



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ  
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ  
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

---

*Geographical Issues*

*Volume 23 (1)*

*ISSN: 2312-8534*

*2023*

*Улаанбаатар хот*

**Уур амьсгалын эмзэг байдалд өртөж буй нууруудын усны тэнцлийн судалгаа (Өгий нуурын жишээн дээр)**  
**Changes of water balance components of the lakes in the steppe region under climate changes (A case study of Ogii lake, Central Mongolia)**

©Г.Болоржаргал<sup>1,2</sup>, Б.Эрдэнэбаяр<sup>1,3</sup>, Д.Оюунбаатар<sup>1\*</sup>, Ц.Ган-Эрдэнэ<sup>1,2</sup>, О.Бямбагэрэл<sup>1</sup>  
©Bolorjargal Ganzorig<sup>1,2</sup>, Erdenebayar Bavuu<sup>1,3</sup>, Oyunbaatar Dambaravjaa<sup>1\*</sup>, Gan-Erdene Tsengel<sup>1,2</sup>, Byambagerel Otgontuya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Гадаргын Усны Судалгааны Хэлтэс, Ус Цаг Уур Орчны Судалгаа Мэдээллийн Хүрээлэн, Монгол Улс

<sup>2</sup>Хэрэглээний математикийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, Инженерчлэлийн сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

<sup>3</sup>Хүрээлэн буй орчин, ойн инженерчлэлийн тэнхим, Хэрэглээний шинжлэх ухаан, Инженерчлэлийн сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

<sup>1</sup>Surface Water Research Department, Information and Research Institute of Meteorology, Hydrology, and Environment, Ulaanbaatar, Mongolia

<sup>2</sup>Department of Applied Mathematics, School of Engineering and Applied Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

<sup>3</sup>Department of Environmental and Forest Engineering, School of Engineering and Applied Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

\*Харилцагч зохиогч: [oytetuarel@yahoo.com](mailto:oytetuarel@yahoo.com)

\*Corresponding author: [oytetuarel@yahoo.com](mailto:oytetuarel@yahoo.com)

Хүлээн авсан: 2023.03.03  
Засварласан: 2023.05.04  
Зөвшөөрөгдсөн: 2023.05.08

### Хураангуй

Монгол орны хагас хуурай хээрийн бүс нутагт орших Өгий нуурыг сонгож Өгий нуур орчмын сүүлийн 30 жилийн уур амьсгал, нуурын усны эмзэг горим нөөцөд нөлөөлж буй үзүүлэлтүүд болон нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлт, нуурын усны балансын хөдлөлзүйг тодорхойлов. Судалгаанд Өгий нуур орчмын ус, уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийг Манн-Кендалл (МК), Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээ (ITAM), Сенейн налуугийн тооцоо (SSET)-г хийж статистик шинжилгээгээр хоорондын хамаарлыг нь гаргав. Мөн усны нормчлогдсон индексийн арга (NDWI)-аар нуурын усан гадаргын талбайг, усны тэнцлийн аргаар усны балансын хөдлөлзүйг тус тус гаргав. Энэхүү судалгаанд сүүлийн 30 жил буюу 1991-2021 оны Архангай аймгийн Өгийнуур цаг уурын станцын уур амьсгалын мэдээ, ус судлалын Хөгшин Орхон голын урсац болон Өгий нуурын усны түвшний мэдээг ашиглав. Хөгшин Орхон голын урсацын 30 жилийн тасралтгүй мэдээг бүрдүүлэхийн тулд ажиглалт хэмжилт бүхий буюу 1991-1994, 2016-2021 онуудын урсацын мэдээгээр 1995-2015 оны тасарсан үеийг төсөөтэй голын аргаар урсацын мэдээг нөхөн бүрдүүлсэн болно. Өгий нуурын усан гадаргын талбайг 1991-2012 оны хооронд Landsat 4, 5 TM, 2013-2021 оны хооронд Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын 7 болон 8 дугаар сарын мэдээг ашиглав. Мөн нуурын усны түвшний мэдээг 1991-2001 оны хооронд түвшин ба талбайн хамаарлаар, 2002-2021 оны хооронд ажиглалтын мэдээг ашигласан. Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд агаарын температур болон ууришлын хэмжээ нэмэгдэж, харин Өгий нуурын цутгал Хөгшин Орхон голын урсац буурсан байгааг Манн-Кендалл (МК) аргаар тодорхойллоо. Энэ хугацаанд Өгий нуурын усан гадаргын талбай 1.4 км<sup>2</sup> -аар буюу 5.4 хувиар, нуурын усны эзлэхүүн 0.021 км<sup>3</sup>-ээр буюу 11.5 хувиар, нуурын усны түвшин 80 см-ээр буюу 18.7 хувиар буурахад уур амьсгалын хүчин зүйлс тодорхой хэмжээнд нөлөөлжээ. Тухайлбал агаарын температур 2°C -аар нэмэгдэж, хур тунадасны хэлбэлзэл багатай үед нуурын усан гадаргаас ууришлын хэмжээ нэмэгдсэн нь нуурын талбайг бууруулах үндсэн шалтгаан болжээ. Өгий нуурын талбай 1991-2021 оны хооронд ихээхэн хэлбэлзэлтэй байгаа нь NDWI индексийн үр дүнгээр илэрч байна. 1993 онд нуурын усан гадаргын талбай хамгийн их буюу 26.7 км<sup>2</sup> байсан бол 2011 онд хамгийн бага хэмжээнд буюу 20.2 км<sup>2</sup> хүрсэн ба 2021 онд нуурын талбай эргэн нэмэгдэж 24.8 км<sup>2</sup> хүрч олон жилийн дундажтай харьцуулахад өссөн үзүүлэлт ажиглагдаж байна. Өгий нуурын усан гадаргын талбайн олон жилийн дундаж хэмжээ 24.03 км<sup>2</sup> болно (1991-2021). Өгий нуурын усны

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Г.Болоржаргал, Б.Эрдэнэбаяр: Онолын үндэслэл, аргагүй боловсруулалт, өгөгдөл боловсруулалт, үндсэн бичвэр, Ц.Ган-Эрдэнэ, О.Бямбагэрэл: Өгөгдөл цуглуулалт, боловсруулалт Д.Оюунбаатар: Үр дүнгийн хяналт.

балансын хөдлөлзүйг гаргахад сүүлийн 30 жилийн дунджаар усны балансын орлогын хэсгийн 55%-ийг Хөгшин Орхон голын урсац, 20%-ийг нуурын мандал дээр унах хур тунадас, харин үлдсэн хувийг гадаргын болон газрын доорх цутгал урсац тус тус бүрдүүлж байна.

**Түлхүүр үгс:** Усны баланс, усан гадаргын талбай, ууришлт, Уур амьсгалын үзүүлэлт, Манн-Кендалл шинжилгээ, Өгий нуур

### Abstract

The Ogii Lake, which is located in the semi-arid steppe region of Mongolia was selected in this study variation of the climate and climate parameters that impacted to vulnerable regime and resources of the lake for the last 30 years around the Ogii Lake and components of the lake water balance including the changes in the water surface area of the lake. Also, climate change vulnerability issues included in the studies. The Mann-Kendall (MK), Innovative Trend Analysis Method (ITAM) and Sen's Slope Estimator Test (SSET) are used for statistical analysis of variation and trends of water and climate parameters in the lake basin. The variation of lake water surface area was determined by the Normalized Difference Water Index (NDWI) and consequently dynamics of the water balance of the lake have analyzed. The last 30 years climate data of Ogii meteorological station from Arkhangai provinces which covers period from 1991 to 2021 have used in these studies. As for the lake water balance data, inflow data of Khogshin Orkhon river and other data from Ogii-Ogii hydrological station including water level and other parameters are used lake water balance. The missing runoff data of the Khogshin Orkhon river for period of 1995-2015 were extended by using method of analogy river using observed data for period of 1991-1994 and 2016-2021. Also, for the water surface area of Ogii Lake, satellite data of July and August months from Landsat 4 and 5 TM between 1991 and 2012 and Landsat 8 OLI satellite data between 2013 and 2021 were used. Water level of the lake for period of 1991-2001 were reconstructed by using relationship between water level and lake surface area and water level data of 2002-2021 is observed one. The Mann-Kendall (MK) method shows that air temperature and evaporation from open surface have increasing trend in last 30 years while river runoff has decreasing trend. The results of the studies show that the average annual temperature has increased by 2°C in the last 30 years around Ogii Lake region. As an impacts of such warming the water surface area of the lake have decreased by 1.4 km<sup>2</sup> or 5.4 percent and the water volume has decreased by 0.021 km<sup>3</sup> or 11.5 percent over the last 30 years. At same time, the lake water level has lowered by about 80 cm mainly due increase of evaporation caused by climate warming in the region. As shown results of NDWI index estimation that the water surface area of the Ogii lake has significant variation during the period of 1991-2021. Largest surface area is observed in 1993 by reaching 26.7 km<sup>2</sup> while lowest area is observed in 2011 with value of 20.2 km<sup>2</sup> and by 2021 lake surface area extended to 24.8 km<sup>2</sup> showing some recovery trend in recent years. Long term means surface area of the Ogii lake to be 24.03 km<sup>2</sup> during period of 1991-2021. As for ratio of main components of the lake water balance, the runoff of Khogshin Orkhon river is about 55% of the total inflow while 20% of the inflow to be precipitation on the lake water surface and remaining percentage is considered as groundwater contribution to the lake as mean of last 30 years.

