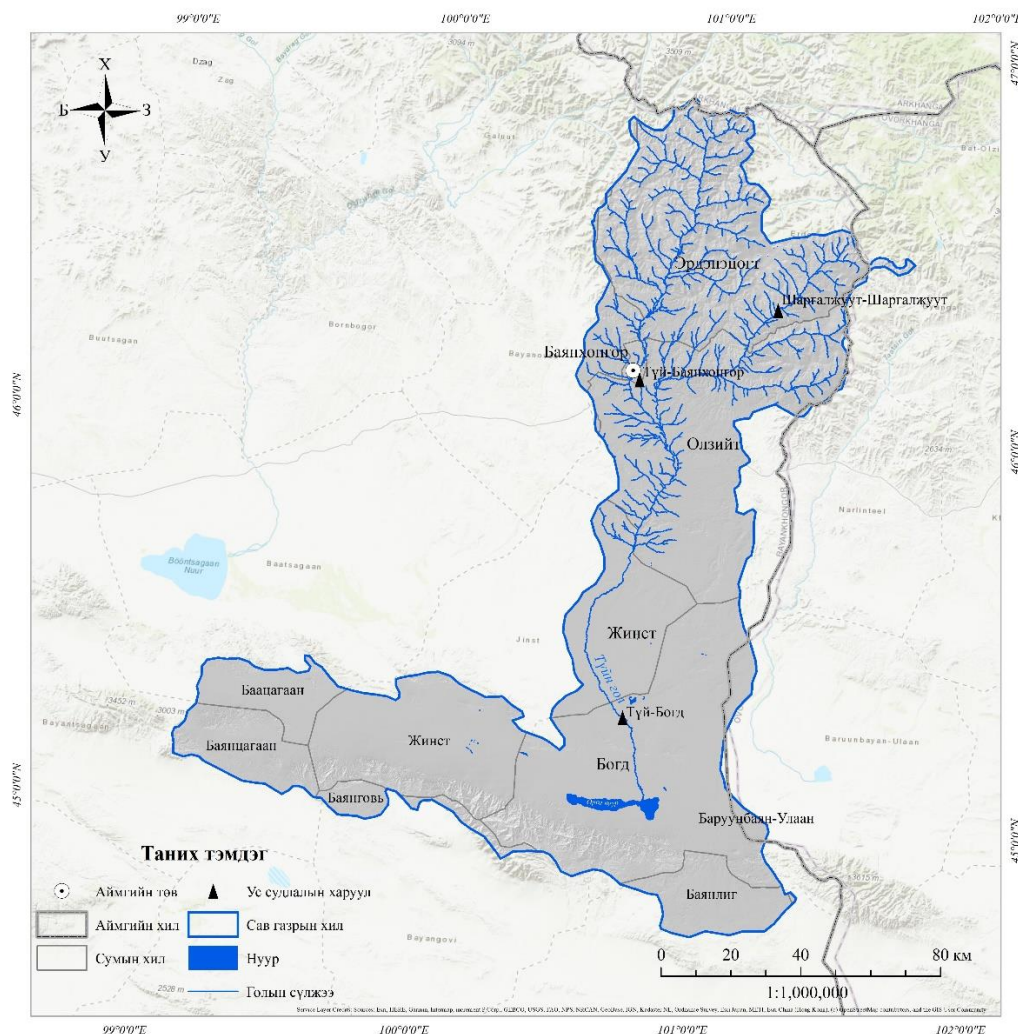
Өмнөх судалгаануудад хагас хуурай бүсийн усны горим хур тунадасны хэмжээнээс өндөр хамааралтай болохыг онцолсон байдаг (Zhang et al., 2015; Yin et al., 2018). Манай судалгаанд ч мөн адил хур тунадас ба голын урсацын хамаарал $r = 0.7$ гэсэн өндөр утгатай байхад, нуурын талбай ба голын урсацын хамаарал $r = 0.48$ буюу дунд түвшний байгаагаас үзэхэд голын усны тодорхой хэсэг хөрсөнд шүүрч, нуурт хүрэлгүй алдагдаж байж болзошгүй (Karlsson et al., 2012; Immerzeel et al., 2020).

Ийм төрлийн судалгаа нь усны нөөцийн төлөвлөлт, экосистемийн хамгаалал, байгаль орчны бодлого боловсруулахад суурь мэдээлэл болохоос гадна гамшгийн эрсдэлийн үнэлгээ, уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицох бодлого боловсруулахад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ (Vörösmarty et al., 2010; Pomeranz et al., 2021). Ялангуяа Монгол орны баруун болон өмнөд бүсүүд уур амьсгалын тодорхой бус байдалд өртөх эрсдэл өндөртэй тул сав газрын түвшинд нарийвчилсан судалгаа хийх хэрэгцээ улам нэмэгдэж байна (Batimaa et al., 2011; Altansukh, Davaa, 2011; Enkhbold et al., 2025). Иймээс энэхүү судалгаа нь хагас хуурай, гадагш урсацгүй сав газрын ус зүйн тэнцвэрт байдалд уур амьсгалын хэлбэлзэл хэрхэн нөлөөлж буйг илрүүлэхийн зэрэгцээ, хиймэл дагуулын болон ре-анализ өгөгдлийг хослуулан ашиглах арга зүйн боломжийг харуулж, дэлхийн төстэй нөхцөлтэй бүсүүдийн судалгаанд үлгэр болохуйц үр дүнг гаргасан юм (Buma et al., 2016; Viviroli et al., 2020).

Маш тогтвортой байгалийн хилтэй, судалгаа шинжилгээний болон байгалийн баялгийг системтэйгээр ашиглах, хамгаалах, бодлого төлөвлөлт явуулахад хамгийн тохиромжтой нэгж орон зай болох гол, нуурын сав газрыг сонгон авч ус зүйн элементүүд, уур амьсгалын зарим үзүүлэлт хоорондын холбоо хамаарлыг тогтоох нь шинжлэх ухаан практикийн өндөр ач холбогдолтой ажил байдаг. Энэ судалгааны ажлын хүрээнд Орог нуурын усан гадаргын талбайг хиймэл дагуулын мэдээгээр үнэлэх, өөрчлөлтийг тодорхойлох, сав газар дахь ус, цаг уурын станц харуулын мэдээ материалд дүн шинжилгээ хийх, голын урсац болон нуурын дүрс зүй, уур амьсгалын хүчин зүйлс, уялдаа, хамаарал, нийлбэр ууршилт зэрэг хэд хэдэн үр дүнгүүдийг тооцоолоход оршино.

Судалгааны талбай

Орог нуур–Түй голын сав газар буюу цутгал гол-нуурын энэхүү систем нь ус зүй, байгаль орчин, менежмент талаасаа маш чухал хийгээд онцлог сав газар болно. Төв Азийн гадагш урсацгүй ай савд багтаж, засаг захиргааны хуваарилалт, нэгжийн хувьд дийлэнх хувь буюу 95 орчим хувь нь Баянхонгор аймгийн нутаг буюу Эрдэнэцогт, Өлзийт, Галуут, Баянхонгор, Жинст, Баянлиг, Баян-Овоо, Богд, зэрэг сумдыг дамнан байршина. Өчүүхэн хэсэг нь зэргэлдээх Архангай, Өвөрхангай зарим сумдад хамаарна (Зураг 1). Орог нуур Богд сумаас өмнө зүгт Их Богд уулын ард Х.Ө 45°03'18", З.У 100° 37' 17"-т оршино. Нууруудын хөндийд орших эртний усан сангийн үлдэгдэл бөгөөд Хангайн нурууны өврөөс эх аван урсах Түйн голын цутгал нуур билээ (Цэрэнсодном, 2000).



Зураг 1. Орог нуур-Түйн голын сав газрын газарзүйн байрлал, ус зүйн сүлжээ

Уур амьсгалын нөхцөл: Эх газрын эрс тэс уур амьсгалын шинж нь юуны өмнө агаарын температурт нөлөөлж өвлийн улирлыг урт, тогтмол хүйтэн, зуныг дулаан болгож хоногийн болон жилийн температурын агууриг маш их хэмжээнд хүрч хавар, намрын улирал богинохон байх явдлын эх шалтгаан болно (Оюунбаатар нар, 2017). Олон жилийн дунджаар уг сав газарт 71.5 мм хур тунадас ордог бол дулааны улиралд үүний 52.2% буюу 37.3 мм хур тунадас унадаг байна. Харин тухайн сав газраас уурших нийлбэр ууршилтын хувьд олон жилийн дунджаар 65.3 мм байдаг ба үүнээс 58.2% нь дулааны улиралд ууршдаг байна (Даваа, 2015).

Ус зүйн сүлжээ: Орог нуур-Түйн голын сав газрын нийт талбай 15735 км² болно. Түйн гол бол 5 дугаар эрэмбийн гол. Энэ гол Хангай нурууны Улаан Байц уулын өврөөс (3482 м), эх аван Орог нуурт цутгана. Голын ус хурах талбай 10105.5 км², урт 245 км, дундаж хэвгий 0.0069. Түйн гол нь Говийн томоохон нуурын нэг болох Орог нуурын үндсэн тэжээл болно (Оюунбаатар нар, 2017).

