

Changes in the surface area of lakes in the dry steppe: A case study in Buuntsagaan Lake

Batnyam Tseveengerel^{1,*}, Purevsuren Munkhtur¹,
Davaagatan Tuyagerel¹

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

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

<https://orcid.org/0000-0002-9634-5243>

Received: 29 September 2023 / Accepted: 24 November 2023 / published online: 28 December 2023

ABSTRACT

Lakes in areas with fragile and dry steppe ecosystems are of great ecological and climatic importance, and Buuntsagaan Lake is one of them in Mongolia. It is the largest lake of the Valley of the Lakes situated in the Khangai and the Gobi-Altai Mountain Range. In this study, we aimed to evaluate changes in the surface area of Buuntsagaan Lake between 1986 and 2022 and determine factors affecting it. We used Landsat satellite imageries to calculate the Modification of Normalised Difference Water Index for estimating the surface area of the Buuntsagaan Lake and assessed the dynamic changes in evaporation using Meyer's formula. Also, we performed field measurements at 74 points along the shore of Buuntsagaan Lake during the summer of 2022. The Kappa coefficient was used to examine the accuracy of the surface area. According to the results, it is observed that the surface area of Buuntsagaan Lake was the greatest in 1994 and 2000. However, the overall surface area decreased by 7.9% over the last 36 years, and the fluctuation in changes in the average annual surface area was around 0.34%. In addition, it is also indicated that the changes in the surface area of the lake were mainly affected by air temperature, the maximum speed of the wind, and the discharge of the Baidrag River. In conclusion, the tendency to decrease the surface area is expected to continue.

Keywords: *Buuntsagaan Lake, Dry steppe ecosystem, Evaporation, Modification of Normalised Difference Water Index*

Хуурай хээрийн бүс дэх нуурын талбайн өөрчлөлт: Бөөнцагаан нуурын жишээн дээр

Батням Цэвээнгэрэл^{1,*}, Пүрэвсүрэн Мөнхтөр¹,
Даваагатан Туяагэрэл¹

¹Физик газарзүй, орчин судлалын салбар, Газарзүй, геоэкологийн хүрээлэн, Шинжлэх
Ухааны Академи, Улаанбаатар, Монгол

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

<https://orcid.org/0000-0002-9634-5243>

Хүлээн авсан: 2023 оны 09 сарын 29 өдөр / Зөвшөөрөгдсөн: 2023 оны 11 сарын 24 өдөр /

Нийтлэгдсэн: 2023 оны 12 сарын 28 өдөр

ХУРААНГУЙ

Хуурай хээрийн эмзэг экосистемтэй газар нутагт орших нуур нь экологи, уур амьсгалын хувьд чухал ач холбогдолтой бөгөөд Монгол орны нутагт орших Бөөнцагаан нуур нь тэдгээр нууруудын нэг юм. Бөөнцагаан нуур нь Хангайн нуруу болон Говь-Алтайн нурууны хоорондох Нууруудын хөндийд орших хамгийн том нуур юм. Энэхүү судалгааны зорилго нь Бөөнцагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийг 1986-2022 он хүртэл тооцож, талбайн өөрчлөлтөд нөлөөлж буй хүчин зүйлсийг үнэлэх юм. Бөөнцагаан нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлтийг Ландсат хиймэл дагуулын цуврал мэдээг ашиглан “Засварт нормчлогдсон ялгаврын усны өөрчлөлтийн индекс”-ийн тусламжтайгаар тооцоолж, нуурын ууршилтын олон жилийн динамикийг Мейерийн нуураас уурших ууршилтын томьёог ашиглан илрүүлсэн. Түүнчлэн хээрийн судалгааг 2022 оны зуны улиралд явуулж, нуурын эргийн хэмжилтийг 74 цэг дээр хийсэн. Нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлтийн үнэмшлийг каппа коэффициентоор шалгасан. Тус судалгааны үр дүнд Бөөнцагаан нуурын талбай 1994-2000 онуудад хамгийн том усан гадаргатай байсан нь ажиглагдсан боловч сүүлийн 36 жилийн хугацаанд нуурын талбай 7.9%-иар багасаж, нуурын дундаж талбайн жилийн өөрчлөлтийн хэлбэлзэл 0.34% байсан. Түүнчлэн агаарын температур, салхины хамгийн их хурд болон Байдраг голын урсац нь тус нуурын талбайн өөрчлөлтөд нөлөөлж буй голлох хүчин зүйлүүд бөгөөд цаашид ч тус нуурын гадаргын талбайн хэмжээ буурах хандлагатай байна.

Түлхүүр үгс: Бөөнцагаан нуур, хуурай хээрийн бүс, ууршилт, MNDWI

1. ОРШИЛ

Нуурын ус нь Монгол орны нийт цэнгэг усны 80%-ийг эзэлдэг бөгөөд, усны хамгийн том нөөц юм (ойролцоогоор 500 км³) [1]. Мөн түүнчлэн орон нутгийн усны хэрэгцээг хангахаас гадна, сав газрын

гүний усны нөөцийн цаг хугацааны өөрчлөлтийн чухал үзүүлэлт юм [2]. Нуурыг уур амьсгалын өөрчлөлтөд усан мандлын нэмэгдэх эсвэл буурах байдлаар нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн үзүүлэлт болгон авч болдог [3], [4]. Нуурын хэмжээ

багасах явц эсвэл нуурын хомсдох байдал нь гангийн аюул улам хурцдаж байгаагийн тод илрэл байж болдог [4].