**Keywords:** Water balance, Water surface area, Evaporation, Climate parameters, Mann-Kendall analysis, Ogii lake

### Оршил

XXI зууны хамгийн их анхаарал хандуулах асуудлын нэг бол дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлт юм (Adediran et al., 2023). Дэлхийн гадаргуугийн температур аажмаар өссөөр байгаа бөгөөд дэлхийн цаг уурын байгууллагаас гаргасан тайлангууд болон эрдэмтэн, судлаачдын зарим үр дүнгээс үзэхэд 2021 онд л гэхэд газар орчмын дундаж температур 1.2°C-ээр дулаарсан байна (Hansen et al., 2010; Romanello et al., 2022; Song et al., 2022). Дэлхийн дулаарал эрчимтэй явагдаж байгаа нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд ихээхэн нөлөөлж зуд, ган гачиг, үер, мөсөн шуурга, хар салхи, хөрсний нуралт зэрэг гэнэтийн аюултай үзэгдлүүдийн давтамж ихэссээр байна (Bhushan, Sharma, 2022; Gagné et al., 2014; Patz et al., 2008). Энэ гамшигт үзэгдлийн тохиолдох дамтамж нь 1999 оноос эхлэн өнөөг хүртэл хурдацтай нэмэгдэж байна (van Daalen et al., 2022). Цаашид уур амьсгалын өөрчлөлт нь нийгэм эдийн засаг болон бусад олон салбаруудад сөргөөр нөлөөлөх бөгөөд дасан зохицох стратеги боловсруулж, хэрэгжүүлэхэд ч бэрхшээл гарч болзошгүй байгаа тул өндөр хөгжилтэй орнууд зарим тулгамдсан асуудлуудад анхаарал хандуулах болсон. Ялангуяа устай холбоотой салбаруудад түлхүү анхаарч эхэлсэн байна (Biesbroek et al., 2013; Nordhaus, 1991; Thomas, Distributions, 2010).

Төв Ази болон Монгол орны хувьд их газрын гүнд, далайн түвшнээс дээш өргөгдсөн, хотгор гүдгэрийн хэв шинжээсээ хамаарч эрс тэс уур амьсгалтай, жилийн дөрвөн улиралтай, температурын хэлбэлзэл ихтэй, хур тунадас багатай, дэлхийн ус хагалбарын зааг дээр оршдог онцлог бүхий улс юм (Bayasgalan et al., 2009). Иймээс энэ бүс нутгийн уур амьсгал өөрчлөгдөх нь дэлхийн усны эргэлт, балансад чухал үүрэг гүйцэтгэнэ (Batima et al., 2005; Natsagdorj et al., 2019). 2000 -аад оны сүүл үеийн судалгаанаас үзэхэд хуурай, хагас хуурай бүс нутгийн уур амьсгал аажмаар дулаарч, бүс бүслүүрийн онцлогоосоо шалтгаалж цөлжилтөд өртөж, гадаргын усны нөөц хомсдож эхэлсэн (Lioubimtseva, Henebry 2009; Malsy et al., 2012). Тус бүсэд агаарын температурын өсөлтөөс шалтгаалж гадаргын урсац багасах, нуурын талбай өөрчлөгдөх цаашилбал ширгэх, экосистемийн доройтол үүсэх эрсдэлүүд бий болжээ (Batjargal, Enkhjargal, 2013). Ялангуяа нуур нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд эмзэг мэдрэмтгий учраас хариу үйлдэл хурдацтай үзүүлдэг байна (Adrian et al., 2009). Манай орны гадаргын усны нийт нөөц 599 км<sup>3</sup> гэж тооцогддог ба үүний

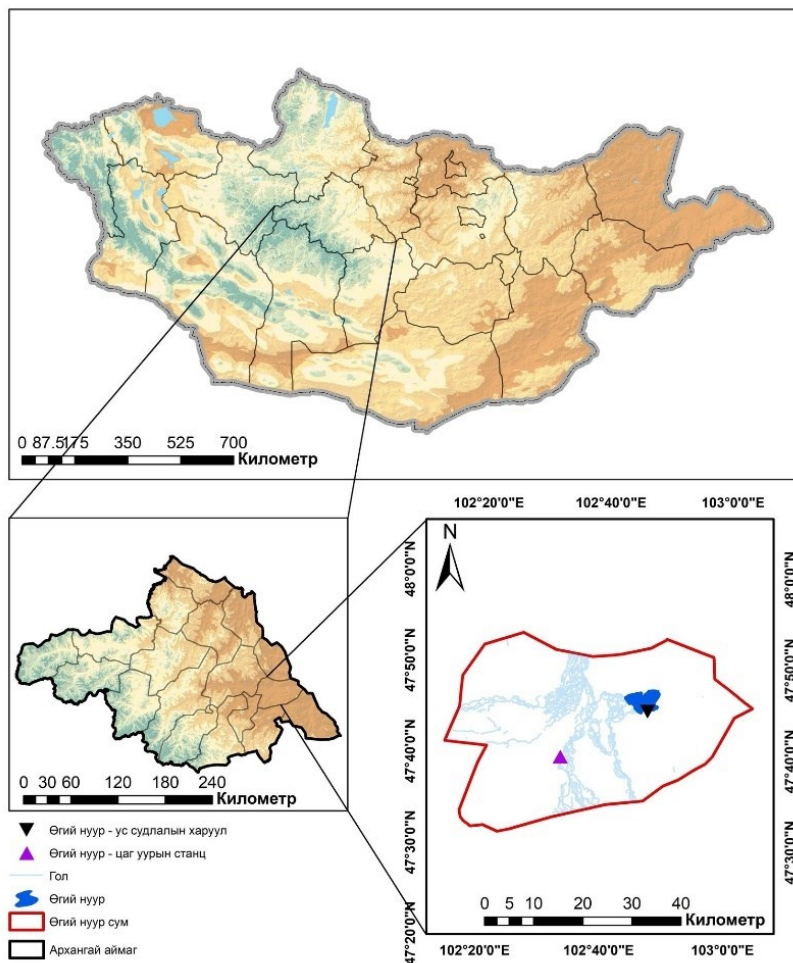
дийлэнх хувийг нуурын ус эзэлдэг (Tugjamba, 2021). Иймээс нуур бол судалгааны чухал объект юм.

Монгол орны хагас хуурай хээрийн бүс нутагт орших Өгий нуур нь уур амьсгалын өөрчлөлтөд хамгийн эмзэг өртөмтгий гэдгээрээ ихээхэн онцлогтой нуур юм (Amgalan et al., 2020; Sumiya et al., 2020). Өгий нуур нь Хөгшин Орхон голын сав дахь хамгийн том нуур бөгөөд сав газрын экосистемд онцгой ач холбогдол бүхий цэнгэг уст нуур юм (Tugjamba, 2021). Сүүлийн жилүүдэд уур амьсгалын өөрчлөлтөд өртөхөөс гадна жуулчид, мал аж ахуй ихтэй нутгийн иргэд нуур орчимд ихээр суурьшиж, аялаж байгаа нь тухайн бүс нутгийн газар бүрхэвч доройтох болон бэлчээрийн даац хэтрэх хүндрэлүүдийг үүсгэж байна (Tian et al., 2014).

Өгий нуур орчмын уур амьсгалын өөрчлөлт ба усны горимд үзүүлэх нөлөөллийг нарийвчлан судлах бөгөөд үүний тулд дараах зорилтуудыг дэвшүүлэв. (i) Өгий нуур орчмын сүүлийн 30 жилийн уур амьсгалын өөрчлөлт, (ii) нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлт (iii) усны балансын хөдлөлзүй (iv) Өгий нуур эмзэг байдалд өртөхөд нөлөөлж буй уур амьсгалын үзүүлэлтийг тодорхойлж гарахыг зорилоо.