Голдирлын дундаж өндөр 1747 м, голын сүлжээний нягт бага 0.12 км/км², ус хурах талбайн дундаж өндөр 2002 м байна. Энэ голын савд 1 дүгээр эрэмбийн сайр-горхи 204, тэдгээрийн дундаж урт 2.4 км, ус хурах дундаж талбай 6.8 км², 2 дугаар эрэмбийн горхи 50, 3 дугаар эрэмбийн гол 12, 4 дүгээр эрэмбийн гол 2 байна. Түйн голын эхэнд гадаргын усны сүлжээний нягт ахиу байж, Шаргалжуут, зэрэг томоохон голууд цутгана (Оюунбаатар нар, 2017).

Судалгааны материал

Ландсат хиймэл дагуулын мэдээ: Ландсат хиймэл дагуул хөөргөх төслийг анх 1966 онд санаачилсан бөгөөд 1969-2013 он хүртэл нийт 8 удаа шинэчлэгдсэн. Уг хиймэл дагуул нь дэлхийн өөрчлөлт, хөдөө аж ахуй, зураг зүй, геологи, ойн аж ахуй болон бүс нутгийн төлөвлөлтөд зайнаас тандан судлалыг ашиглах зорилгоор зохион бүтээгдсэн. Ландсат цувралын дагуулууд нь дэлхийн туйл дагуух тойрог замаар эх дэлхийг 27000 км/цаг хурдтайгаар тойрон нисэж 16 хоног бүрд тухайн цэг дээр буцан ирж зураглаж байдаг. Хиймэл дагуул нь дүрс мэдээллийг хүлээн авахдаа толин сканерын зарчим бүхий 16 детекторыг жилийн 4 улиралд ашиглах бөгөөд 185х185 км талбайг 30х30 метрийн орон зайн шийдтэй зураглаж байдаг нь хот суурины тэлэлт, ой модны сүйтгэл болон газар тариалангийн усжуулалт гэх мэт хүний үйл ажиллагаагаар бий болсон өөрчлөлт, байгалийн нөөц баялаг, байгаль орчны хувьсал өөрчлөлтийг судлах хангалттай мэдээллийг хуримтлуулж өгдөг. Хиймэл дагуулын мэдээ ашиглахад тандан судлалын болон ГМС-ийн тусгай программ хангамжуудыг ашиглах шаардлага тулгардаг. Өнөөдөр дэлхий дахинд ArcGIS, ENVI, ERDAS, QGIS, ILWIS, GRASS, GDAL, Super GIS, INTERGRAPH, MapInfo зэрэг маш олон программууд байна. Эдгээрээс дэлхий дахинд болон манай улсад өргөн хэрэглэгддэг, нэлээд их тархсан ArcGIS10.8 программыг судалгаандаа хэрэглэсэн болно. Судалгаанд хамрагдаж буй Орог нуурын усан толион талбайн 1991-2020 оны 30 жилийн хугацааг хамрах ландсат-5, ландсат-8 хиймэл дагуулын 30 метрийн нарийвчлал бүхий сансрын зургуудыг татаж боловсруулалт хийсэн. Ингэхдээ 10-р сарын үүлгүй үеийн зургуудыг сонгон авч нуурын талбайг тооцоолсон болно. Landsat-8 OLI хиймэл дагуулын сансрын зураг нь 11 сувагтай бол, Landsat-5 TM хиймэл дагуулын сансрын зураг нь 7 сувгийн мэдээтэй. Орог нуур-Түйн голын сав газрын ус зүй уур амьсгалын судалгааг хийхийн тулд тухайн сав газарт ажиглалт хэмжилт хийж буй ус, цаг уурын станц, харуулууд энэхүү сав газрын 15,735 км² талбайд хангалтгүй бөгөөд нэг станц, харуулд 3147 км² талбай ноогдож байна. Улмаар уур амьсгалын мэдээг орлох орон зайн өндөр нягтаршилтай 0.1*0.1 градусын нэгж хэмжээстэй буюу 81км² талбайг төлөөлж чадахуйц ре-анализын мэдээ ашигласан. Өөрөөр хэлбэл сав газарт ус, цаг уурын талбайг төлөөлөх таван цэг байгаа бол цаг хугацаа, орон зайн мэдээ ашигласнаар тухайн сав газрыг 200 гаруй цэг төлөөлнө.

Хүснэгт 1. Landsat хиймэл дагуулын сувгийн мэдээ

	Суваг	Долгионы урт /микрометр/	Орон зайн шийд /метр/
Landsat-8 OLI (Operational Land Imager)	Сувар1 (Coastal aerosol)	0.43-0.45	30
	Сувар2 (blue)	0.45-0.51	30
	Сувар3 (Green)	0.53-0.59	30
	Сувар4 (Red)	0.64-0.67	30
	Сувар5 (NIR)	0.85-0.88	30
	Сувар6 (SWIR1)	1.57-1.65	30
	Сувар7 (SWIR2)	2.11-2.29	30
	Сувар8 (Panchromatic)	0.50-0.68	15
	Сувар9 (Cirrus)	1.36-1.38	30
	Сувар10 (TIRS1)	10.60-11.19	100
	Сувар11 (TIRS2)	11.50-12.51	100
Landsat-5 TM	Сувар1 (blue)	0.45-0.52	30
	Сувар2 (green)	0.52-0.60	30

	Сувар3 (red)	0.63-0.69	30
	Сувар4 (NIR)	0.76-0.90	30
	Сувар5 (SWIR1)	1.55-1.75	30
	Сувар6 (TIRS)	10.40-12.50	30
	Сувар7 (SWIR2)	2.08-2.35	30

ERA5 Ре-анализын мэдээ: Орог нуур-Түйн голын сав газрын ус зүй уур амьсгалын судалгааг хийхийн тулд тухайн сав газарт ажиглалт хэмжилт хийж буй ус, цаг уурын станц, харуулууд энэхүү сав газрын 15735 км² талбайд хангалтгүй бөгөөд нэг станц, харуулд 3147 км² талбай ноогдож байна. Улмаар уур амьсгалын мэдээг орлох орон зайн өндөр нягтаршилтай 0.1*0.1 градусын нэгж хэмжээстэй буюу 81 км² талбайг төлөөлж чадахуйц Ре-анализын мэдээ ашигласан. Өөрөөр хэлбэл сав газарт ус, цаг уурын талбайг төлөөлөх таван цэг байгаа бол цаг хугацаа, орон зайн мэдээ ашигласнаар тухайн сав газрыг 200 гаруй цэг төлөөлсөн. Европын дунд хугацааны цаг агаарын мэдээ прогнозлох төвөөс бэлтгэн гаргадаг ERA5 цаг хугацаа, орон зайн мэдээг орчин үед эрдэмтэн судлаачид судалгаандаа ихээр ашиглах болсон. ERA5 Ре-анализын мэдээ нь тухайн бүс нутгийн орон зайг бүрэн төлөөлж чадах мэдээгээр хангадаг учир ус, цаг уурын ажиглалт, хяналтын сүлжээний нягтшил багатай манай орны хувьд судалгаа шинжилгээ хийхэд нэн тохиромжтой дата бааз юм. ERA5 нь 1950 оноос хойших уур амьсгалын бүх мэдээг багтаасан байдаг ба гишүүн орны судлаачид болон гишүүд өөрсдийн хийж буй судалгаанд тохируулж цаг хугацаа, орон зайн өндөр нарийвчлал бүхий мэдээ, материалыг хурдан шуурхай авч ашиглах боломжийг олгодог давуу талтай юм. Орог нуур-Түйн голын сав газрын ус зүй, уур амьсгалын судалгаанд шаардлагатай хур тунадас, агаарын температур, нийлбэр ууршилт болон боломжит ууршилтын 1991-2020 оны гучин жилийн мэдээг уг дата сангаас авч ашиглалаа. ECMWF-с ERA5 төрлийн мэдээг олон янзаар бэлтгэн гаргадаг ба энэхүү судалгаанд ERA5-Land 1950 оноос өнөөг хүртэлх сарын дундаж мэдээг авч ашигласан.