Бөөнцагаан нуурын усны горим буюу усны түвшний жилийн болон олон жилийн хэлбэлзэл ерөнхийдөө нуурын усны оролт болох Байдраг голын урсал, нуурын мандалд унах хур тунадас хийгээд алдагдал буюу усан гадаргын ууршилтаар тодорхойлогдоно [5]. Бөөнцагаан нуурын талбай 1970-2014 оны хооронд 83.2 км²-аар багассан бөгөөд сүүлийн 45 жилийн хугацаанд нуурын талбай их хэмжээгээр багассан нь температурын өсөлт шууд нөлөөлсөн байж магадгүй юм [6].

Харин Түвшин нар Бөөнцагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийг 2010-2017 оны хугацаанд харьцангуй бага өөрчлөлттэй байсан бөгөөд хур тунадас, агаарын температураас илүү нууранд цутгаж буй Байдраг гол болон бусад жижиг горхи, булаг, гүний ус голчлон нөлөөлж байна гэж үзжээ [7]. Канг ба Хонг нар 2000-2011 онуудад Монголын нутаг дэвсгэрээс 6.25 км²-аас дээш талбайтай 73 нуурын гадаргын талбайг MODIS (дунд зэргийн нарийвчлал бүхий дүрслэлийн спектррадиометр)-ээс хамгийн бага нийлмэл NDVI (ургамлын нормчлогдсон ялгаврын индекс) ашиглан тооцоолж үзэхэд хагас хуурай бүс нутагт нуурын талбайн хэмжээ дунд зэрэг багасаж, хуурай бүс нутагт огцом буурч буй үр дүн гаргасан байна [8].

Бөөнцагаан нуур-Байдраг голын сав газрын усны нөөцийн нэгдсэн менежментийн тайланд дурдсанаар Бөөнцагаан нуурын талбай 2000 онд 271.2 км², 2006 онд 267.5 км², 2010 онд 245.2 км², 2013 онд 239,2 км² [9] буюу 2010-2013 оны хооронд 6.0 км²-аар буурсан бол Даваа нар Ландсаг хиймэл дагуулын мэдээ ашиглаж тооцсон судалгаанд 2010-2013 онуудад 7.0 км²-аар буурсан үр дүн гарсан

[5]. Шуминска NOAA уур амьсгалын мэдээ болон CRU мэдээллийн багцыг ашиглаж Бөөнцагаан болон Орог нуурын сүүлийн 40 жилийн талбайн өөрчлөлтийг тооцоолсон. Тус үр дүн дээрээ статистик шинжилгээ хийж нуурын талбайн өөрчлөлтөд хур тунадас чухал нөлөөтэй бөгөөд мөн пасан бүрхэвч нуурын талбайд мэдэгдэхүйц өөрчлөлт үзүүлдэг бөгөөд 1974-2013 оны хооронд Бөөнцагаан нуурын талбай 14%-иар багассан дүгнэлт гаргасан байна [10].

Дээрх бүтээлүүд уур амьсгалын хүчин зүйлүүдийг нуурын талбайн өөрчлөлттэй холбон тайлбарласан байна. Нөгөөтээгүүр нуурын усны зарлага буюу нуурын усан мандлаас уурших ууршилт, газар доогуур нуураас гадагшлах усны хэмжээг судалгаандаа хангалттай авч үзээгүй байна. Мөн түүнчлэн нуурын талбайн өөрчлөлтийг тооцсон хугацааны хэлбэлзэл хоорондоо зайтай эсвэл хангалттай олон жилийг тооцоогүй, 2015 оноос хойших мэдээлэл дутмаг байна. Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь хуурай хээрийн экосистемд орших нуурын төлөөлөл Бөөнцагаан нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлтийг судлах бөгөөд дээрх зорилгын хүрээнд Ландсаг хиймэл дагуулын цуврал мэдээ болон уур амьсгалын мэдээнүүдийг ашиглаж, Бөөнцагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийг 1986-2022 оны хугацаанд тооцож, уур амьсгалын хүчин зүйл (хур тунадас, агаарын температур, салхины хурд) ялангуяа нуурын усан гадаргаас уурших ууршилтыг нуурын талбайн хэмжээтэй харьцуулан судлах юм. Бөөнцагаан нуураас уурших ууршилтын хэмжээг сүүлийн 36 жилээр боловсруулснаар хагас хуурай болон хуурай бүс ялангуяа Нууруудын хөндий дэх томоохон нууруудын ууршилтын ерөнхий хандлагыг гаргахад ихээхэн ач холбогдолтой юм.

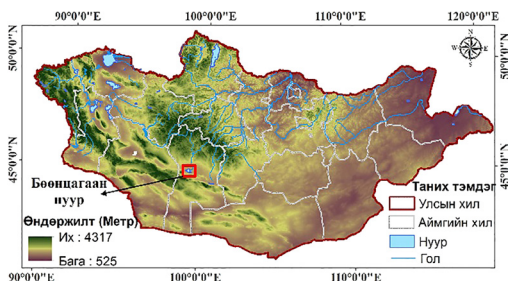
Мөн түүнчлэн хуурай бүс нутгийн нуур нь тухайн бүс нутгийн усны нөөц,

экосистемийн дэмжлэг, гүний усны нөөц, уур амьсгалын зохицуулалт, соёлын болон амралт зугаалга зэрэг олон талын чухал ач холбогдолтой [11]–[14]. Бөөнцагаан нуурын үндсэн тэжээл болох Байдраг голын сав газарт 18338 хүн ам суурьшдаг, 2021 оны байдлаар хүн амын усны хэрэглээнд 174.7 мян.м3 ус хэрэглэж байгаа ба нийт нутгийн 45%-д бэлчээрийн даац 3-5 дахин хэтэрсэн байна [15]. Иймд хуурай хээрийн эмзэг экосистемд оршдог Бөөнцагаан нуурын ус зүйн судалгаа, ялангуяа талбайн өөрчлөлтийн нарийвчилсан судалгааг хийх шаардлага бий болж байна.

2. СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Судалгааны талбай

Бөөнцагаан нуур нь Говь-Алтай болон Хангайн нурууг заагласан тектоник гаралтай Нууруудын хөндийд оршдог ба нуурын талбай 252 км², эргийн шугамын урт 24 км, дундаж гүн нь 9.9 м, хамгийн их гүн нь 16 м, дундаж өргөн 11 км, хамгийн их өргөн нь 19 км, эзлэхүүн 2.385 км³, далайн түвшнээс дээш 1312 метрт өргөгдсөн байна [5]. Хангайн нуруунаас эх авдаг Байдраг гол нууранд цутгах бөгөөд гадагшаа урсгалгүй [16].



Зураг 1. Судалгааны талбай

Засварт нормчлогдсон ялгаврын усны өөрчлөлт индекс (MNDWI)

Гадаргын усыг бусад төрлийн гадаргуунуудаас ялгах олон аргыг судлаачид судалсан [4] [17], [18], [19],

[20]. Засварт нормчлогдсон ялгаврын усны өөрчлөлт индекс нь (Modification of normalised difference water index) нормчлогдсон ялгаврын усны индекс (Normalised difference water index)-ээс илүү усан гадаргын талаарх дэлгэрэнгүй мэдээллийг өгч чадна (Томьёо 1). Энэ нь усны чанарын нарийн ялгааг илрүүлэхэд тустай [21]. MNDWI-ийг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}} \quad (1)$$

Энд, ρ_{SWIR} - SWIR сувгийн агаарын мандлын дээд хэсэг (TOA) дэх тусгал. Ландсат 4-5 ТМ хиймэл дагуулын хоёрдугаар суваг нь үзэгдэх гэрлийн мужийн ногоон, тавдугаар болон долоодугаар суваг нь богино долгионы хэт улаан туяа (SWIR)-ы мужид багтана. Ландсат 8 OLI хиймэл дагуулын гуравдугаар суваг нь ногоон туяа, зургаадугаар болон долоодугаар суваг нь богино долгионы хэт улаан туяа (SWIR)-ы муж байна.

0.09-ийн босго утга нь усан гадаргын талбайг 0.43%-иар дутуу тооцооноор MNDWI-ийн зураглалд хамгийн сайн усан гадарга илрүүлэх үр дүнд хүрч чадна [21].

Нуурын ууршилт

Нуурын ууршилтыг тооцох Торнтвейт [22], Блэни-Криддл [23], Пристли-Тейлор [24], Харгривс [25] нарын тооцоолсон томьёонууд болон Монгол орны газарзүйн байршил, өндрөөс хамаарсан Даваа [5] нарын боловсруулсан эмпирик томьёонууд байдаг. Бид судалгааны талбай, уур амьсгалын мэдээний олдоц болон бусад хүчин зүйлсийг харгалзан нуурын ууршилтыг тооцох Мэйерийн томьёо [26]-г ашигласан (Томьёо 2). Дараах байдлаар тооцоолно.

$$E_L = K_M (e_w - e_a) \left(1 + \frac{u_h}{16} \right) \quad (2)$$

Энд, E_L -нуурын ууршилт (мм/өдөр), K_M -Тохируулгын коэффициент бөгөөд гүн, их устай газар 0.36, бага ус бүхий газар 0.5, e_w -Ханасан уурын даралт, e_a -Бодит уурын даралт, u_r - сар бүрийн газрын гадаргаас 9 метрийн өндөр дэх салхины хурд

$$e_w = 4.584 \exp\left(\frac{17.27t}{237.3+t}\right) \quad (3)$$

Энд, e_w – ханасан уурын даралт t -агаарын температур, (°C)

Мэдээлэл цуглуулах

Бөөнцагаан нуурын усан гадаргын талбайн 1986-2022 оны хугацаан дахь нийт 36 жилийн өөрчлөлтийг тооцохын тулд Ландсат 4-5 ТМ, Ландсат 8 Oli хиймэл дагуулын цуврал мэдээний 135-р зам, 28-р мөрний мэдээг ашигласан (Хүснэгт

1). Харин 2012 оны мэдээ шаардлага хангахгүй байсан тул ашиглаагүй. Хиймэл дагуулын мэдээг татаж авах хугацааг сонгохын тулд хамгийн их устай байдаг зуны улирлын үеийн мэдээнүүдийг ашигласан. Хиймэл дагуулын мэдээн дээр атмосфер болон радиометрийн заслудыг хийж, QGIS, SNAP программ хангамжууд ашиглан нуурын талбайн өөрчлөлтийн тооцооллуудыг хийж, зурагласан. Цаг уурын 2000-2021 оны мэдээг Байдраг станц (Бөөнцагаан нуураас 150 км зайд, Хангайн нурууны урд хажуу)-аас авч ашигласан бол 1986-1999 оны цаг уурын мэдээг Наса-Дэлхийн эрчим хүчний нөөцийн таамаглал [27]-ын мэдээллийн сангаас Бөөнцагаан нуур орчимд тооцоолсон цаг уурын мэдээг авч ашигласан.