### Судалгааны талбай

Өгийнуур нь Архангай аймгийн Өгий нуур сумын нутагт 1337 м үнэмлэхүй өндөрт байдаг бэсрэг нуур юм (Sumiya et al., 2020). Өгий нуурт Хөгшин Орхоны нэг салаа цутгаж багахан татаалаар Орхон голтой нийлдэг (Даваа, 2015). Өгийнуур нь 25 км<sup>2</sup> талбайтай, 7.4 км урт, 5.3 км өргөн, эргийн шугамын урт 24.7 км, хамгийн гүн нь 15.3 м, эзэлхүүн нь 147.9 сая м<sup>3</sup> байдаг (Цэрэнсодном, 2000).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил

## Судалгааны материал, аргазүй

Энэхүү судалгаанд сүүлийн 30 жил буюу 1991-2021 оны Архангай аймгийн Өгийнуур цаг уурын станцын уур амьсгалын мэдээ, ус судлалын Хөгшин Орхон голын урсац болон Өгий нуурын усны түвшний мэдээг ашиглав. Хөгшин Орхон голын урсацын мэдээг тасралтгүй 30 жилээр авч үзэхийн тулд 1991-1994, 2016-2021 онуудын ажиглалтын мэдээг ус судлалын Хөгшин Орхон – Хархорин харуулаас, 1995-2015 оны хооронд төсөөтэй голын аргаар урсцын мэдээг бүрдүүлсэн болно (Даваа, 2015). Өгий нуурын усны гадаргын талбайг 1991-2012 оны хооронд Landsat 4, 5 TM, 2013-2021 оны хооронд Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын 7 болон 8 дугаар сарын мэдээг ашиглан Усны нормчлогдсон индекс (NDWI) -ээр тооцсон (Хүснэгт 1). Мөн нуурын усны түвшний мэдээг 1991-2001 оны хооронд түвшин ба талбайн хамаарлаар, 2002-2021 оны хооронд ажиглалтын мэдээг ашигласан.

Хүснэгт 1. Судалгаанд ашигласан сансрын зургийн өгөгдөл

Хиймэл дагуул	Хугацаа	Сансрын зургийн мөр, баганын дугаар
Ландсат 4, 5 TM	1991-2012	133;027, 134;027
Ландсат 8 OLI	2013-2021	133;027, 134;027

Сав газарт байрлах цаг уурын станцууд болон ус судлалын харуулуудыг сонгохдоо орон зайн тархалт, ажиглалтын мэдээний чанар, цаг уурын станц болон ус судлалын харуулуудын байршил ойролцоо байхыг харгалзан үзсэн (Dojtsuren et al., 2018). Голын урсцын өөрчлөлтийг тооцохдоо цаг хугацааны дарааллаар усны урсцын өөрчлөлтийг илэрхийлж усны статистикийг нь бие даасан байдлаар тодорхойлно (Karthé et al., 2017).

Энэхүү судалгаанд голын урсац болон уур амьсгалын өөрчлөлтийн түүхэн чиг хандлагыг илрүүлэх зорилгоор Манн-Кендалл (МК) аргыг ашигласан. Энэхүү арга нь ус зүйн урсцын өөрчлөлтийг үнэлэх, чиг хандлагыг судлахад хэрэглэгддэг. Манн-Кендалл (МК) аргыг ашиглаж үр дүнг шалгах үүднээс Шинэлэг чиг хандлагын шинжилгээний арга (ITAM) болон Сенийн налуугийн тооцооны арга (SSET) зэргээр шалгаж үр дүнгээ баталгаажуулсан болно. Судалгаанд 1992-2022 оны мэдээнд статистик дүн шинжилгээ хийж, харьцуулсан үр дүнгүүдийг гаргалаа. МК, ITAM, SSET тооцооны аргаар уур амьсгал, голын урсцын цаг хугацааны цуваа мэдээг үнэлэхэд 10%, 5%, 1% гэсэн ач холбогдлын түвшинг ашиглаж үр дүнгүүдээ боловсруулсан.

### Манн-Кендалл (МК)-ийн шинжилгээний арга

Манн-Кендалл (МК) арга нь статистик шинжилгээгээр тодорхой өөрчлөлтийн чиг хандлагыг харуулдаг (Hussain, Mahmud, 2019). Статистик хамаарал нь өгөгдлийн хэмжээ, түүврийн хэмжээ, өгөгдлийн цувааны хэлбэлзлээс хамаарна. МК-ийн шинжилгээ нь тухайн тооцоолол хийж буй өгөгдөлд эерэг ба сөрөг утгуудын хамаарлыг тодруулдаг. Тодруулбал өгөгдлийн цуваанд гарсан өөрчлөлтийг тодорхойлдог (Wang et al., 2020).

Энэ судалгаанд голын урсцын сүүлийн 30 жилийн хугацааны хувьсал өөрчлөлт болон чиг хандлагыг тодорхойлов. Голын урсцыг уур амьсгалын олон жилийн статистик өгөгдлүүдтэй харьцуулан шинжлэв. МК-ийн арга нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ. Энд:

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

Өөрчлөлтийн хамаарлыг тодорхойлох үндсэн  $x_i$  өгөгдлийн хэмжээ ( $i = 1, 2, \dots, n - 1$ ) болон  $x_j$  ( $j = i + 1, 2, \dots, n$ ) байна. Аль ч өгөгдлийн хэмжээ нь  $x_i$  өгөгдлийн утгатай харьцуулж ашигладаг. Өгөгдлийн хэмжээг  $x_j$  дараах байдлаар тооцогдоно:

$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Энд  $x_j$  болон  $x_i$  нь цаг хугацааны утга  $j$  болон  $i$ . Өгөгдлийн цувааны тоо нь 10 эсвэл түүнээс их бол ( $n \geq 10$ ), МК арга нь дундаж утгыг хэвийн тархалтаар дараах байдлаар тодорхойлно  $E(S) = 0$ . Хугацааны цувааны өөрчлөлт  $\operatorname{Var}(S)$  дараах байдлаар тооцогдоно:

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^m t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18} \quad (4)$$

Энд  $m$  нь цаг хугацааны цуваан дахь холбоотой бүлгүүдийн тоо,  $t_k$  нь  $k$ th холбоотой бүлэг дэх хэлхээ холбооны тоо юм. Тестийн статистик  $Z$  нь дараах байдлаар тооцогдоно:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\delta} & \text{if } S > 0 \\ 0, & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\delta} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Энд  $Z$  нь тэгээс их үед өөрчлөлтийн хандлага нь өсөх,  $Z$  нь тэгээс бага үед өөрчлөлтийн хандлага нь буурна гэсэн үг. Цаг хугацааны дарааллаар статистик утгууд нь бие даасан байдлаар тодорхойлогддог:

$$UF_k = \frac{d_k - E(d_k)}{\sqrt{var(d_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

Голын урсцын өөрчлөлт тооцохдоо цаг хугацааны дарааллаар усны урсцын өөрчлөлтийг илэрхийлж бие даасан байдлаар тооцно:

$$UB_k = -UF_k \quad (7)$$

$$K = n + 1 - k \quad (8)$$

Энд  $UB_k$  болон  $UF_k$  статистикийн цувааг илэрхийлэхдээ цаг хугацааны дарааллыг урвуу дарааллаар бас илэрхийлдэг. Энэ нь судалгааны үр дүнг үнэн эсэхийг баталгаажуулж өгнө. Урвуу дараалал нь үндсэн хугацааны дараалалтай тэгш хэмт шугаман муруйг үүсгэнэ. Хэрэв тэгш хэмт муруй үүсэхгүй бол хугацааны цуваа өгөгдөлд алдаа гарсныг илтгэнэ.

### **Шинэлэг чиг хандлагын шинэжилгээний арга (ITAM)**

ITAM нь гидрологийн нөхцлийг илрүүлэх, түүний нарийвчлалыг МК аргын үр дүнтэй харьцуулж үр дүнгээ тооцдог арга юм (Malik et al., 2020). Үзүүлэлтийг дараах байдлаар тодорхойлдог:

$$\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{10(x_j - x_i)}{\mu} \quad (9)$$

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

### **Сенийн налууугийн тооцооны арга (SSET)**

Голын усны урсац болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хоорондын уялдаа, хамаарлыг налууугийн тооцооллын аргаар тодорхойлж болно (Dinrashoh, Babamiri, 2020). Хоёр өгөгдлийн цэгүүдийн хоорондын налуу  $Q_i$  дараах байдлаар тодорхойлогддог. Энд:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

Энд  $x_j$  болон  $x_k$  өгөгдлийн цэгүүдийн цаг хугацаа  $j$  болон ( $j > k$ ) тус тус байна. Хэрэв зөвхөн нэг өгөгдөл байгаа бол  $N = \frac{n(n-1)}{2}$ ;  $n$  нь үргэлжлэх хугацаа юм. Гэсэн хэдий ч, хэрэв жил бүрийн өгөгдлийн тоо олон байвал  $N < \frac{n(n-1)}{2}$ ;  $n$  ажиглалтын нийт тоо. Налууугийн тооцооны  $N$  утгуудыг хамгийн багаас хамгийн их хүртэл байрлуулна. Дараа нь налууугийн ( $\beta$ ) дунджийг дараах байдлаар тооцоолно:

$$\beta = \begin{cases} Q[(N+1)/2] & N \text{ нь сондгой байх үед} \\ Q[(N/2) + Q(N+2)/(2)/(2)] & N \text{ нь тэгш байх үед} \end{cases} \quad (11)$$

Энд  $\beta$  -ийн утга нь өсөх болон буурч байгаа эсэхийг харуулна.