Хүснэгт 2. ERA5 өгөгдлийн мэдээ

Өгөгдлийн төрөл	Тор хэлбэртэй
Хамрах хүрээ	Дэлхий
Хэвтээ тэнхлэгийн нарийвчлал	0.1° x 0.1°; Үндсэн нарийвчлал нь 9 км.
Босоо чиглэлийн нарийвчлал	Газрын гадаргуугаас дээш 2 метрээс эхлэн, хөрсний 289 см гүн хүртэлх хамрах хүрээтэй. ECMWF-ийн гадаргуйн загварын 4 түвшин: 1-р давхарга: 0 -7см, 2-р давхарга: 7 -28см, 3-р давхарга: 28-100см, 4-р давхарга: 100-289см. Зарим параметруудийг гадаргуугаас 2 м-ийн зайд тодорхойлно.
Хугацааны хамрах хүрээ	1950 оны 1-р сараас өнөөг хүртэл
Хугацаа	Сараар
File format	GRIB

Түй-Богд ус судлалын харуулын ажиглалт, хэмжилтийн мэдээ: Орог нуур-Түйн голын сав газрын гол, нуурын хэмжилт судалгааны ажлыг эрдэм шинжилгээ судалгааны байгууллагууд 1960-иад оноос судалж эхэлсэн ба шинжлэх ухааны үндэслэлтэй, байнгын ажиглалт хэмжилтийг анх ус цаг уурын байгууллагын шугамаар 1962 онд Түйн гол дээр Богд сумын чиглэлд ус судлалын харуул байгуулснаар эхэлсэн байна. Тухайн ус судлалын харуул нь сав газрын 7282 км² талбайг

төлөөлж чадна. Харин Орог-Богд ус судлалын харуул нь 1992 онд байгуулагдаж байсан ба 10500 км² талбайг төлөөлж чадах юм.

УЦУОШГ-ын мэдээ мэдээллийн архиваас Түй-Богд ус судлалын харуул дээр хэмжигдсэн голын урсац, Орог-Богд ус судлалын харуул дээр хэмжигдсэн Орог нуурын усны түвшин зэрэг 1991- 2020 оныг хамрах мэдээг авч уг судалгаанд ашигласан.

Ландсат хиймэл дагуулын мэдээ боловсруулалт: Орог нуурын 1991-2020 оны нийт 30 жилийн хугацаан дахь усан толион талбайн өөрчлөлтийг илрүүлэхийн тулд <https://earthexplorer.usgs.gov/> вебсайтаас Landsat-8 OLI, Landsat-5 TM хиймэл дагуулын сансрын зургийг татаж авахдаа 10-р сарын үүлгүй үеийг сонгосон. Arcgis 10.8 программ хангамжийн тусламжтайгаар ландсат хиймэл дагуулын сувгийн мэдээг raster calculator tool ашиглан усны нормчлогдсон индексийг бодож улмаар 1-7-р сувгийн мэдээг багцлан нуурын талбайг тодорхойлсон болно.

Судалгааны аргазүй

Усны нормчлогдсон индекс (NDWI): Хиймэл дагуулын тоон зураглалд боловсруулалт хийхэд тухайн биетийн шинж чанарыг илрүүлэх индексийг тодорхойлох нь маш чухал байдаг. Зайнаас тандан судлалын янз бүрийн хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурлан сансрын зурагт усны нормчлогдсон индексээр өөрчлөлтийг тодорхойлох нь Зайнаас тандан судлалын үндсэн аргуудын нэг байдаг. Сансрын хиймэл дагуулын зурагт NDWI - ийн тооцоолол хийхэд усан толионоос гадна ургамлын төрөл зүйл, газрын гадаргын бүрхэвчийн онцлогоос шалтгаалан -1 ээс +1 утгын хооронд индексийн утга хэлбэлздэг байна. Усан толион талбайг илрүүлэхийн тулд дараах томъёог ашиглана.

$$NDWI = \frac{Band_3 - Band_5}{Band_3 + Band_5} \quad \text{Landsat 8 OLI} \quad (1)$$

Үүнд,

NDWI- Усны нормчлогдсон индексийн утга

Band3- Хэт ногоон туяаны урт

Band5- Хэт ягаан туяаны долгионы урт

$$NDWI = \frac{Band_2 - Band_4}{Band_2 + Band_4} \quad \text{Landsat 5, 7 TM} \quad (2)$$

Үүнд,

Band2- Хэт ногоон туяаны урт

Band4- Хэт ягаан туяаны долгионы урт

ERA-5 Ре-анализын мэдээ боловсруулалт: 1991-2020 оны гучин жилийг хамрах хур тунадас, температур, боломжит ууршилт, нийлбэр ууршилт зэрэг уур амьсгалын мэдээг <https://cds.climate.copernicus.eu/> вебсайтаас татан авч Arcgis 10.8 программ хангамжийн тусламжтайгаар боловсруулалт хийж уг судалгааны үр дүнг гаргасан болно. Ингэхдээ уур амьсгалын дөрвөн үзүүлэлтүүдийг сар бүрээр салган, сав газрын хилээр таслан гучин жилийн мэдээг боловсруулахын тулд нэг үзүүлэлтийн 360 давхарга, нийт 1440 давхарга үүсгэсэн. Үүнээс гадна дулааны улирлын 7, 8, 9-р саруудыг мөн адил аргаар нэг үзүүлэлтийн 90 давхарга, нийт 360 давхарга үүсгэж, растер мэдээг тоон мэдээ болгосон. *Ингэснээр 10-р сард тодорхойлсон нуурын талбайд уур амьсгалын үзүүлэлтүүд хэрхэн нөлөөлж байгааг тогтоох боломжтой.* Мөн тухайн сав газрын уур амьсгалын нөхцөлийг судлах, хандлагыг тогтооход чухал ач холбогдолтой.

Корелляцын шинжилгээ: Корреляцийн шинжилгээний үндсэн зорилго нь судалж буй хоёр шинж тэмдгийн хоорондын хамаарлын хүчийг хэмжих юм. Хамаарлын нягтралыг хэмжигч үзүүлэлтийг корреляцийн коэффициент гэх бөгөөд энэ нь ± 1 - ийн хооронд утгаа авна. Кореляцын шинжилгээгээр статистик хамааралтай үзэгдлүүдээс ямар нэгэн хамаарлын хэлбэрийг тодорхойлох, энэхүү хамаарал нь өгөгдсөн хэмжилтийн утгуудтай хэр нийцэж байгааг тогтоосны үндсэн дээр тухайн судлагдаж буй объект хоорондын хамаарал, цаашдын чиг хандлагыг тодорхойлно. Корреляцийн коэффициентыг дараах байдлаар тооцно.

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

Үүнд: x_i – үл хамаарах хувьсагч, $\bar{x}$ – үл хамаарах хувьсагчийн дундаж, y_i – хамаарах хувьсагч, $\bar{y}$ – хамаарах хувьсагчийн дундаж утга болно. $r > 0$ нь эерэг (шууд) хамаарлыг, $r < 0$ нь сөрөг (урвуу) хамаарлыг илтгэдэг.

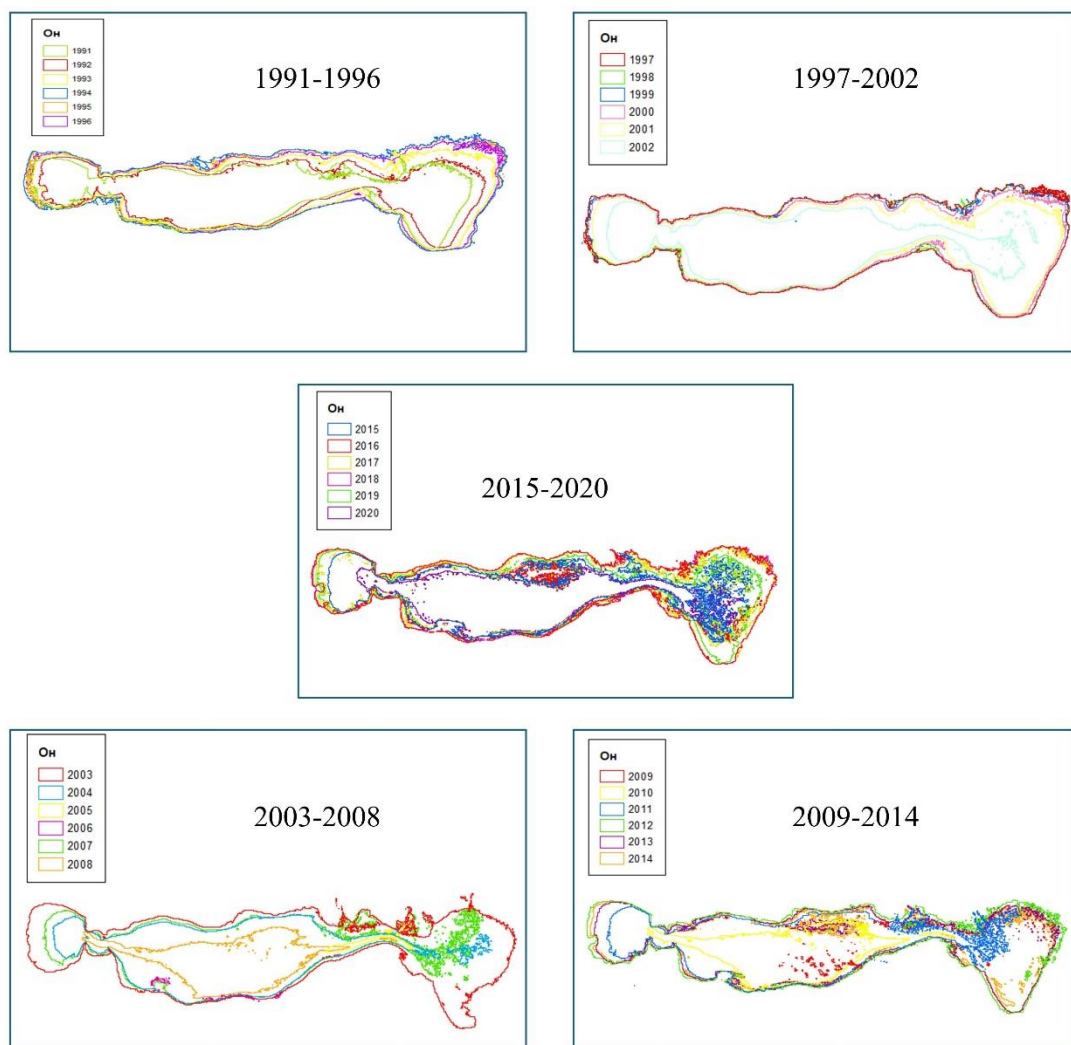
Энэхүү судалгаанд Түйн голын Түй-Богд харуул дээр хэмжигдсэн урсац 7, 8, 9-р сарын дундаж орон зай, цаг хугацааны мэдээнээс салган авсан дулааны улирлын нийлбэр хур тунадас, нийлбэр болон боломжит ууршилт, дундаж температур, нуурын талбай зэрэг олон хүчин зүйлсийн корреляцын шинжилгээг хийж хоорондын хамаарлыг тогтоосон. Мөн жилийн нийлбэр хур тунадас, нийлбэр ууршилт, боломжит ууршилт, жилийн дундаж температур болон Түйн голын жилийн дундаж урсац, Орог нуурын талбайн 30 жилийн хугацаан дахь хандлагыг судалж үзсэн.