Хүснэгт 1. Хиймэл дагуулын мэдээ

№	Хиймэл дагуул	Хугацаа	№	Хиймэл дагуул	Хугацаа
1	Ландсат 4-5	7/25/1986	19	Ландсат 4-5	7/10/2004
2	Ландсат 4-5	5/9/1987	20	Ландсат 4-5	7/13/2005
3	Ландсат 4-5	6/28/1988	21	Ландсат 4-5	8/1/2006
4	Ландсат 4-5	1989/0615	22	Ландсат 4-5	7/19/2007
5	Ландсат 4-5	6/18/1990	23	Ландсат 4-5	7/28/2008
6	Ландсат 4-5	8/8/1991	24	Ландсат 4-5	8/9/2009
7	Ландсат 4-5	6/7/1992	25	Ландсат 4-5	9/29/2010
8	Ландсат 4-5	7/12/1993	26	Ландсат 4-5	7/14/2011
9	Ландсат 4-5	6/29/1994	27	Ландсат 8 Oli	6/17/2013
10	Ландсат 4-5	7/2/1995	28	Ландсат 8 Oli	6/20/2014
11	Ландсат 4-5	9/22/1996	29	Ландсат 8 Oli	9/11/2015
12	Ландсат 4-5	8/8/1997	30	Ландсат 8 Oli	7/27/2016
13	Ландсат 4-5	8/27/1998	31	Ландсат 8 Oli	7/14/2017
14	Ландсат 4-5	5/10/1999	32	Ландсат 8 Oli	6/15/2018
15	Ландсат 4-5	6/29/2000	33	Ландсат 8 Oli	8/5/2019
16	Ландсат 4-5	8/19/2001	34	Ландсат 8 Oli	7/6/2020
17	Ландсат 4-5	8/14/2002	35	Ландсат 8 Oli	8/19/2021
18	Ландсат 4-5	7/8/2003	36	Ландсат 8 Oli	8/2/2022

Хээрийн судалгаа, үр дүнгийн баталгаажуулалт

Хээрийн судалгааг 2022 оны долоодугаар сард Бөөнцагаан нуур болон түүний цутгал Байдраг голуудад явуулж, нуурын эргийн морфометрийн судалгаа хийж нийт 74 цэг дээр нуурын усан талбайн эргийн хэмжилт хийсэн.

MNDWI индекс ашиглан тооцсон 2022 оны Бөөнцагаан нуурын усан гадаргын талбайг, хээрийн хэмжилтийн мэдээтэй харьцуулж, алдааны нарийвчлалыг каппа коэффициент ашиглан тооцсон (Томьёо 4).

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (4)$$

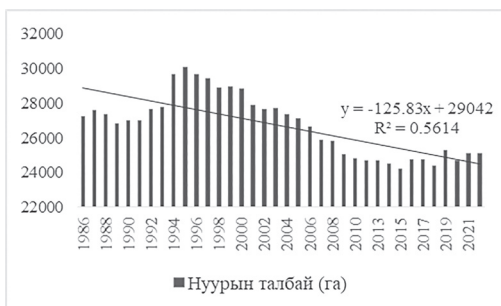
Энд, K -каппа коэффициент, P_o -Хэмжилтийн мэдээ, P_e -шалгуур үзүүлэлт

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Нуурын талбайн өөрчлөлт

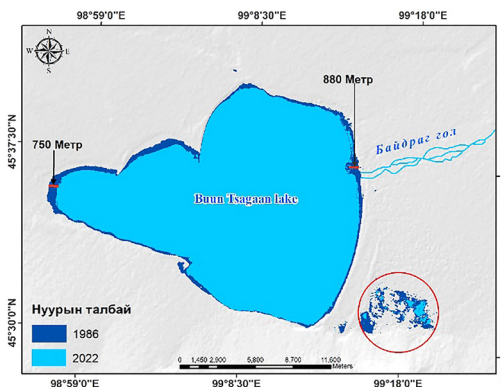
Сүүлийн 36 жилийн хугацаанд (1986-2022) Бөөнцагаан нуур 7.9%-иар буюу 2163.3 га талбайгаар багассан байна. Нуурын усан гадарга 1995 онд 300.99 км²-г хүрч хамгийн их байсан бол 2015 онд 241.95 км² буюу хамгийн бага устай жил байсан. Нуурын 1 жилийн хугацаан дахь усан гадаргын талбайн өөрчлөлт 3.2%-19.9%-ийн хооронд хэлбэлзэж байсан ба дунджаар 0.34%-ийн хэлбэлзэлтэй байна.

Нуурын усан гадаргын талбай 1987-1989 оны хооронд буурсан ба 1990-1999 онуудад нэмэгдэж, улмаар 1999-2015 онуудад тасралтгүй буурч, 2016 оноос бага зэрэг нэмэгдсэн байна. Нуурын талбайн өөрчлөлтийн ерөнхий хандлага буурч байна.



Зураг 2. Нуурын талбай 1986-2022 (Га)

Орон зайн тархалтаар нь авч үзвэл 1986-2022 он хүртэл Бөөнцагаан нуур нь баруун, баруун хойд эрэг орчмоороо 700-800 метрээр татарсан байна. Бөөнцагаан нуурын усны тэжээлийн голлох эх үүсвэр болох Байдраг голын нууранд цутгаж буй хэсгээр нуурын усан гадарга 800-900 метрээр татарсан байна.



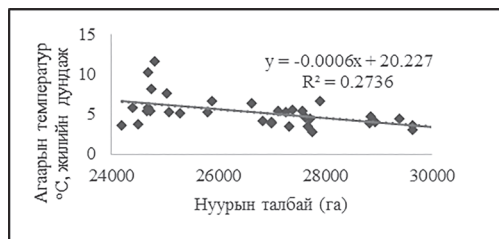
Зураг 3. Нуурын усан гадагын талбайн 1986-2022 оны өөрчлөлт

Харин нуурын хойд, зүүн өмнөд, өмнөд эрэг орчмоор харьцангуй бага буюу 20-300 метрээр татарсан орчим байна (Зураг 3). Ландсат 8 OI хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан тооцсон 2022 оны нуурын усан гадаргын талбай болон хээрийн судалгааны 74 цэгийн мэдээлэлттэй харьцуулахад каппа коэффициент 0.96 байна.