### Усны нормчлогдсон индексийн арга (NDWI)

Энэхүү аргыг орчин үед нуурын дүрсзүйн өөрчлөлт, усан толион талбайн өөрчлөлтийг тооцоход өргөнөөр ашигладаг. NDWI-ийн тооцоог ‘Үзэгдэх гэрлийн ногоон туяаны суваг’ (G), ‘Ойрын нил улаан туяаны суваг’ (NIR) -ийн тусламжтай дараах тэгшитгэлээр тооцно (McFeeters 1996).

$$NDWI = \frac{G-NIR}{G+NIR} \quad (12)$$

NDWI нь “-1”-ээс “+1”-ийн хооронд утгыг авах ба эерэг NDWI утга нь ус, усан сан бүхий газрыг илтгэх бол сөрөг утга нь хуурай гадарга, барилгажсан талбай зэргийг тодорхойлдог (Ху, 2006).

### Усны тэнцлийн арга

Аливаа нуурын усны тэнцлийн дифференциаль тэгшитгэлийг дараах хэлбэрээр илэрхийлнэ (Mbanguka et al., 2016; Даваа, 2015).

$$Q_0(t) + P(t) - Q_r(t) - E(t) = \frac{dV}{dt} \quad (13)$$

Үүнд:  $Q_0(t)$  -нуурт цутгах нийт урсац,  $P(t)$  – хур тунадас,  $Q_r(t)$  -нуураас гадагш урсах нийт урсац,  $E(t)$  -усны ууршил,  $\frac{dV}{dt}$  -нуурын эзлэхүүний хугацааны өөрчлөлт

Нуурын усны горим, нөөц, усны тэнцлийг тодорхойлогч нэг үндсэн бүрэлдэхүүн хэсэг болох усан гадаргын ууршлыг уур амьсгалын элементүүдээс хамааруулан Монгол орны нөхцөлд зохицуулан гаргаж авсан эмпирик тэгшитгэлээр тооцов (Даваа, 2015, Sumiya et al., 2020).

$$E = 0.32 \cdot (1.0 + 0.38 \cdot V_{200}) \cdot (e_0 - e_{200}) \quad (14)$$

Үүнд:  $V_{200}$  -газрын гадаргаас дээш 2.0 м өндөр дэх салхины хурд, м/с,  $e_0$  -усны гадаргын температураар олсон ханасан уурын даралт, гПа,  $e_{200}$  -нуурын газрын гадаргаас дээш 2.0 м өндөр дэх агаарын үнэмлэхүй чийг, гПа

$$e_0 = 6.108 \cdot 10^{(a-t)/(b+t)} \quad (15)$$

Үүнд:  $e_0$  -усны гадаргын температураар олсон ханасан уурын даралт,  $t < 0^\circ\text{C}$  үед  $a = 9.5, b = 265.5$ ,  $t > 0^\circ\text{C}$  үед  $a = 7.63, b = 241.9$ ,  $t$  – усны гадаргын дундаж температур (Anderson, French, 2019)

$$V = \sum_{i=1}^n [(A_i - A_{i+1}) \cdot d_i] \quad (16)$$

Үүнд:  $V$  -нуурын усны эзлэхүүн,  $A$  -нуурын усан гадаргын талбай,  $d$  -ижил гүний шугмын хоорондох зай,  $n$  -ижил гүний шугмын дугаар

### Статистик шинжилгээний арга

*Шугаман регресс:* Уур амьсгалын чиг хандлагыг гол мөрний урсацтай нь харьцуулах байдлаар цаг хугацааны өөрчлөлтийн хандлагыг тодорхойлдог. Регрессийн параметр нь  $a$ , регрессийн коэффициент  $b$  нь хамгийн бага квадратын аргаар үнэлж дараах тэгшитгэлээр тооцов (Freedman, 2008). Энд:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (17)$$

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

Корреляцийн шинжилгээгээр нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлт ба түүнд нөлөөлөх уур амьсгалын хүчин зүйлийн хооронд шугаман хамаарал бий эсэхийг шалгаж хамаарлын хүчийг корреляцийн коэффициентоор илэрхийлсэн. Корреляцийн коэффициент нь “-1”-ээс “+1”-ийн

хооронд утгыг авах ба коэффициентын утга 0-ээс “-0.2”, “+0.2”-ийн хооронд хамааралгүй, “-0.5”, “+0.5”-ийн хооронд хамаарлын хүч сул, “-0.8”, “+0.8” хүртэл хамаарлын хүч дунд, “-0.8”, “+0.8”-аас дээш байвал 2 хувьсагч хооронд хүчтэй хамааралтай байна. Корреляцийн коэффициент нь (18)-р тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (18)$$

### Судалгааны үр дүн

**Өгий нуур орчмын ус, уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт:** Архангай аймгийн Өгийнуур суманд орших Өгий нуурын агаарын температур, хур тунадас, усан гадаргын ууршилт болон Хөгшин Орхон голын урсцын өөрчлөлтийг 30 жилийн хугацаатайгаар сонгож Манн-Кендалл аргаар тооцоо хийв (Зураг 3).

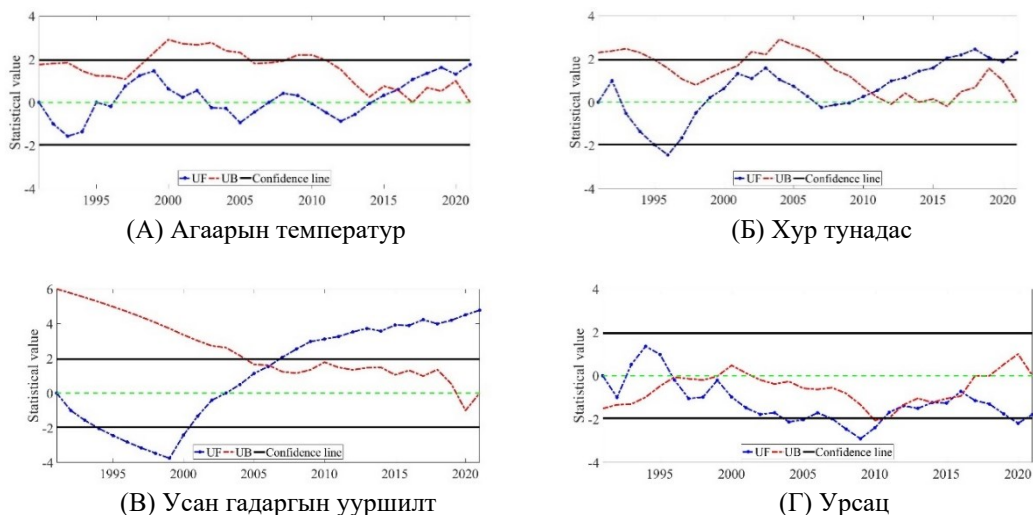
Хүснэгт 2. Өгий нуур орчмын ус, уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлтийн чиг хандлага

№	Үзүүлэлт	Z (МК)	Ф (ТАМ)	β (SET)
1	Агаарын температур	2.28**	-6.88***	0.05
2	Хур тунадас	2.99**	3.24***	3.77
3	Усан гадаргын ууршилт	7.05***	29.9***	41.89***
4	Хөгшин Орхон голын урсац	-2.14**	-1.33*	-0.005

Агаарын температурын өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл 1991-1996, 2003-2007, 2010-2015 онуудад статистикийн утга 0-ээс -2-ын хооронд байгаа нь дунджаас бага, 1997-2002, 2008, 2009, 2016-2021 (Z=2.28) онуудад статистикийн утгаар +2 руу дөхөж нилээд нэмэгдсэн хандлагатай байна. Өгий нуур орчмын хур тунадасны хэмжээ 1991 оноос тасралтгүй буурч 1996 онд статистикийн утга -2 -оос доош орсон хандлага илэрч байгаа нь хур тунадасны хэмжээ огцом буурчээ. Харин 1997 оноос тогтвортой нэмэгдсээр 1999 онд дунджаас ахиу болж, 2016 (Z=2.99) онд статистикийн утга +2 -оос дээш гарсан нь тунадасны хэмжээ нэмэгдэж байгааг илэрхийлж байна. Өгий нуурын усан гадаргын ууршилтын чиг хандлагаас үзвэл 1991 оноос ууршилтын хэмжээ багасаж 1993-2000 он хүртэл статистикийн утга -2 -оос -4 -ын хооронд байгаа нь усан гадаргын ууршилт бага явагдаж байсныг илэрхийлж байгаа боловч 2001 оноос ууршилтын хэмжээ тасралтгүйгээр нэмэгдсээр 2007-2021 (Z=7.05) онуудад статистикийн утга +2 -оос +6 -ын хооронд байгаа нь нуур орчмын усан гадаргын ууршилт эрчимтэй явагдаж байна.