Судалгааны үр дүн

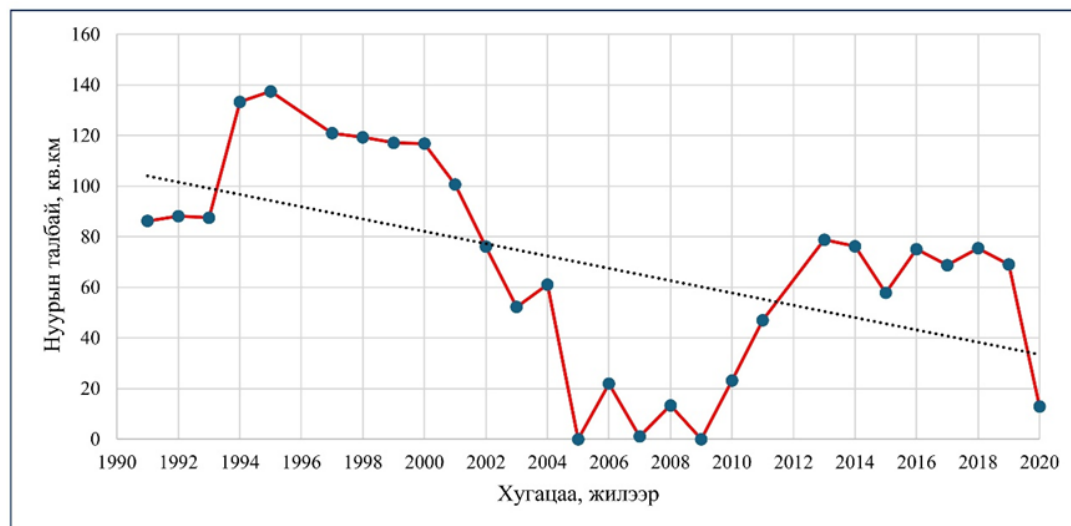
Орог нуурын талбайн өөрчлөлт: Жил бүрийн 10-р сард Орог нуурын талбай ямар байсан, хэрхэн өөрчлөгдсөнийг 1991-2020 онд тодорхойлж түүнд нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн холбоо хамаарлыг тогтоов. Орог нуурын талбайн утгуудыг жил бүрээр тооцож олсон үр дүнг доорх хүснэгтэд үзүүлэв. (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Орог нуурын талбайн хэмжээ (1991-2000 он)

Он	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Талбай, км ²	86.5	89.1	114.4	138.9	135.5	127.7	122.3	121.5	119.6	112.0
Он	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Талбай, км ²	99.5	62.9	85.7	47.8	1.3	0.3	53.7	21.9	0.4	27.4
Он	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Талбай, км ²	54.8	91.2	80.2	73.5	55.5	93.8	82.0	91.2	69.9	39.2



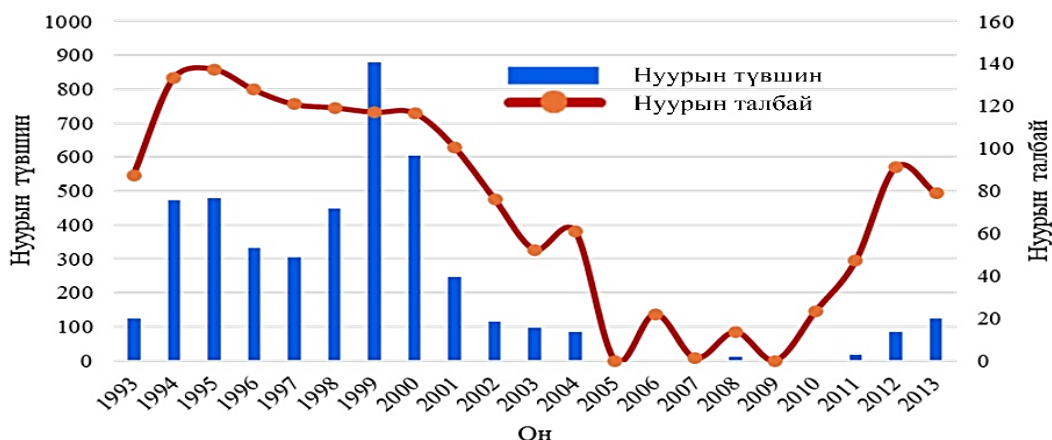
Зураг 2. Ландсат хиймэл дагуулын мэдээгээр боловсруулсан үр дүн



Зураг 3. Орог нуурын талбайн өөрчлөлт 1991-2020 он

Орог нуурын талбай 1994 онд хамгийн их байсан ба тухайн жил харьцангуй их услагтай байжээ. Харин 2005, 2006, 2009 онд хатаж ширгэсэн нь Түйн голын урсац Орог нуурт хүрч чадалгүй шургасантай холбоотой бөгөөд тухайн голын ус хурах талбайн уур амьсгалын нөхцөл, хөрс, ургамалжилтын шинж чанараас хамаарч зарим жил эл нөхцөл бүрддэг. Эдгээр усгүй байсан он жилүүдэд дулааны улирлын агаарын температур болон нийлбэр ууршилт харьцангуй их, хур тунадас харьцангуй бага орсон байна.

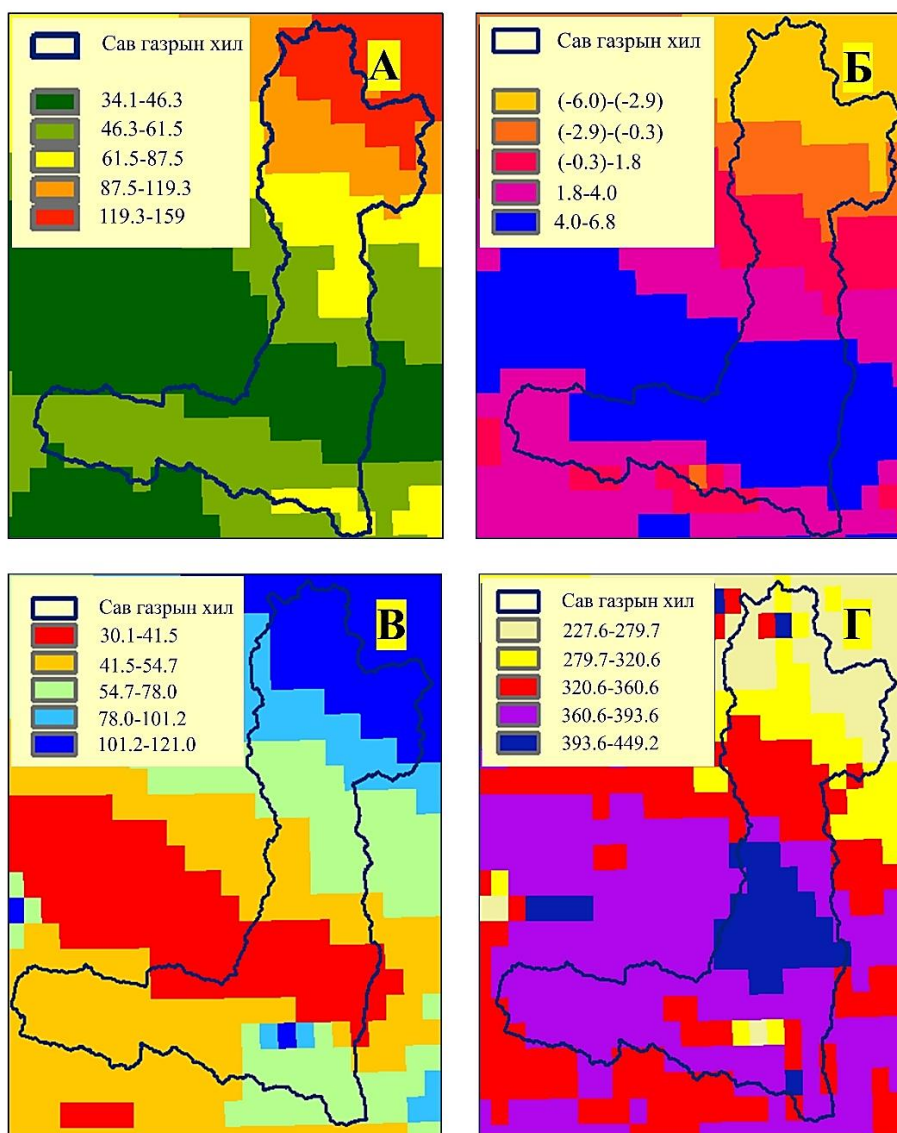
Жил бүрийн нуурын талбайг тодорхойлсны дараагаар Орог-Богд ус судлалын харуул дээр хэмжигдсэн ижил хугацааны нуурын түвшний мэдээтэй харьцуулалт хийж нуурын талбайг зөв тодорхойлсон эсэхийг нягтлав. (Зураг 4.)