Нуурын талбайн өөрчлөлтөд нөлөөлж буй хүчин зүйлс

Температур

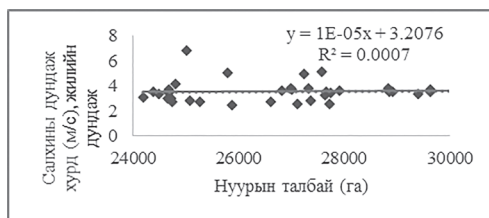
Байдраг цаг уурын станц болон Наса-Дэлхийн эрчим хүчний нөөцийн таамаглал [27]-ын мэдээллийн сангаас авч ашигласан цаг уурын мэдээн дээрээс үзвэл агаарын температур сүүлийн 36 жилд тасралтгүй өсөж байна. Бөөнцагаан нуурын талбай болон агаарын температур хамаарал (r) -0.52 буюу сөрөг дунд зэргийн хамаарал үзүүлж байна (Зураг 4.). Өөрөөр хэлбэл, температурын өсөлт нь нуурын талбай багасахад дунд зэрэг нөлөөлж байна.



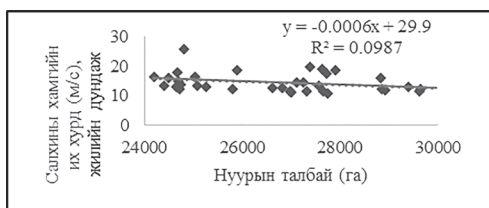
Зураг 4. Нуурын талбай болон агаарын температурын хамаарал

Салхины хурд

Салхины 36 жилийн сарын дундаж хурд 3.55 м/с, 1986-2006 он хүртэл салхины дундаж хурд буурч байгаа бол 2007-2010 онуудад өсөж, улмаар дахин буурсан байна. Салхины дундаж хурд нуурын талбайн өөрчлөлтийн хамаарал (r) 0.02 буюу маш сул гарсан (Зураг 5). Харин салхины хамгийн их хурд 2000 оноос өссөн ба нуурын талбайтай (r) -0.31 буюу сөрөг дунд зэргийн хамааралтай гарсан (Зураг 6). Нуурын талбайн өөрчлөлтөд салхины дундаж хурдны үзүүлэлтээс илүү салхины хамгийн их хурд илүүтэй нөлөөлж байна.



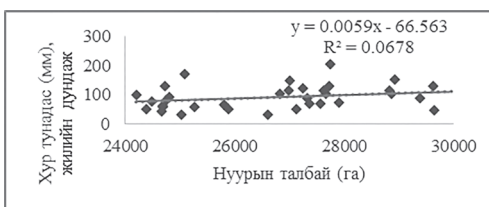
Зураг 5. Нуурын талбай болон салхины дундаж хурдны хамаарал



Зураг 6. Нуурын талбай болон салхины хамгийн их хурдны хамаарал

Хур тунадас

Сүүлийн 36 жилд хур тунадас буурах хандлагатай байгаа бөгөөд жилийн нийлбэр хур тунадас болон нуурын талбай хоорондын хамаарал (r) 0.26 буюу зэрэг сул гарсан. Бөөнцагаан нууранд цутгах Байдраг голоос гадна нуурын усан мандал дээр унаж буй хур тунадас нуурын усан гадаргын талбайд үлэмж нөлөөлж байна (Зураг 7).

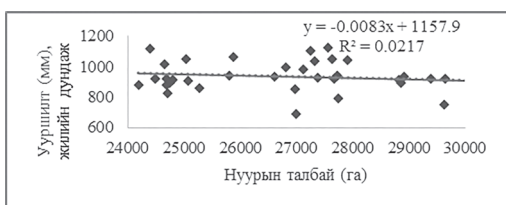


Зураг 7. Нуурын талбай болон хур тунадасны хамаарал

Ууршилт

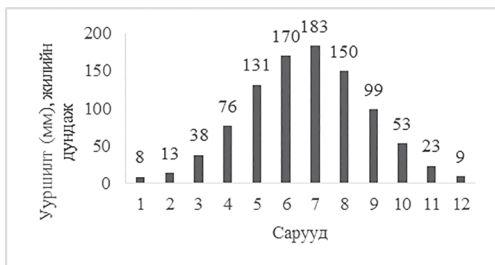
Бөөнцагаан нууранд 1986-2022 он хүртэл өдөр бүрийн дунджаар тооцсон ууршилтын үр дүнгээс үзвэл 1986-1988 онуудад ууршилт өндөр, 1989-2000 он хүртэл ууршилтын хэмжээ 687-920 мм

буюу харьцангуй бага байсан ба энэ үед нуурын талбай нэмэгдэж, хамгийн их усан гадаргатай байсан. Харин 2000-2014 онуудад ууршилтын хэмжээ нэмэгдэж, 2015-2017 онуудад буурч, 2018 оноос дахин нэмэгдэж байна. Ууршилт болон нуурын усан гадаргын талбайн хамаарал (r) -0.14 буюу сөрөг сул хамаарал үзүүлж байна (Зураг 8). Өөрөөр хэлбэл, нуурын усан гадаргаас уурших ууршилтын хэмжээ Бөөнцагаан нуурын талбайн өөрчлөлтөд бага зэрэг хамааралтай гарч байна.