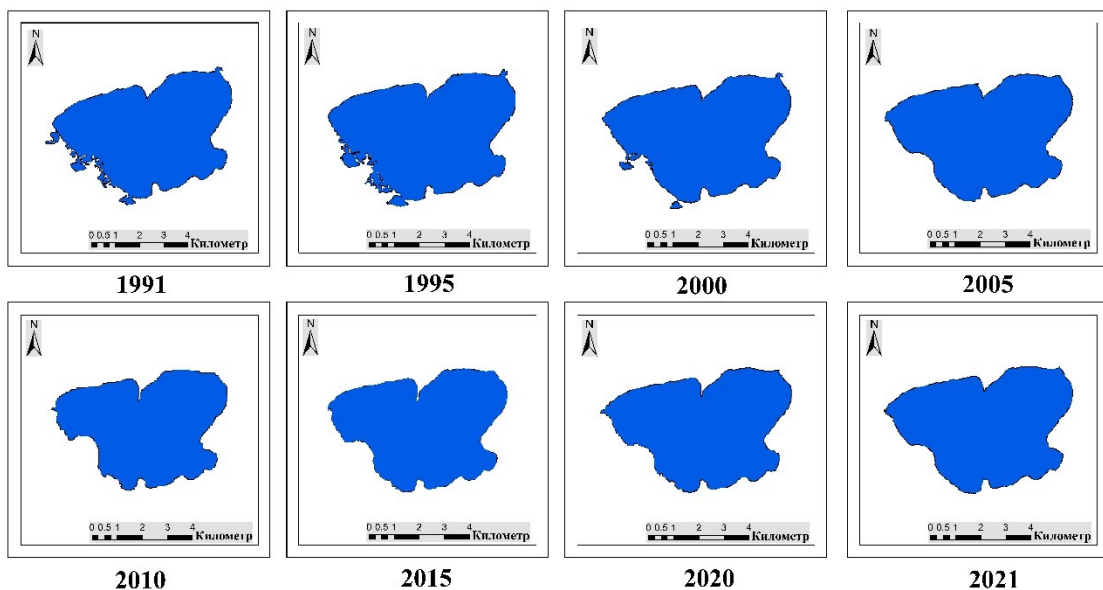
Өгий нуурын үндсэн тэжээл болох Хөгшин Орхон голын урсцын өөрчлөлтийн хандлагаас үзвэл 1991-1995 он хүртэл олон жилийн дунджаас их, 1996-2003 он хүртэл дунджаас бага байсан бол 2004-2010 (Z=-2.14) онуудад статистикийн утга -2 -оос доош байгаа нь голын урсцын хэмжээ эрс багассан байна. 2011 оноос урсцын хэмжээ тогтмол өсч байгаа ч дунжийн орчим хүрэхгүй байна.





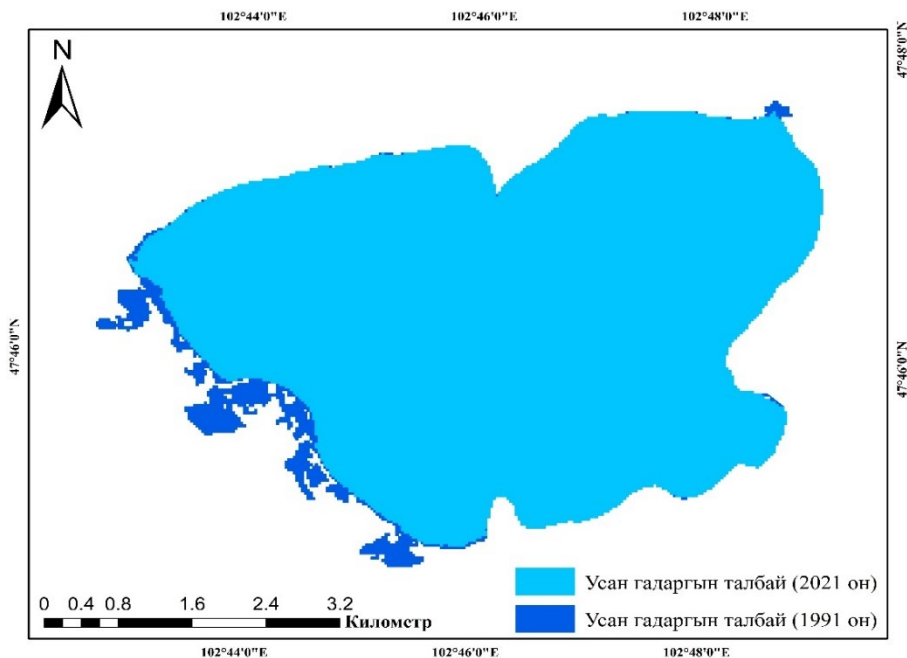
Зураг 2. Уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн чиг хандлага А. Агаарын температурын чиг хандлага Б. Хур тунадасны чиг хандлага В. Усан гадаргын ууршилтын чиг хандлага Г. Хөгшин Орхон голын урсцын чиг хандлага

**Өгий нуурын дүрсзүйн үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт:** Өгий нуурын усан гадаргын талбайн 30 жилийн мэдээг сэргээн бүрдүүлэв. Тус нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлтийг NDWI индексээр тооцоход сүүлийн 30 жилийн хугацаанд 20.2-26.7 км<sup>2</sup> хүртэл хэлбэлзэж байна. Нуурын талбай олон жилийн дунджаар 23.9 км<sup>2</sup> байх бөгөөд энэ хугацааны хамгийн их талбай 1993 онд 26.7 км<sup>2</sup>, хамгийн бага талбай 2011 онд 20.2 км<sup>2</sup> тус тус байна (Зураг 3).



Зураг 3. Усан гадаргын талбайн өөрчлөлт

Өгий нуурын усан гадаргын талбай 1991 онд 26.2 км<sup>2</sup> байсан бол 2021 онд 24.8 км<sup>2</sup> болж өөрчлөгдсөн байна. Энэ 30 жилийн хугацаанд буюу 1991-2021 оны хооронд нуурын усан гадаргын талбай 1.4 км<sup>2</sup> -аар багассан байна. Нуурын усан гадаргын талбайн сүүлийн 30 жилд 5.4 хувиар багассан байна (Зураг 4).



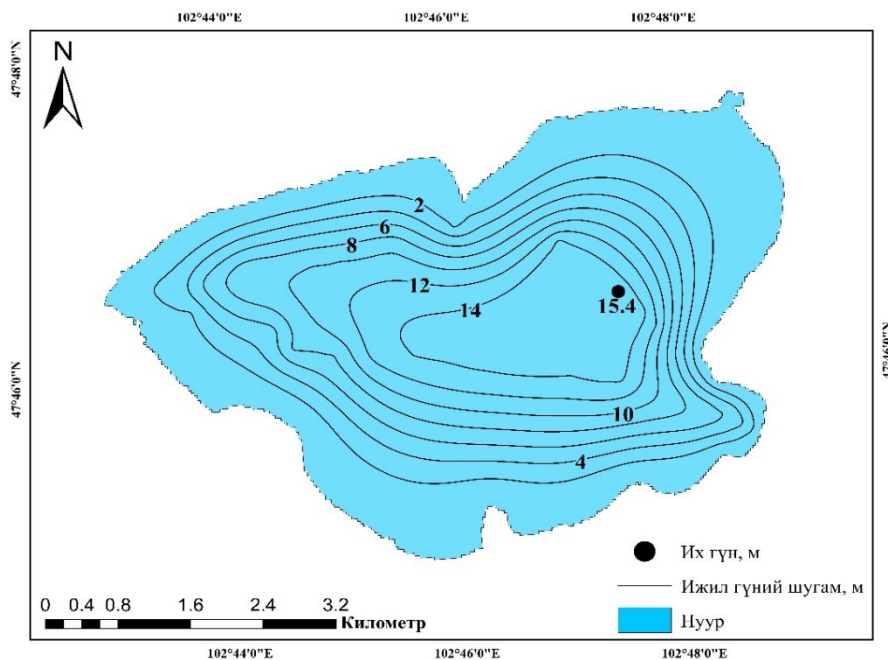
Зураг 4. Өгий нуурын усан гадаргын талбайн хэмжээг цаг хугацааны өөрчлөлтөөр харуулсан байдал (1991-2021)

Тухайлбал, нуурын усан гадаргын талбай 1991 оноос 2011 он хүртэл тасралтгүй буурсан хэдий ч сүүлийн 10 жилийн хугацаанд аажмаар нэмэгдэж байна. Нуурын усны эзлэхүүн 1991 онд 0.182 км<sup>3</sup> байсан бол 2021 онд 0.161 км<sup>3</sup> буюу 10-15 орчим хувиар багассан байна. Мөн энэ хугацаанд Өгий нуурын усны түвшин 80 орчим см-ээр буурчээ (Зураг 6, Хүснэгт 3).