Зураг 4. Нуурын усны түвшин, талбайн олон жилийн явц

Орог нуур нь уг гучин жилийн хугацаанд 2005, 2006, 2009 онуудад хатаж ширгэж байсан ба эдгээр онуудад нуурын түвшин хамгийн доод хэмжээнд хүрсэн нь зураг 4 -өөс харагдаж байна. Усны түвшин ба талбайн хэлбэлзэл давхцаж буй байдал болон хугацаан цувааны корелляцын коэффициент ($r=0.8$) гарч байгаа нь нуурын талбайг зөв тодорхойлсон гэж үзэж болно.

Орог нуур-Түйн голын сав газрын уур амьсгалын үзүүлэлтүүд: ERA5 дата баазаас сав газрын орон зайг хамруулан, 1991-2020 оны 30 жилийн хур тунадас, агаарын температур, боломжит ууршилт, нийлбэр ууршилт зэрэг уур амьсгалын гол үзүүлэлтүүдийг авч, Arcgis10.8 программ хангамжийн тусламжтайгаар сав газрын хилээр таслан 30 жилийн мэдээг боловсруулахын тулд нэг үзүүлэлтийн 360 давхарга, нийт 1440 давхарга үүсгэсэн. Үүнээс гадна дулааны улирлын 7, 8, 9-р саруудыг мөн адил аргаар нэг үзүүлэлтийн 90 давхарга, нийт 360 давхарга үүсгэж, растер мэдээг тоон мэдээ болгосон. Эцэст нь олон жилийн дундаж растер мэдээ, дулааны улирлын растер мэдээг үүсгэн орон зайн тархалтын зургийг хийсэн.



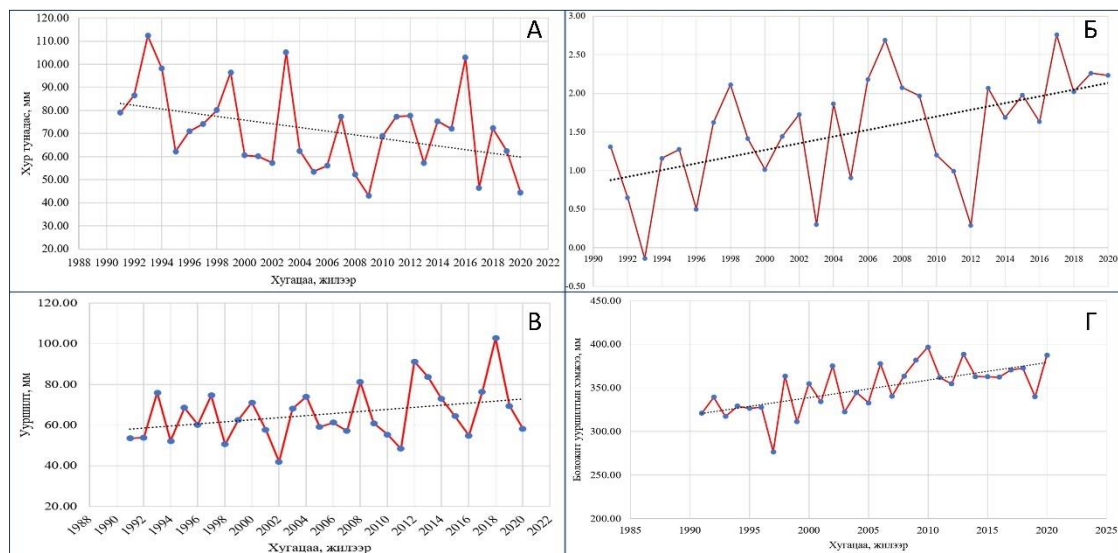
Зураг 5. Орог нуур, Түйн голын сав газрын 1991-2020 хугацааны орон зайн дундаж уур амьсгалын үзүүлэлтүүд, (а) хур тунадас, (б) агаарын температур, (в) нийлбэр ууршилт, (г) боломжит ууршилт

Сав газрын нийт талбайн 12.57% буюу 1850 км² талбайд 1991-2020 оны хугацааны орон зайн дунджаар 119-159 мм хур тунадас ордог бол 18.52% буюу 2725 км² талбайд зайн дунджаар 34-46 мм хур тунадас (Зураг 5А) орсон байна. Сав газрын нийт талбайн 33.32% 5225 км² талбайд 1991-2020 хугацааны орон зайн дундаж агаарын температур хамгийн дулаан буюу 4.06-6.85 °C байна. Харин сав газрын дээд хэсэг 3545 км² буюу сав газрын 22.6%-д агаарын температур хамгийн бага -6.06-аас -2.97 °C (Зураг 5Б) байна. Сав газрын 18.24% буюу 2731 км² талбайгаас хамгийн их буюу 101-121 мм нийлбэр ууршилт явагдаж байна. Харин сав газрын дунд болон доод хэсгээс нийлбэр ууршилт газар нутгийн 17.43% болох 2610 км² талбайгаас уурших ууршилтын хэмжээ 30-41 мм (Зураг 5В) байна. Сав газрын дээд хэсгээс уурших 1991-2020 хугацааны орон зайн дундаж боломжит ууршилтын хэмжээ хамгийн бага буюу сав газрын 14.24%, 2134 км² талбайгаас 227-279 мм байгаа бол сав газрын дунд хэсэг 17.37%, 2603 км² талбайгаас хамгийн их 393-449 мм боломжит ууршилт явагддаг байна (Зураг 5Г).

Нуурын талбайд нөлөөлөгч уур амьсгалын хүчин зүйлсийг нуурын талбай тодорхойлсон хугацаанаас өмнөх буюу дулааны улирлаар сонгон авч боловсруулалт хийж холбоо хамаарлыг судалсан (Хүснэгт 4).

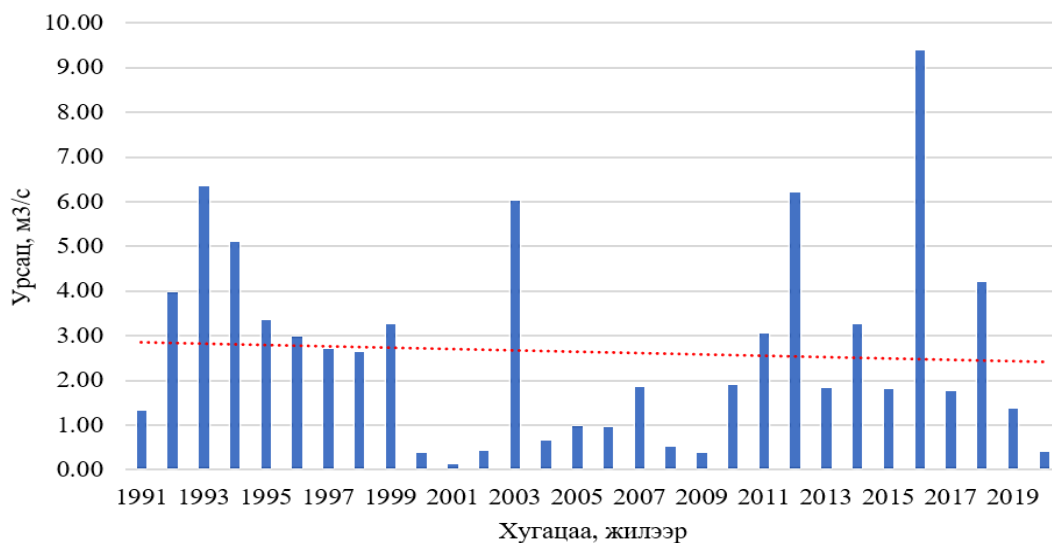
Хүснэгт 4. Жил бүрийн дулааны улирлын дундаж уур амьсгалын үзүүлэлтүүд