Зураг 8. Нуурын талбай болон ууршилтын хамаарал

Бөөнцагаан нуурын усны зарлагын үндсэн нэг хэсэг болох ууршилтын хэмжээ өдөрт дунджаар 2.55 мм жилийн дундаж ууршилтын хэмжээ 922.9 мм байна.



Зураг 9. Нуурын сарын дундаж ууршилт (1986-2022)

Бөөнцагаан нуурын талбайгаас уурших ууршилтын хэмжээ 5-9 дүгээр сард хамгийн өндөр буюу энэ үед жилийн нийт ууршилтын 76% нь явагдаж байна (Зураг 9).

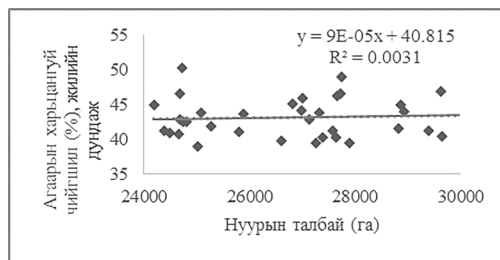
Байдраг голын усны зарцуулга

Нуурын усны үндсэн орлого буюу Байдраг голын 2001-2014 оны хугацаан дахь жилийн дундаж урсац Байдраг усны

харуулд $1.56 \text{ м}^3/\text{с}$ тэмдэглэгдсэн бөгөөд нуурын талбай хоорондын хамаарал (r) 0.39 эерэг дунд зэргийн хамаарал үзүүлсэн.

Агаарын харьцангуй чийгшил

Агаарын харьцангуй чийгшлийн олон жилийн дундаж 43.07%, 1990-1995 онуудад агаарын харьцангуй чийгшлийн хэмжээ харьцангуй их байсан бол 2000 оноос хойш буурсан ерөнхий хандлага гарч байна. Нуурын талбай болон агаарын харьцангуй чийгшил хоорондын хамаарал (r) 0.05 буюу сул гарсан (Зураг 10).



Зураг 10. Нуурын талбай болон агаарын харьцангуй чийгшлийн хоорондын хамаарал

Усны хэрэглээ

2021 оны байдлаар Байдраг голын сав газарт амьдарч буй хүн амын унд ахуйн ус хэрэглээ өдөрт 393.83 м^3 , сард 11.8 мян. м^3 , жилд 141.78 мян. м^3 байна [15]. Энэ нь нуурын нийт эзлэхүүн 2.385 км^3 [5]-ий 0.005% болно. Өөрөөр хэлбэл, нуурын талбайн өөрчлөлтөд хүн амын хэрэглэж буй усны нөлөө бага байна.

4. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Бөөнцагаан нуурын талбайн өөрчлөлтийг 1986-2022 оны хооронд тооцож үзэхэд сүүлийн 36 жилд нуурын усан гадарга буурч буй ерөнхий зүй тогтол гарч байна. Бөөнцагаан нуурын усны үндсэн тэжээл нь Байдраг гол бөгөөд тус гол нь Хангайн нурууны өврийн голуудын нэгэн адил голын дагууд урсац нь

алдагдаж газар доорх урсцыг тэтгэнэ [28]. Байдраг-Баянбүрд ус судлалын харуулын ажиглалтын урсцын олон жилийн хэлбэлзлээс үзэхэд Байдраг орчимд 1985-1988 онд татруу, 1989-1997 онд элбэг, 1995-2014 онд татруу, 2015-2019 онд элбэг үе үргэлжилсэн байна [15]. Судалгааны үр дүнд Байдраг голын урсцын татруу ба элбэг үеийн нуурын талбайн өөрчлөлтгүй харьцуулахад урсцын татруу үед нуурын талбай багасах, элбэг үед нэмэгдэж байгаа үр дүн гарч байна. Мөн температурын өсөлт нь Бөөнцагаан нуурын талбайтай урвуу хамааралтай буюу температур нэмэгдэх үед нуурын талбай багасаж буй дүн гарсан. Орхонсэлэнгэ нарын судалгаанд “Бөөнцагаан нуурын хувьд 1970 оноос хойш нуурын талбай 83.2 км²-аар багассан. Нуурын талбай их хэмжээгээр буурсан нь сүүлийн 45 жилийн температурын өсөлт шууд нөлөөлсөн байх талтай” гэж үзсэн [6]. Түвшин нар нуурын талбайн өөрчлөлтөд агаарын температур шууд буюу (r) 0.47 дунд зэрэг нөлөө үзүүлнэ [7] гэж дүгнэсэн нь бидний температур нэмэгдэх үед нуурын талбайн хэмжээ багасаж буй үр дүнтэй тохирч байна. Шуминска агаарын температураас илүүтэйгээр цасан бүрхэвч нөлөөлнө гэж дүгнэсэн [10]. Монгол орны уулсад орсон хур тунадасны үлэмж хэсэг нь голын урсац болох говь, хээрийн бүсийн нуурын хөндий, хонхор хотгорын усны тэжээл болно. Нуурын хөндийн хур борооны ус бараг бүхэлдээ уурших процесст зарцуулагдана [5]. Иймд судалгааны үр дүнгээс үзвэл нуурын талбайд унах хур тунадасны өөрчлөлтөөс илүү хүчтэй салхи нөлөөлж байгаа нь дээрх үр дүнг баталж байна. Монгол орны хамгийн их ууршилтын муж Нууруудын хөндий, Гурвансайхан уулс, говь, цөлийн мужид хөрсний гадарга жилд дунджаар 4-11°C хүртэл халах бөгөөд агаарын хуурайшил үлэмж ихийн зэрэгцээ салхины хурд хамгийн их, усны ууршилт 1310 мм байна