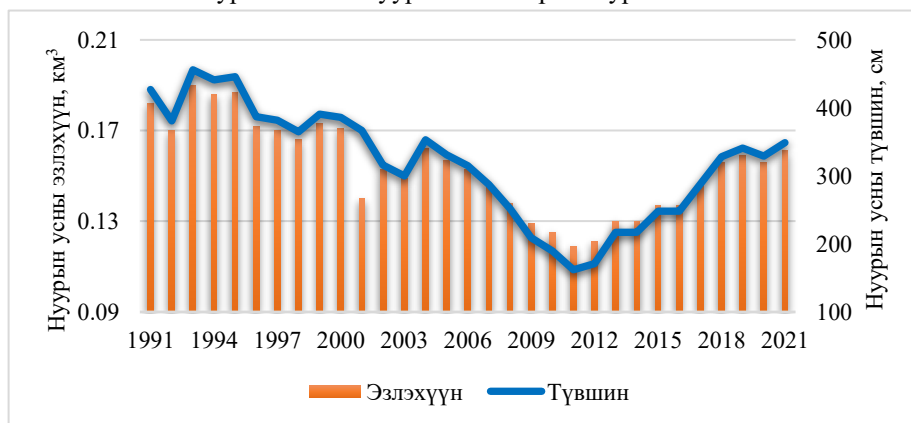
Хүснэгт 3. Өгий нуурын усан гадаргын талбай

Он	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Усан гадаргын талбай, км <sup>2</sup>	26.2	25.4	26.7	26.4	26.5	25.5	25.4	25.1	25.6	25.5	25.1	24.1	23.8	24.9	24.4	24.1
Он	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
Усан гадаргын талбай, км <sup>2</sup>	23.5	22.7	21.6	21.1	20.2	20.5	21.8	21.8	22.6	22.6	23.5	24.4	24.6	24.4	24.8	

Өгий нуурын ил гадаргын талбайг бүхэлд нь хамруулан гүний хэмжилтийг 2022 оны 5 дугаар сарын 23-ны өдөр хийх үед нуурын хамгийн их гүн 15.4 м, дундаж гүн 8.3 м, усны түвшин далайн мандлаас дээш 1333.9 м өндөрт байв (Зураг 5). Мөн нуурын усан гадаргын талбайг Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын 2022 оны 5 дугаар сарын 22 -ны өдрийн мэдээгээр тооцоход 25.5 км<sup>2</sup>, усны эзлэхүүн 0.160 км<sup>3</sup> байсан.



Зураг 5. Өгий нуурын ижил гүний зураглал



Зураг 6. Нуурын усны эзлэхүүн ба түвшний олон жилийн явц

**Өгий нуурын усны балансын хөдлөлзүй:** Өгий нуурын усны түвшний горим, усны тэнцлийг тодорхойлогч гол хүчин зүйлс бол нуурын усан гадарга ба сав газарт унах хур тунадас, цутгал урсац, ууршил болно (Даваа, 2015). Өгий нуурын усны тэнцлийг тасралтгүй үргэлжилж байгаа 2002-2022 оны хооронд жил бүрийн дунджаар тооцож гаргасан. Нуурын усны тэнцлийн зарлагын хэсэгт усан гадаргын ууршилт, харин орлогын хэсэгт нуурын мандал дээр унах хур тунадас, Хөгшин Орхон голын гадаргын болон газрын доорх урсац бүрдүүлж байна. Сүүлийн 30 жилийн дунджаар Өгий нуурын усны балансын орлогын хэсгийн 55 хувийг Хөгшин Орхон голын урсац, 20 хувийг нуурын мандал дээр унах хур тунадас, харин үлдсэн хувийг гадаргын болон газрын доорх цутгал урсац тус тус бүрдүүлж байна.

## Хүснэгт 4. Өгий нуурын усны балансын олон жилийн явц

Он	Усан гадаргын ууршилт		Хур тунадас, мм		Урсац		Эзэлхүүний өөрчлөлт		нийлбэр урсац		эзэлхүүн	
	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм
2002	0.0183	758.16	0.0030	126.4	0.008	324	-0.001	-42	0.0064	265.9	0.1676	6948
2003	0.0100	420.05	0.0056	233.9	0.010	412	-0.005	-199	-0.0101	-424.6	0.163	6844
2004	0.0113	455.29	0.0022	89.6	0.007	286	0.014	562	0.0159	641.3	0.177	7112
2005	0.0206	844.03	0.0026	105.8	0.010	394	-0.005	-218	0.0031	126.6	0.171	7018
2006	0.0176	730.68	0.0015	63.2	0.011	462	-0.004	-169	0.0009	36.2	0.167	6945
2007	0.0207	879.14	0.0008	33.7	0.008	328	-0.007	-306	0.0050	211.5	0.160	6813
2008	0.0222	977.42	0.0035	152.5	0.006	285	-0.010	-427	0.0026	112.6	0.151	6631
2009	0.0215	995.67	0.0029	134.0	0.006	298	-0.013	-596	-0.0007	-32.4	0.138	6378
2010	0.0167	791.01	0.0036	171.1	0.013	600	-0.006	-275	-0.0054	-254.9	0.132	6260
2011	0.0162	801.24	0.0037	184.9	0.033	1649	-0.010	-476	-0.0304	-1508.3	0.122	6056
2012	0.0191	930.63	0.0048	233.2	0.012	586	0.003	146	0.0053	257.8	0.125	6117
2013	0.0196	897.74	0.0040	183.4	0.009	414	0.015	688	0.0216	988.0	0.140	6427
2014	0.0147	673.49	0.0046	210.1	0.012	532	0.000	1	-0.0015	-66.9	0.140	6428
2015	0.0230	1018.25	0.0042	187.6	0.009	412	0.009	402	0.0186	821.2	0.149	6608
2016	0.0160	708.53	0.0056	246.7	0.018	785	0.000	6	-0.0072	-317.0	0.150	6611
2017	0.0228	970.68	0.0047	200.6	0.007	292	0.011	453	0.0219	931.3	0.160	6807
2018	0.0134	548.67	0.0056	231.1	0.008	344	0.011	434	0.0099	407.4	0.171	7004
2019	0.0213	863.96	0.0026	104.6	0.005	199	0.003	128	0.0169	688.0	0.174	7060
2020	0.0298	1219.51	0.0037	152.1	0.004	178	-0.003	-116	0.0189	773.0	0.171	7010
2021	0.0275	1109.68	0.0064	257.8	0.013	531	0.005	186	0.0126	506.8	0.176	7091
2022	0.0226	911.75	0.0038	152.1	0.011	429	-0.0005	-20	0.0077	310.4	0.175	7082

Өгий нуурын савд олон жилийн дунджаар дулааны улиралд 833.5 мм ус ууршилтаар алдагдана. Энэ нь нуурын гадаргад унах хур тунадаснаас даруй 5 дахин их байна. Олон жилийн дунджаар нууруудын сав газарт дулааны улиралд 164.5 мм хур тунадас унах ба хамгийн их нь 246.7 мм орчим байна. Харин хур тунадас багатай жилд 33.7 мм орчим хур тунадас унана.

## Хүснэгт 5. Өгий нуурын янз бүрийн услагтай жилийн усны баланс

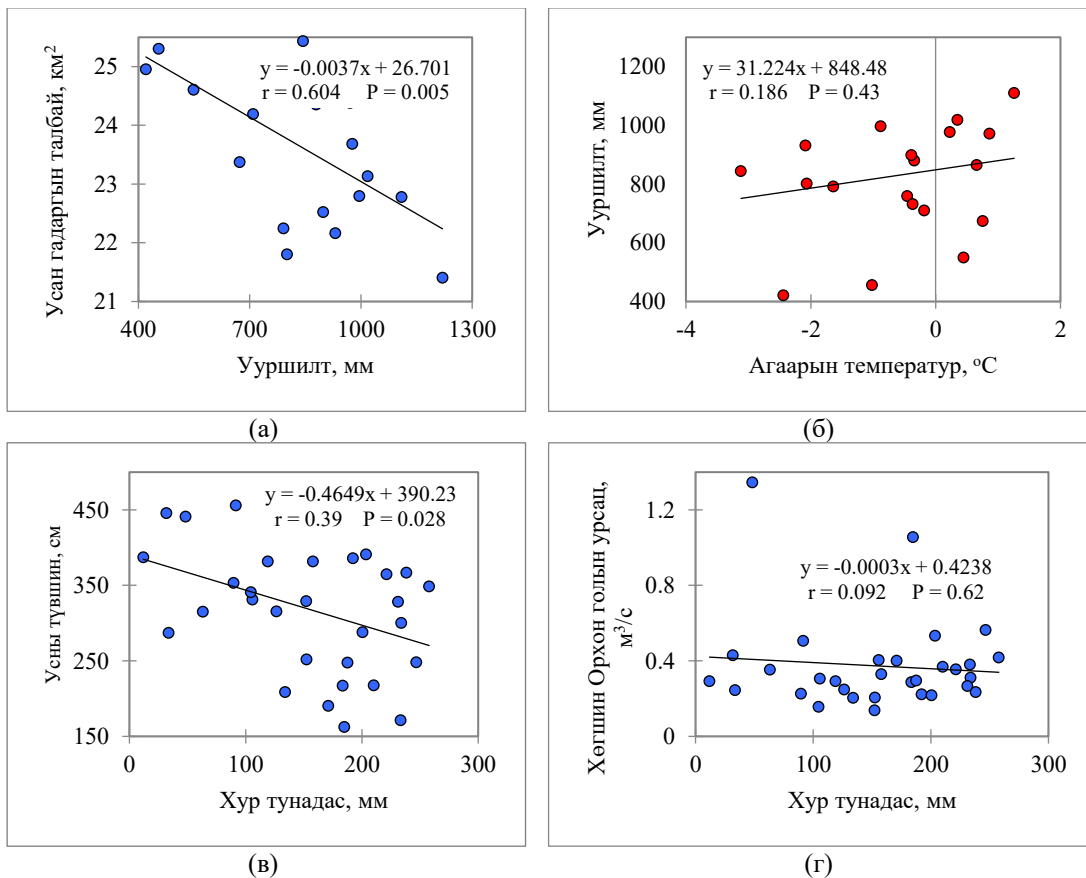
Услаг	Усан гадаргын ууршилт		P, мм		Урсац		Эзэлхүүний өөрчлөлт		нийлбэр урсац		эзэлхүүн	
	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм
Элбэг	0.011	455.3	0.0022	89.6	0.007	286	0.014	562	0.016	641.3	0.18	7112
Ердийн	0.019	833.6	0.004	164.5	0.010	463.7	0.0003	7.66	0.005	213.0	0.16	6726
Татруу	0.016	801.2	0.0037	184.9	0.033	1649	-0.010	-476	-0.030	-1508	0.12	6056