Хугацаа, он	Боломжит ууршилт	Нийлбэр ууршилт	Хур тунадас	Агаарын температур
1991	164.79	42.5	41.51	14.72
1992	155.18	40.49	39.89	13.22
1993	162.51	69.4	70.5	12.24
1994	120.83	49.82	50.3	13.15
1995	155.1	33.71	36.74	14.57
1996	143.08	42.82	42.72	14.22
1997	136.55	49.36	35.5	13.82
1998	177.44	43.06	50.86	14.86
1999	143.27	40.17	55.34	14.46
2000	145.6	24.25	30.99	15.53
2001	153.18	24.45	19.38	15.73
2002	173.23	26.11	19.73	16.32
2003	126.16	30.05	42.72	13.12
2004	144.36	39.44	34.6	14.19
2005	141.57	42.19	29.3	15.36
2006	174.04	34.24	32.23	15.27
2007	140.76	38.21	50.11	15.7
2008	157.99	47.54	21.79	16.13
2009	185.87	20.39	15.78	15.45
2010	176.21	23.88	27.86	16.24
2011	175.1	53.23	34.34	14.01
2012	148.72	41.84	49.01	14.29
2013	167.58	30.9	32.76	14.53
2014	163.07	45.81	32.82	14.43
2015	182.45	39.43	33.7	14.86
2016	174.93	40.92	56	15.63
2017	161.95	25.05	22.88	16.16
2018	152.94	54.13	52.5	14.42
2019	176.01	25.06	31.47	16.4
2020	160.06	21.82	26.13	15.39



Зураг 6. Сав газрын түвшинд олон жилээр (А) нийлбэр хур тунадас, (Б) агаарын температур, (В) нийлбэр ууршилт, (Г) боломжит ууршилт

Гучин жилийн хугацаанд сав газрын хэмжээнд жилийн нийлбэр хур тунадас ерөнхий хандлагаар буурч байна. (Зураг 6А)-аас ажиглавал хамгийн их хур тунадас 1993 онд, 2009 онд хамгийн бага хур тунадас тухайн сав газарт орсон байна. Олон жилийн явцад сав газарт унаж буй хур тунадас 23 мм-ээр багассан хандлага харагдаж байна. Манай орон дэлхийн дулаарал, уур амьсгалын өөрчлөлтөд нэн өртөмтгий бүс нутуудын тоонд багтдаг. Дээрх зургаас харвал Орог нуур-Түйн голын сав газрын жилийн дундаж агаарын температур 2 орчим градусаар нэмэгдсэн нь ажиглагдаж (Зураг 6Б) байна. Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд агаарын температур 2 орчим градусаар нэмэгдсэн. Агаарын температурын өөрчлөлтөөс хамаарч сав газраас уурших нийлбэр ууршилтын хэмжээ 10 орчим мм-ээр нэмэгджээ. (Зураг 6В) Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд Орог нуур-Түйн голын сав газраас уурших боломжит ууршилтын хэмжээ 50 орчим мм-ээр нэмэгдсэн байна(Зураг 6Г). Энэ нь тухайн сав газрын агаарын температурын өөрчлөлтөөс шалтгаалж байна. Ерөнхийдөө сав газар бүхэлдээ хуурайших хандлагатай байна (Зураг 7).



Зураг 7. Түйн голын урсацын хэмжээ олон жилээр

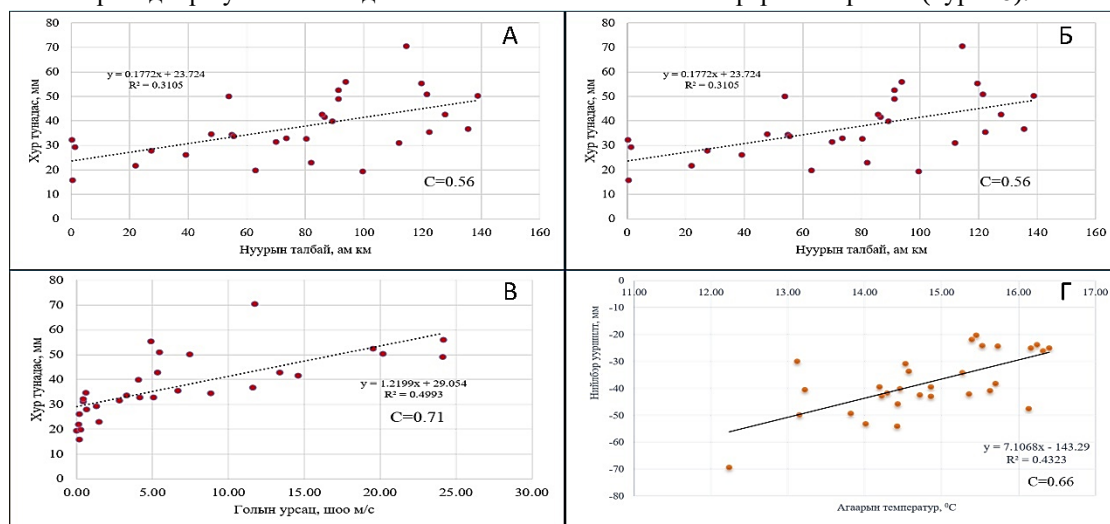
Түйн голын урсацын олон жилийн явцаас харахад хэлбэлзлийн агууриг нэлээд өндөр, жил бүр харилцан адилгүй байдаг байна. 2016 онд жилийн дундаж урсац хамгийн их байсан бол хамгийн бага урсац 2001 онд ажиглагдаж байжээ. Ерөнхий хандлагаар сүүлийн 30 жилийн хугацаанд Түйн голын урсац 0.5 орчим м³/с-ээр буурсан байдал (зураг 7.) ажиглагдаж байна.

Ус зүйн элементүүд, уур амьсгалын үндсэн үзүүлэлт хоорондын хамаарал: Орог нуурын талбайн өөрчлөлтөд ус зүй, уур амьсгалын хүчин зүйлс хэрхэн нөлөөлж, үзүүлэлт хооронд ямар хамаарал байгааг илрүүлэхийн тулд олон хүчин зүйлсийн хамаарал /multi-corellation/-ыг тодорхойлсныг дараах хүснэгтээр үзүүлэв (Хүснэгт 5).

Хүснэгт 5. Үзүүлэлт хоорондын хамаарал

№	Урсац	Нуурын талбай	Потенциал ууршилт	Нийлбэр ууршилт	Хур тунадас	Агаарын температур
Урсац	1.00					
Нуурын талбай	0.48	1.00				
Потенциал ууршилт	-0.27	-0.41	1.00			
Нийлбэр ууршилт	0.50	0.31	-0.22	1.00		
Хур тунадас	0.71	0.56	-0.29	-0.69	1.00	
Агаарын температур	-0.46	-0.48	0.45	0.66	-0.62	1.00

Хүснэгт 5-аас зарим чухал хамаарлуудыг авч үзэхэд нуурын талбай урсац хооронд хамаарал 0.48, хур тунадас ба нуурын талбай хоорондын хамаарал 0.56, урсац ба хур тунадас хооронд 0.71, агаарын температур нийлбэр ууршилт хооронд 0.66 тус тус байна. Урсац болон нуурын талбай хур тунадсаас хүчтэй хамаарч буй нь Орог нуурын үндсэн тэжээл хур тунадас болох нь тодорхой юм. Газрын доорх усны тэжээгдэл маш бага хэмжээтэй байхыг үгүйсгэхгүй юм (Зураг 8).



Зураг 8. Нуурын талбай, (А) хур тунадасны хамаарал, (Б) урсацын хамаарал (В) голын урсац, хур тунадасны хамаарал, (Г) нийлбэр ууршилт, агаарын температурын хамаарал

Нуурын талбай, хур тунадас хоорондын хамаарал тааруу байгааг дээрх зургаас харж болно (Зураг 8А). Учир нь Орог нуурын байршилд хур тунадас бага унадаг болохыг орон зайн дундаж

хур тунадасны тархалтын зургаас өмнө нь харсан. Иймээс энэ хамаарал төдийлөн хүчтэй биш байна. Орог нуурын талбай, Түй-Богд ус судлалын харуул дээр хэмжигдсэн Түйн голын урсацаас төдийлөн сайн хамаарахгүй байна (Зураг 8Б). Энэ нь тухайн голын урсацын зарим хэсэг нь хөрс чулуулагт нэвчих байдлаар алдагддагтай холбоотой илрэл байж болно. Түйн голын урсацын гол тэжээгдэл нь хур тунадас юм. Мөн сав газрын дээд хэсгээр гол мөрний сүлжээ бүрэлдэн тогтсон ба энэхүү бүс нутагт ахиу хур тунадас ордог учир голын урсац, хур тунадас хооронд хүчтэй хамаарал байгааг илтгэж байна (Зураг 8В).