[5]. Судалгааны үр дүнд Бөөнцагаан нууранд сүүлийн 36 жилийн дундаж ууршилт 922.9 мм гарсан нь Даваа [5]-ийн Нууруудын хөндийн дунджаар авсан үзүүлэлтээс 30%-иар бага гарсан байна. Бөөнцагаан нуурын ууршилт 1986-1988 онуудад их, 1989-2000 онуудад бага, 2000-2014 онуудад ууршилтын хэмжээ нэмэгдэж, 2015-2017 онуудад буурч, 2018 оноос дахин нэмэгдэж байна. Энэхүү үзүүлэлт нь тус нуурын талбайн өөрчлөлтийн динамикийн үйл явцтай хугацааны хувьд давхцаж байна. Эндээс үзвэл Монгол орны хуурай хээрийн бүсэд орших нууруудын талбайн өөрчлөлтөд ууршилт үлэмж нөлөөлөл үзүүлж байна. Нуурын усны түвшин хэлбэлзлийн хувьд хавар цас, мөс хайлсны дараа усны түвшин бага зэрэг нэмэгдээд зуны гачиг үед буурч улмаар зуны хур борооны улиралд аажим нэмэгдэн, хамгийн их түвшин 9-10 дугаар сард ажиглагдана [5]. Ландсат 5 ТМ, Ландсат 8 OI хиймэл дагуулын мэдээний цаг хугацааны шийдийн нарийвчлал нь 16 хоног байдаг бөгөөд тухайн жилийн цаг уурын нөхцөл байдлаас шалтгаалан зарим зургууд нь боловсруулалтын шаардлага хангадаггүй. Нуурын талбайн өөрчлөлтийг тухайн жилийн тогтмол сард хийхэд дээрх хүндрэл гарч байгаа тул цаашид өндөр нарийвчлалтай цаг хугацааны шийд бүхий хиймэл дагуулын зураг ашиглан нуурын усан гадаргыг тооцвол илүү үр дүнтэй байна. Энэхүү судалгаанд мэдээ, материалын дутмаг байдлаас шалтгаалан цас хайлах болон нуураас газрын гүнрүү нэвчих усны хэмжээг тооцоогүй. Нуурууд нь уур амьсгалд мэдрэмтгий байдгийг олон тооны судалгаа харуулж байгаа ба нуурын физик, хими, биологийн шинж чанар нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд хурдан хариу үйлдэл үзүүлдэг болохыг харуулж байна. [29].

Иймд цаашид Монгол орны хуурай экосистемд буй нууруудын талбайн орон зай, цаг хугацааны өөрчлөлт, ус зүйн

нөхцлийг судалснаар уур амьсгалын өөрчлөлтийн эсрэг тэмцэхэд чухал нөлөө болох юм.

5. ДҮГНЭЛТ

Бөөнцагаан нуурын талбай 1986-2022 онуудад 7.9%-иар буурсан бөгөөд, нуурын талбай жилд дунджаар 0.34%-иар хэлбэлзэж байна. Нуурын талбайн өөрчлөлтөд агаарын температур, салхины хамгийн их хурд, ууршилт, Байдраг голын урсцын хэмжээ голлон нөлөөлж байгаа бол хур тунадас, салхины дундаж хурд, агаарын харьцангуй чийгшил болон хүн ам, мал аж ахуйн усны хэрэглээ бага нөлөөлж байна. Хуурай хээрийн бүсэд орших нуурууд нь уур амьсгалын өөрчлөлт, ялангуяа температурын өсөлт, ууршилтын нөлөөгөөр нуурын усан гадаргын талбай багасах эрсдэл бий болж байна. Бөөнцагаан нуурын усан гадарга 1994-1999 онуудад хамгийн их устай байсан бөгөөд цаашид буурах ерөнхий хандлагатай байна. Хуурай хээрийн эмзэг экосистем бүхий нуур нь уур амьсгалын өөрчлөлтийн хамгийн сайн индикатор нөгөө талаар бүс нутгийн экологи, уур амьсгалд эерэг нөлөө үзүүлдэг тул нуурын ус зүйн горим, онцлогийг нарийвчлан судалснаар уур амьсгалын өөрчлөлтийн эсрэг тэмцэхэд чухал нөлөө үзүүлэх юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг НҮБ-ын Хөгжлийн хөтөлбөр (UNDP, ENSURE) төслийн “Байдраг голын сав нутгийн экологийн чадавхыг ландшафтын түвшинд үнэлэх, цаашид зохистой ашиглах, хамгаалах үндэслэл” сэдэвт гэрээт ажлын (№с_Prof/2022/019) хүрээнд хийж гүйцэтгэсэн бөгөөд судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэхэд туслалцаа үзүүлсэн салбарын эрдэмтэн, судлаачид болон Бөөнцагаан-Орог нуурын сав газрын мэргэжилтэн М.Дүүрэн нарт талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- [1]. G. Davaa, D. Oyunbaatar, and M. Sugita, “Surface water of Mongolia In: Editorial Board Committee of Mongolia environmental handbook editors Mongolia Environmental Handbook,” Tokyo, Japan, 2008.
- [2]. J. Ma and W. M. Edmunds, “Groundwater and lake evolution in the Badain Jaran Desert ecosystem, Inner Mongolia,” *Hydrogeol. J.*, vol. 14, no. 7, pp. 1231-1243, Nov. 2006, <https://doi.org/10.1007/s10040-006-0045-0>
- [3]. C. Castañeda, J. Herrero, and M. Auxiliadora Casterad, “Landsat monitoring of playa-lakes in the Spanish Monegros desert,” *J. Arid Environ.*, vol. 63, no. 2, pp. 497-516, Oct. 2005, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.03.021>
- [4]. R. Chopra, V. K. Verma, and P. K. Sharma, “Mapping, monitoring and conservation of Harike wetland ecosystem, Punjab, India, through remote sensing,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 22, no. 1, pp. 89-98, Jan. 2001, <https://doi.org/10.1080/014311601750038866>
- [5]. G. Davaa, Surface water regime and resources of Mongolia. Ulaanbaatar: Admon publisher, 2015.
- [6]. Orkhonselenge, G. Komatsu, and M. Uuganzaya, “Climate-Driven Changes in Lake Areas for the Last Half Century in the Valley of Lakes, Govi Region, Southern Mongolia,” *Nat. Sci.*, vol. 10, no. 07, pp. 263-277, 2018, <https://doi.org/10.4236/ns.2018.107027>
- [7]. G. Tuvshin, T. Khosbayar, and D. Davaadorj, “The methodology of studying changes in the gobi region’s lake area,” *Proc. Mong. Acad. Sci.*,