Элбэг услагтай жилд Өгий нуурын усны балансын орлогын хэсгийн 41 %-ийг Хөгшин Орхон гол урсац, нуур мандал дээр унах хур тунадас нь орлогын 20 %-ийг, харин үлдсэн хувийг гадаргын болон газрын доорх цуггал урсац тус тус бүрдүүлж байна.

Бага услагтай жилд буюу Өгий нуурын усны балансын орлогын 90%-ийг Хөгшин Орхон гол, 10%-ийг нуурын мандал дээр унах хур тунадас бүрдүүлж байх үед нуур нь газрын доорх усаа тэтгэдэг (Хүснэгт 5).

**Өгий нуурын усны балансын элементүүд болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн харилцан хамаарал:** Судалгаанд хамрагдаж буй Өгий нуурын усан гадаргын талбай сүүлийн 30 жилийн хугацаанд багассан хандлага илэрч байна. Энэхүү өөрчлөлтөд 1991-2021 оны хооронд Өгий нуурын усны балансын орлогын 20 орчим хувийг эзлэх хур тунадасны хэмжээ өөрчлөлт багатай хэдий ч орлогын хэсгийн 55 хувийг эзлэх Хөгшин Орхон голын урсац 0.19 м<sup>3</sup>/с -ээр буурсан байна.

Харин усны балансын зарлагын хэсэгт орох ууршилтын хэмжээ 1.4 дахин нэмэгдсэн байгаа нь нуурын усан гадаргын талбай багассантай холбоотой юм. Нуурын усан гадаргын ууршилтыг дулааны улирлаар тооцоход 700-1220 мм -ийн хооронд хэлбэлзэх бөгөөд 2003 онд хамгийн бага буюу 420 мм, 2021 онд хамгийн их буюу 1110 мм хэмжээтэй ууршилт явагдсан байна. Ууршилт эрчимтэй явагдаж буй хандлагад уур амьсгалын өөрчлөлт тодорхой нөлөөлсөн болно (Зураг 5).



Зураг 7. Өгий нуурын усны балансын элементүүд болон уур амьсгалын үзүүлэлтүүдийн хамаарал (а). Усан гадаргын талбай болон ууршилтын хамаарал (б). Ууршилт болон агаарын температурын хамаарал (в). Усны түвшин болон хур тунадасны хамаарал (г). Урсац болон хур тунадасны хамаарал

Өгий нуур орчмын уур амьсгалын өөрчлөлтийг сүүлийн 30 жилийн хугацаанд тооцож үзэхэд жилийн дундаж агаарын температур 2°C -аар дулаарсан байна. Өгий нуурын усан гадаргын талбай нь усан гадаргын ууршилттай урвуу хамааралтай ( $r = 0.60$ ,  $P=0.005$ ), хур тунадас нь нуурын усны түвшинтэй урвуу хамааралтай ( $r = 0.39$ ,  $P=0.028$ ) байх ба статистикийн өндөр ач холбогдол бүхий хамааралтай байна. Харин агаарын температур болон ууршилт хоорондын хамаарал ( $r = 0.19$ ,  $P=0.43$ ), хур тунадас болон Хөгшин Орхон голын урсац хоорондын хамаарал ( $r = 0.092$ ,  $P=0.62$ ) тус тус сул байна. Энэ судалгаанд хамрагдаж буй Өгий нуурын усан гадаргын талбай багасаж байгаа нь зөвхөн уур амьсгалын өөрчлөлтөөс бус гэдэг нь судалгааны харилцан хамаарлын дүн шинжилгээнээс харагдаж байна.

### Хэлэлцүүлэг

Эрдэнэсүх (2020) нарын судалгаанд Өгий нуурын уур амьсгалын өөрчлөлтийн хандлагыг 1986-2018 оны хооронд буюу 32 жилийн мэдээг ашиглаж тооцжээ. Үр дүнгээс харахад нуурын усан гадаргын талбай болон агаарын температур хоорондын хамаарлын коэффициент 0.26 байгаа нь агаарын температурын өсөлт ууршилтад нөлөөлж нуурын усан гадаргын талбай 13.5% -аар буурсан гэж үзжээ (Sumiya et al., 2020). Жишээлбэл бидний судалгааны үр дүнгээр Өгий нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлт нь 1991-2021 оны хооронд 1.4 км<sup>2</sup>-аар буюу 5.4 хувиар багассан

гэсэн үр дүн зөрүүтэй байгаа нь сүүлийн жилүүдэд нуурын мандалд унах хур тунадас 26.7 мм-ээр ахиу байсантай холбоотой байж болох юм. Мөн энэхүү судалгааны ажилд ашигласан аргагүй болон гарсан үр дүн нь бидний судалгаатай ойролцоо байгаа боловч судалгаанд ашигласан мэдээний хугацаа болон цувааны урт нь өөр юм.

Амгалан (2020) нарын судалгаанд нуурын усны балансыг тооцоолсон ба үүнд нуурын усны орлогын хэсгийн ихээхэн хувийг гадаргын болон газар доорх цутгал урсац бүрдүүлж байгаа гэж дурдсан нь бидний судалгаатай нийцтэй байна. Мөн энэ судлаач нь Өгий нуурын усан гадаргын ууршилтыг тооцоходоо томьёо ашигласан (Penman, 1948) нь бидний тооцсон усан гадаргын ууршилтаас 2-3 дахин бага байна (Magsar et al., 2021). Бидний судалгааны ажилд усан гадаргын ууршилтыг тооцоходоо манай орны өндрийн бүсээс хамааруулан гаргасан эмпирик томьёог ашиглан (Даваа, 2015) усан гадаргын ууршилтыг тооцсон нь илүү үнэмшилтэй гэж үзэж байна.

Улаанбаатар (2022) нарын Тектоник их хагарлаар ундаалсан Өгий далай гэсэн бүтээлийн хоёр дугаар бүлэг болох Өгий нуурын усны балансын хэсэгт урсац багатай жилүүдэд тектоник хагарлаар газрын доорх усаар Өгий нуур тэжээгддэг болохыг баталгаажуулсан байна (Улаанбаатар, 2022). Энэ нь бидний судалгааны үр дүнгээс харахад Өгий нуурын орлогын 15-25 орчим хувь нь гадаргын болон газрын доорх цутгал урсац тус тус бүрдүүлж байгаатай нийцэж байна.

### Дүгнэлт

Энэ судалгаанд Монгол орны хагас хуурай хээрийн бүс нутагт орших Өгий нуурыг сонгож Өгий нуур орчмын сүүлийн 30 жилийн уур амьсгал болон нуурын усан гадаргын талбайн өөрчлөлт, нуурын усны балансын хөдлөлзүй, Өгий нуур эмзэг байдалд өртөхөд нөлөөлж буй уур амьсгалын үзүүлэлтийг тодорхойлов.

Сүүлийн 30 жилийн хугацаанд буюу 1991-2021 оны хооронд агаарын температур болон ууршилтын хэмжээ нэмэгдэж, харин Өгий нуурын цутгал Хөгшин Орхон голын урсац буурсан байгааг Манн-Кендалл (МК) аргаар тодорхойлов. Энэ хугацаанд Өгий нуурын усан гадаргын талбай 1.4 км<sup>2</sup> -аар буюу 5.4 хувиар, нуурын усны эзлэхүүн 0.021 км<sup>3</sup>-ээр буюу 11.5 хувиар, нуурын усны түвшин 80 орчим см-ээр буюу 18.7 хувиар буурахад уур амьсгалын хүчин зүйлс тодорхой хэмжээнд нөлөөлжээ. Тухайлбал агаарын температур 2°C -аар нэмэгдэж, хур тунадасны хэлбэлзэл багатай үед нуурын усан гадаргаас уурших ууршилтын хэмжээ нэмэгдсэн нь нуурын талбайг бууруулах үндсэн шалтгаан болжээ.