Нийлбэр ууршилт, агаарын температур хоорондоо шууд хамааралтай учир корреляцийн коэффициент өндөр байна (Зураг 8Г). Агаарын температур нэмэгдэхэд тухайн сав газраас төдий чинээний их ууршилт явагдаж байна.

Хэлэлцүүлэг

Судалгааны үр дүн нь Орог нуур-Түйн голын сав газрын уур амьсгалын өөрчлөлт, усны горим болон экологийн байдалд чухал өөрчлөлтүүд гарсныг харуулж байна. Өнгөрсөн 30 жилийн хугацаанд нуурын талбай 70 км²-ээр, голын урсац 0.5 м³/с-ээр буурч, хур тунадас 23 мм-ээр багассан нь бүс нутгийн усны нөөцийн хэмжээг эрс бууруулсныг илтгэнэ. Энэ нь хагас хуурай бүсийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөлд өртөх хандлагыг бататгадаг (Feng et al., 2019). Манай судалгаанд гарсан өөрчлөлтүүдтэй төстэй үр дүн өмнөх судалгааны ажлуудад байгаа нь тус бүс нутагт цаашдын усны нөөцийн төлөв байдалд уур амьсгалын дулаарлын хурдацтай өсөлт нь сөрөг нөлөө үзүүлэхээр байгааг илтгэнэ (Pomeranz et al., 2021).

Бүс нутгийн хур тунадас ба голын урсацын хоорондын өндөр хамаарал ($r = 0.7$) нь тунадас усны эргэлтийн процессыг зохицуулах гол хүчин зүйл болохыг нотолж байна (Wulder et al., 2012). Мөн Орог нуурын талбайн хэмжээ голын урсацтай харьцуулахад сул хамааралтай байсан нь ($r = 0.48$) тус сав газрын усыг зохицуулах үйл явцад нэмэлт хүчин зүйлс оролцож байгааг илтгэнэ. Үүнд голын урсац нуурт хүрэхээс өмнө хөрс руу шүүрч алдагдах магадлалтай гэж үзэх үндэслэлтэй (Karlsson et al., 2012). Энэ нь усны эргэлт болон усны нөөцийн тогтвортой байдлыг тогтоохдоо эрсдэлийг тооцоолох чухал шаардлагатайг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл нөлөөлөгч хүчин зүйлсийн нарийвчилсан судалгаа хийж дүгнэлт санал зөвлөмж гаргах нь зүйтэй.

Түүнчлэн, хиймэл дагуулын мэдээллийг ашиглах нь усны мониторингийн онцгой хэрэгсэл болж байгаа бөгөөд энэ нь нуурын талбай болон газар зүйн мэдээллийн бүртгэлд шинэ хувьсгал авчирсан (Zhou et al., 2021). Landsat хиймэл дагуулын өгөгдлийг ашиглах нь орон зайн болон цаг хугацааны нарийвчлал өндөртэй байгаа тул нуурын усны талбайн өөрчлөлт, газрын гадаргын нөхцөл байдалд судалгаа хийх боломжийг олгож байна (Feng et al., 2019; Enkhbold et al., 2025). Эдгээр өгөгдлүүд нь мөн хүлэмжийн хийн нөлөө, газрын температурыг үнэлэхэд ач холбогдолтой бөгөөд усны нөөцийн менежментэд нөлөөлдөг үндсэн хүчин зүйлүүдийг тодорхойлох боломжийг олгож байна (Behnke et al., 2016).

Европын дунд хугацааны цаг агаарын прогнозын ERA5 мэдээллийг ашиглах нь уур амьсгалын өөрчлөлтийг дунд хугацаанд урьдчилан таамаглахад хамгийн тохиромжтой эх үүсвэр болж байна (Hersbach et al., 2020). Энэ мэдээлэл нь уур амьсгалын нөхцөл байдал, температурын болон хур тунадасны хэлбэлзлийг гүнзгийрүүлж судлахад чухал ач холбогдолтой бөгөөд энэ нь экологийн болон усны менежменттэй холбоотой бодлогын суурь мэдээлэл болдог (Urrutia-Jalabert et al., 2022).

Тухайн сав газрын усны эргэлт, температур болон ууршилтын өгөгдөл нь уур амьсгалын дулаарлын үр дүнд юу болсныг ойлгоход тусалж байна. Энэхүү судалгааны дүнгээр хур тунадасны бууралт, агаарын температурын өсөлт, ууршилтын нэмэгдэл нь экосистемийг хүнд нөхцөл байдалд оруулж болох эрсдэлийг илэрхийлж байгаа бөгөөд энэ нь усны нөөцийн менежментийн асуудлыг улам хурцатгаж байна (Хуе et al., 2020). Усны урсац, хур тунадас,

агаарын температур болон ууршилтын харилцан хамаарлыг нарийвчлан судлах нь урт хугацааны усны нөөцийн хэрэглээ, шийдвэр гаргалтыг дэмжих ач холбогдолтой (Vörösmarty et al., 2010).

Тус судалгааны үр дүн нь Монгол улсын баруун болон өмнөд хэсгийн хагас хуурай, гадагш урсацгүй сав газрын усны нөөцийн менежментийн нөхцөл байдлыг нарийвчлан үнэлэх шаардлагыг тодорхойлсон. Энэ бүс нутагт усны нөөцийн хомсдол, усны горимын өөрчлөлтүүд нь газар тариалан, мал аж ахуй болон байгаль орчны тогтвортой байдлыг тасралтгүй шинжилж, шинэ аргачлал шаардаж байна (Batimaa et al., 2011). Уур амьсгалын өөрчлөлт, урсгалын горимын өөрчлөлт зэрэг нь энэ бүс нутагт нэмэгдсэн дулааралтай холбоотой бөгөөд үүнд дасан зохицох арга хэмжээ авах шаардлагатай (Altansukh, Davaa, 2011).

Түүнчлэн, гадаргын усны урсац ба хур тунадасны хоорондын хамаарлыг шинжлэх нь усны нөөцийн хэлбэлзлийг тодорхойлох, уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөг үнэлэхэд чухал ач холбогдолтой. Энэхүү судалгааны дүнд гарсан хамаарлууд ирээдүйн төлөвийг үнэлэхэд чухал мэдээлэл болно (Vörösmarty et al., 2010). Уг судалгааны материал арга зүйг баяжуулан гадагш урсацгүй ай савын зарим сав газрын уур амьсгал, ус зүй, хүний үйл ажиллагааны нөлөөллийг илрүүлэх, усны нөөцийн нэгдсэн менежмент боловсруулахтай холбоотой суурь судалгааны ажлын тодорхой хэсэг болгож болох юм.

Дүгнэлт

Сүүлийн гучин жилийн хугацаанд Орог нуур-Түйн голын сав газарт ус зүйн элемент, уур амьсгалын үзүүлэлтүүд тодорхой хэмжээгээр өөрчлөгдсөн байна. Уг судалгааг хийснээр тухайн сав газарт болж буй процессуудын хандлага болон хоорондын хамаарлыг илрүүлж улмаар усны нөөцийн нэгдсэн менежмент, хязгаарлагдмал нөөцийг ашиглах, хамгаалах оновчтой бодлого төлөвлөлтийг хийхэд тодорхой хэмжээний нөлөө үзүүлэх юм.

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөө тухайн сав газарт эрчимтэй явагдаж байгаа нь судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна. Тухайлбал орон зайн тархалтаас харахад 30 жилийн хугацаанд Судалгааны үр дүнгээс Орог нуурын талбай 70 орчим км²-аар, Түйн голын урсац 0.5 м³/с-ээр тус тус буурсан, хур тунадасны хэмжээ 30 жилийн хугацаанд 23 мм-ээр багасч, агаарын температур 2 орчим градусаар дулаарсан бол нийлбэр ууршилт 18 мм-ээр нэмэгдсэн байна. Голын урсац ба хур тунадас хоорондын корреляцийн коэффициент 0.7 буюу хүчтэй хамаардаг бол нуурын талбайн хэмжээ урсацаас 0.48 буюу хамаарал сул байна. Энэ нь тухайн голын урсац нуурт хүрэлгүйгээр хөрс чулуулагт нэвчиж (шургаж) байгаатай холбоотой байж болох юм. Мөн газрын доорх усны нөөц горимтой холбон судлах, сав газрын газар ашиглалт, экогидрологийн процессыг гүнзгий судлах хэрэгцээ байгааг нотолж байна.

Уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний үйл ажиллагааны эрчимжилт нь усны нөөцийн хүртээмж, байгалийн тэнцвэрт байдалд сөргөөр нөлөөлж буй өнөө үед сав газрын түвшинд хийсэн гидроклиматик судалгаа нь шинжлэх ухааны чухал ач холбогдолтойг бататгасан болно. Нуурын талбай 70 км²-ээр буурсан нь тухайн бүс нутгийн усны тэнцвэрт байдалд ноцтой өөрчлөлт орсныг илтгэж байгаа бол Түйн голын урсацын 0.5 м³/с-ээр буурсан үзүүлэлт нь уур амьсгалын хүчин зүйл болон хөрс-усны харилцан үйлчлэлийн нарийн механизмыг судлах шаардлагатайг харуулж байна.