- vol. 58, pp. 28-39, 2018, <https://doi.org/10.5564/pmas.v58i1.970>
- [8]. S. Kang and S. Y. Hong, "Assessing Seasonal and Inter-Annual Variations of Lake Surface Areas in Mongolia during 2000-2011 Using Minimum Composite MODIS NDVI," PLOS ONE, vol. 11, no. 3, p. e0151395, Mar. 2016, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151395>
- [9]. "Baidrag River Water Management Plan," 2014.
- [10]. D. Szumińska, "Changes in surface area of the Böön Tsagaan and Orog lakes (Mongolia, Valley of the Lakes, 1974-2013) compared to climate and permafrost changes," Sediment. Geol., vol. 340, pp. 62-73, Jul. 2016, <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2016.03.002>
- [11]. J. A. Downing et al., "The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments," Limnol. Oceanogr., vol. 51, no. 5, pp. 2388-2397, Sep. 2006, <https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.5.2388>
- [12]. E. E. Gaiser, D. L. Childers, R. D. Jones, J. H. Richards, L. J. Scinto, and J. C. Trexler, "Periphyton responses to eutrophication in the Florida Everglades: Cross-system patterns of structural and compositional change," Limnol. Oceanogr., vol. 51, no. 1part2, pp. 617-630, Jan. 2006, https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.1_part_2.0617
- [13]. C. Stoate et al., "Ecological impacts of early 21st century agricultural change in Europe - A review," J. Environ. Manage., vol. 91, no. 1, pp. 22-46, Oct. 2009, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.07.005>
- [14]. C. J. Vörösmarty et al., "Global threats to human water security and river biodiversity," Nature, vol. 467, no. 7315, pp. 555-561, Sep. 2010, <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- [15]. S. Narangerel, "Assessment of the ecological capacity of the baidrag river basin at the landscape level for further action to protect and use it properly (Landscape and ecological capacity assessment of the tributaries of Buun Tsagaan Lake (Baidrag River Basin)," Ulaanbaatar, 2022.
- [16]. J. Tserensodnom, Lakes of Mongolia. Ulaanbaatar, 1971.
- [17]. P. S. Frazier and K. J. Page, "Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data," Photogramm. Eng., p. 7.
- [18]. S. K. McFEETERS, "The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features," Int. J. Remote Sens., vol. 17, no. 7, pp. 1425-1432, May 1996, <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [19]. C. Munyati, "Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset," Int. J. Remote Sens., vol. 21, no. 9, pp. 1787-1806, Jan. 2000, <https://doi.org/10.1080/014311600209742>
- [20]. Y. Sheng, P. Gong, and Q. Xiao, "Quantitative dynamic flood monitoring with NOAA AVHRR," Int. J. Remote Sens., vol. 22, no. 9, pp. 1709-1724, Jan. 2001, <https://doi.org/10.1080/01431160118481>
- [21]. H. Xu, "Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery," Int. J. Remote Sens., vol. 27, no. 14, pp. 3025-3033, Jul. 2006, <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- [22]. C. W. Thornthwaite, "An Approach toward a Rational Classification of Climate," Geogr. Rev., vol. 38,

- no. 1, p. 55, Jan. 1948, <https://doi.org/10.2307/210739>
- [23]. L. L. Blaney and W. D. Criddle, "Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data," US Dep. Agric. Soil Conserv. Serv. Tech. Pap., vol. 96, 1952.
- [24]. R. J. Priestley and R. J. Taylor, "On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters," Mon. Weather Rev., vol. 100, no. 2, pp. 81-82, 1972. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1972\)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1972)100<0081:OTAOSH>2.3.CO;2)
- [25]. G. H. Hargreaves, "Review: Estimating potential evapotranspiration," J. Irrig. Drain. Eng., vol. 108, no. 3, pp. 225-230, 1985. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001390>
- [26]. Meyer, "Computing run-off from rainfall and other physical data," Trans. Am. Soc. Civ. Eng., vol. 79, pp. 1056-1224, 1915. <https://doi.org/10.1061/TACEAT.0002707>
- [27]. "NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)." May 01, 2023. [Online]. Available: <https://registry.opendata.aws/nasa-power>. P. Batima, T. Sugar, N. Dashdeleg, Z. Sanjmyatav, K. Natsagdorj, and N. Batnasan, "The issue of protection of water resources in the valleys of lakes," Proc. Meteorol. Environ. Monit., vol. 14, pp. 127-133, 1989.
- [28]. C. Rosenzweig et al., "Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems," 2007.