Өгий нуурын талбай 1991-2021 оны хооронд ихээхэн хэлбэлзэлтэй байгаа нь NDWI индексийн үр дүнгээр илэрч байна. 1993 онд нуурын усан гадаргын талбай хамгийн их буюу 26.7 км<sup>2</sup> байсан бол 2011 онд хамгийн бага хэмжээнд буюу 20.2 км<sup>2</sup> хүрсэн ба 2021 онд нуурын талбай эргэн нэмэгдэж 24.8 км<sup>2</sup> хүрч олон жилийн дундажтай харьцуулахад өссөн үзүүлэлт ажиглагдаж байна. Өгий нуурын талбайн дундаж хэмжээ NDWI индексийн тооцоогоор 1991-2021 оны хооронд 24.03 км<sup>2</sup> хэмжээтэй байна.

Өгий нуурын усны балансын хөдлөлзүйг гаргахад сүүлийн 30 жилийн дундаж усны балансын орлогын хэсгийн 55%-ийг Хөгшин Орхон голын урсац, 20%-ийг нуурын мандал дээр унах хур тунадас, харин үлдсэн хувийг гадаргын болон газрын доорх цутгал урсац тус тус бүрдүүлж байна.

Цаашид Өгий нуурын гадаргын болон газар доорх усны уялдаа холбоо, хүний хүчин зүйлийг нарийвчлан тооцох шаардлагатай байна.

### Талархал ба санхүүжилт

Энэхүү судалгааны ажлыг Уур амьсгалын ногоон сангийн санхүүжилтээр Байгаль орчин, аялал жуулчлалын яам, Нэгдсэн үндэстний байгууллагын Байгаль орчны хөтөлбөрийн хамтран хэрэгжүүлж буй “Ганга, Өгий зэрэг хатаж ширгэж буй нууруудын усны тэнцэл, дүрс зүйн үзүүлэлтүүдийн өөрчлөлт, нууруудыг сэргээх болон дасан зохицлын зарим арга хэмжээг хэрэгжүүлэх боломжийн судалгаа” (NAP) төслийн судалгааны тэтгэлгийн тусламжтайгаар гүйцэтгэв.

## Ном зүй

1. Даваа, Г. (2015) Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц, Улаанбаатар: Адмон принтинг.
2. Улаанбаатар, Т. (2022) Төхтөник их хагарлаар ундаалсан Өгий далай, Улаанбаатар, ШУТИС.
3. Цэрэнсодном, Ж. (2000) Монгол орны нуурын каталог, Улаанбаатар: Шувуун Саарал хот.
4. Adediran, I.A., Isah, K.O., Ogbonna, A.E. and Badmus, S.K. (2023). A global analysis of the macroeconomic effects of climate change. *Asian Economics Letters*, 4(Early View).
5. Adrian, R., O'Reilly, C.M., Zagarese, H., Baines, S.B., Hessen, D.O., Keller, W., Livingstone, D.M., Sommaruga, R., Straile, D. and Van Donk, E. (2009). Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and oceanography*, 54(6part2), 2283-2297.
6. Amgalan, M., Matsumoto, T., Ulaanbaatar, T., Nandintsetseg, N., Erdenesukh, S., Sandelger, D. and Altanbold, E. (2020). Estimation of evaporation from Ogi Lake using the energy budget method. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 76(5), I\_301-I\_309.
7. Anderson, R.G. and French, A.N. (2019). Crop evapotranspiration, 614, MDPI.
8. Batima, P., Natsagdorj, L., Gombluudev, P. and Erdenetsetseg, B. (2005). Observed climate change in Mongolia. 12, 1-26.
9. Batjargal, Z. and Enkhjargal, B. (2013). Interference impact of global warming and globalization on the society and ecosystem in Mongolia. *The Mongolian ecosystem network: environmental issues under climate and social changes*, 295-313.
10. Bayasgalan, B., Mijiddorj, R., Gombluudev, P., Oyunbaatar, D., Bayasgalan, M., Tas, A., Narantuya, T. and Molomjamts, L. (2009). Climate change and sustainable livelihood of rural people in Mongolia. *The adaptation continuum: groundwork for the future. ETC Foundation, Leusden*, 193-213.
11. Bhushan, B. and Sharma, A. (2022). *Flood Handbook*, pp. 265-284, CRC Press.
12. Biesbroek, G.R., Klostermann, J.E., Termeer, C.J. and Kabat, P. (2013). On the nature of barriers to climate change adaptation. *Regional Environmental Change*, 13, 1119-1129.
13. Davaa, G. (2015) Surface water regime and resource of Mongolia. Admon Printing, Ulaanbaatar.
14. Dinpashoh, Y. and Babamiri, O. (2020). Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-16.
15. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., Girma, A., Abiyu, A., Jing, L. and Gedefaw, M. (2018). Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77(20), 1-12.
16. Freedman, D.A. (2008). On regression adjustments in experiments with several treatments.
17. Gagné, K., Rasmussen, M.B. and Orlove, B. (2014). Glaciers and society: Attributions, perceptions, and valuations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(6), 793-808.
18. Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. and Lo, R. (2010). Global surface temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 48(4).
19. Hussain, M. and Mahmud, I. (2019). pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. *Journal of Open Source Software*, 4(39), 1556.
20. Karthe, D., Chalov, S., Moreido, V., Pashkina, M., Romanchenko, A., Batbayar, G., Kalugin, A., Westphal, K., Malsy, M. and Flörke, M. (2017). Assessment of runoff, water and sediment quality in the Selenga River basin aided by a web-based geoservice. *Water Resources* 44(3), 399-416.
21. Lioubimtseva, E. and Henebry, G.M. (2009). Climate and environmental change in arid Central Asia: Impacts, vulnerability, and adaptations. *Journal of Arid Environments*, 73(11), 963-977.
22. Magsar, A., Matsumoto, T., Enkhbold, A., Nyam-Osor, N.J.N.E. and Technology, P. (2021) Application of remote sensing and GIS techniques for the analysis of lake water fluctuations: a case study of ugii lake, Mongolia. 20(5), 2051-2059.
23. Malik, A., Kumar, A., Pham, Q.B., Zhu, S., Linh, N.T.T. and Tri, D.Q. (2020) Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-innovative trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences* 13, 1-15.
24. Malsy, M., Aus der Beek, T., Eisner, S. and Floerke, M. (2012) Climate change impacts on Central Asian water resources. *Advances in Geosciences* 32, 77-83.
25. Mbanguka, R.P., Lyon, S.W., Holmgren, K., Girons Lopez, M. and Jarsjö, J. (2016) Water balance and level change of Lake Babati, Tanzania: sensitivity to hydroclimatic forcings. *Water* 8(12), 572.
26. 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.

27. Natsagdorj, L., Munkhbat, B. and Gomboluudev, P. (2019) Climate biocapacity of Mongolia and its change. 54-70.
28. Nordhaus, W. (1991) To slow or not to slow: the economics of the greenhouse effect. 101(407), 920-937.
29. Patz, J.A., Vavrus, S.J., Uejio, C.K. and McLellan, S. (2008) Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes region of the US. 35(5), 451-458.
30. Penman, H.L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences* 193(1032), 120-145.
31. Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S. and Ford, L. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, 400(10363), 1619-1654.
32. Song, F., Zhang, G.J., Ramanathan, V. and Leung, L. (2022). Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(6), e2117832119.
33. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., Weng, B., Qin, T., Wang, K. and Gerelmaa, T. (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.
34. Thomas, C.D. (2010) Climate, climate change and range boundaries. *Diversity and Distributions*, 16(3), 488-495.
35. Tian, F., Herzschuh, U., Mischke, S. and Schlütz, F. (2014). What drives the recent intensified vegetation degradation in Mongolia—Climate change or human activity?. *The Holocene*, 24(10), 1206-1215.
36. Tugjamba, N. (2021) *The Physical Geography of Mongolia*, pp. 77-100, Springer.
37. van Daalen, K.R., Kallesøe, S.S., Davey, F., Dada, S., Jung, L., Singh, L., Issa, R., Emilian, C.A., Kuhn, I. and Keygnaert, I. (2022). Extreme events and gender-based violence: a mixed-methods systematic review. 6(6), e504-e523.
38. Wang, F., Shao, W., Yu, H., Kan, G., He, X., Zhang, D., Ren, M. and Wang, G. (2020) Re-evaluation of the power of the mann-kendall test for detecting monotonic trends in hydrometeorological time series. *Frontiers in Earth Science*, 8, 14.
39. Xu, H. (2006) Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.