Хур тунадасны хэмжээ 23 мм-ээр багасч, агаарын температур 2°C-аар нэмэгдсэн нь уур амьсгалын хандлагыг тодорхой харуулж, нийлбэр ууршилт 18 мм-ээр нэмэгдсэнтэй уялдан бүс нутгийн усны нөөцийг бууруулах шалтгаан болж байгааг үгүйсгэхгүй. ERA5 датасет болон Landsat хиймэл дагуулын зураглалыг хослуулан ашигласнаар орон зайн нарийвчлал сайтай, цаг хугацааны хувьд тасралтгүй цуваа өгөгдлийг боловсруулж, гидроклиматик хүчин зүйлсийн харилцан хамаарлыг иж бүрнээр ойлгох боломж бүрдсэн нь энэхүү судалгааны нэг онцлог давуу тал болж байна. Энэхүү судалгааны үр дүн нь усны нөөцийн тогтвортой менежмент, экосистемийн хамгаалал, уур амьсгалын эрсдэлийн үнэлгээ, дасан зохицох бодлого боловсруулахад шинжлэх

ухааны үндэслэлтэй бодит өгөгдөлд суурилсан ажил боллоо. Цаашид усны эргэлтийн бүрдэл хэсгүүдийн орон зайн ба цаг хугацааны өөрчлөлтийг илүү нарийн хэмжих, гидрогеологи ба бэлчээрийн талхагдал, цөлжилт, газрын доройтолтой уялдуулах, нийгэм-эдийн засгийн хүчин зүйлтэй холбон үнэлэх зэрэг чиглэлд судалгааг гүнзгийрүүлэн өргөжүүлэх шаардлагатай байна.

Ном зүй

1. Байгаль орчин, ногоон хөгжлийн яам (БОНХЯ). (2012). *Улсын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн төлөвлөгөө боловсруулахад зориулсан судалгааны эмхтгэл нэгдүгээр дэвтэр*. 231-234. <http://bic.iwlearn.org/mn/documents/documents/state-reports/ulsyn-usny-nootsiin-neghdsen-mieniezhmientiin-tolovloghoo-bolovsruulakhad-zoriulsan-sudalghaany-emkhetghel-neghdugheer-devter-monghol-kheleer/view>.
2. Бүрэнжаргал, Ц. (2018). Өмнөговь аймгийн Цогтцэций сумын Улаан нуурын талбайн өөрчлөлт, түүнд нөлөөлөх хүчин зүйлс, *Газарзүйн асуудлууд*, 28 (01), 12-25
3. Даваа, Г. (2015). *Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц*, Улаанбаатар хот, Адмон принтинг, 36-158.
4. Мижиддорж, Р., Дуламсүрэн, Д., Оюунбаатар, Д. (2021). *Хур тунадасны хэлбэлзэл, дулаарал, хуурайшил*. хх: 46-48. ISBN 991925492-4.
5. Оюунбаатар, Д., Даваа, Г., Гомоблүүдэв, П., Цагаанмаамаа, Р. (2017). *Орог нуур-Түйн голын сав газрын гадаргын усны нөөц, горим, Сав газрын УННМ-ийн төлөвлөгөөний суурь судалгаа*, Улаанбаатар
6. Цэрэнсодном, Ж. (2000). *Монгол орны нуурын каталог (цэс)*. Улаанбаатар
7. AghaKouchak, A., Feldman, D., Hoerling, M., Huxman, T., & Lund, J. (2015). Water and climate: Recognize anthropogenic drought. *Nature*, 524(7566), 409–411. <https://doi.org/10.1038/524409a>
8. Altansukh, O., & Davaa, G. (2011). Application of Index Analysis to Evaluate the Water Quality of the Tuul River in Mongolia. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(6), 398–414. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2011.36050>
9. Batimaa, P., Dagvadorj, D., & Natsagdorj, L. (2011). *Mongolia: Assessment Report on Climate Change 2009*. Ulaanbaatar: ADMON Publishing.
10. Behnke, R., Vrieling, A., & Rembold, F. (2016). Spatio-temporal stability of remote sensing-based vegetation and rainfall anomaly indicators for food security in East Africa. *Remote Sensing*, 8(5), 328. <https://doi.org/10.3390/rs8050328>
11. Blöschl, G., Bierkens, M. F., Chambel, A., Cudennec, C., Destouni, G., Fiori, A., ... & Renner, M. (2019). Twenty-three unsolved problems in hydrology (UPH)—a community perspective. *Hydrological Sciences Journal*, 64(10), 1141–1158. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1620507>
12. Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., ... & Savenije, H. H. G. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
13. Buma, B., Wessman, C. A., & Bebbington, A. J. (2016). Disturbance interactions and ecosystem resilience: A conceptual framework. *Ecosphere*, 7(10), e01378. <https://doi.org/10.1002/ecs2.1378>
14. Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S., & Grégoire, J. M. (2001). Detecting vegetation

- water content using reflectance in the optical domain. *Remote Sensing of Environment*, 77(1), 22–33. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00191-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00191-2)
15. Enkhbold, A., Vandansambuu, B., Yadamsuren, G., Dorjsuren, B., Dorligjav, S., Gonchigjav, Y., ... & Sumiya, E. (2025). Estimation of morphometric parameters of lakes based on satellite imagery data: Implications of relationships between lakes in the arid region of western Mongolia, Central Asia. *Quaestiones Geographicae*, 44(1), 21-38. <https://doi.org/10.14746/quageo-2025-0002>
 16. Enkhbold, A., Dingjun, L., Ganbold, B., Yadamsuren, G., Tsasanchimeg, B., Dorligjav, S., ... & Boldbayar, R. (2024). Changes in morphometric parameters of lakes in different ecological zones of Mongolia: implications of climate change. *Climate Research*, 92, 79-95. <https://doi.org/10.3354/cr01734>
 17. Feng, M., Sexton, J. O., Channan, S., & Townshend, J. R. (2016). A global, high-resolution (30-m) inland water body dataset for 2000: First results of a topographic–spectral classification algorithm. *International Journal of Digital Earth*, 9(2), 113–133. <https://doi.org/10.1080/17538947.2015.1026420>
 18. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Simmons, A. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
 19. Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1–4), 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.003>
 20. Immerzeel, W. W., Lutz, A. F., Andrade, M., Bahl, A., Biemans, H., Bolch, T., ... & Wester, P. (2020). Importance and vulnerability of the world's water towers. *Nature*, 577(7790), 364–369. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1822-y>
 21. IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
 22. Karamouz, M., Nazif, S., Falahi, M., (2012). *Hydrology and Hydroclimatology*
 23. Karlsson, J. M., Lyon, S. W., & Destouni, G. (2012). Thermokarst lake, hydrological flow and water balance indicators of permafrost change in Western Siberia. *Journal of Hydrology*, 464–465, 459–466. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.037>
 24. Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kumm, M., Flörke, M., Pfister, S., ... & Oki, T. (2020). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's Future*, 8(6), e2019EF001287. <https://doi.org/10.1029/2019EF001287>
 25. Munkhjargal, G., Davaa, G., & Altansukh, O. (2018). Hydrological regime of surface water in the Tuin River Basin, Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 58(3), 18–27.
 26. Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
 27. Pomeranz, E. F., Dettinger, M. D., & Ralph, F. M. (2021). Extreme precipitation and climate change: Insights from current science and lessons for future assessment. *Climatic Change*, 167(1–2), 17. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03182-4>
 28. Song, C., Huang, B., Ke, L., Richards, K., & Zhang, Q. (2018). Water extent and level monitoring

- of lakes and reservoirs in China using Landsat imagery and Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 221, 291–301. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.011>
29. Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sensing of Environment*, 10(1), 23–32. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(80\)90096-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(80)90096-6)
 30. Tuvshin, G., Ts, K., & Davaadorj, D. (2018). The methodology of studying changes in the Gobi regions lake area. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 28-39.
 31. Urrutia-Jalabert, R., Malhi, Y., & Lara, A. (2022). The impact of climate change on the water balance of temperate rainforests in southern South America. *Journal of Hydrology*, 607, 127521. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127521>
 32. Viviroli, D., Kumm, M., Meybeck, M., Kallio, M., & Wada, Y. (2020). Increasing dependence of lowland populations on mountain water resources. *Nature Sustainability*, 3(11), 917–928. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0559-9>
 33. Wise, E. K., Woodhouse, C. A., McCabe, G. J., Pederson, G. T., & St-Jacques, J. M. (2018). Hydroclimatology of the Missouri River basin. *Journal of Hydrometeorology*, 19(1), 161–182. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0099.1>
 34. Wulder, M. A., Masek, J. G., Cohen, W. B., Loveland, T. R., & Woodcock, C. E. (2012). Opening the archive: How free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*, 122, 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>