

**ТЭЛМЭН НУУРЫН МОРФОМЕТРИЙН ОНЦЛОГ, ХОТГОРЫН
МОРФОЛОГИ, ГАРАЛ ҮҮСЭЛ**
**MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS, DEPRESSION MORPHOLOGY
AND ORIGIN OF THE TELMEN LAKE, WESTERN MONGOLIA**

Э.АЛТАНБОЛД¹, Х. УЛАМБАДРАХ^{2*}, CHUN XI³,
LI DINGJUN¹, Б.ДААРИЙМАА², Б.БАТЗОРИГ^{1,4}

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

²Монгол Улсын Их Сургууль, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи-Геофизикийн тэнхим

³Өвөр Монголын Багийн Их Сургууль, Газарзүйн Дээд Сургууль, Монголын тэгш
өндөрлөгийн уур амьсгалын судалгааны төв лаборатори

⁴Шинжлэх Ухааны Академи, Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Цэвдэг судлалын салбар

Abstract

Studies of paleoclimate change based on the sediments of Lake Telmen have been conducted. We present the morphometric characteristics, depression origin of the Telmen Lake, Western Mongolia. In the study, the morphometric analysis, spatial improvement method, hypsometric curve method, Geophysical magnetic mapping, and AWEI index were used to determine the pattern of lake depressions. The depression of the Telmen Lake formed as a block-subsidence by faults. Lake water is likely to relate to underground water, which level cutted by fault. Climate change and permafrost studies show that water area and volume of the Telmen Lake are not changed through Central Asia warming and drying in last two decades.

Keywords: *Khangay Mountains, Telmen Lake, Morphometric analysis, depression origin, fault*

Түлхүүр үг: *Хангайн нуруу, Тэлмэн нуур, морфометрийн шинжилгээ, хотгорын гарал цүцсэл, хагарал*

***Холбоо барих зохиогч:**
*Х.Уламбадрах,
МУИС-ШУС Геологи,
геофизикийн тэнхим,
ulambadrakh@num.edu.mn*

Оршил

Хангайн нуруу, түүний салбар уул нь 4000 м хүртэл өргөгдсөн, Монгол орны нутаг дэвсгэрт бүхлээрээ багтдаг томоохон уулсын систем юм. Хангайн нурууны арын тэгш өндөрлөг, салбар уул хоорондын хотгорт нуурууд тогтсон байдаг. Хангайн нуурын мужид нуурын

тархалт харьцангуй их боловч хотгорын хувьд дундаж, дунджаас бага талбайтай байна (Enkhbold et al., 2021). Монгол орны нуурын хотгорын геоморфологийн мужлалаар Хангайн нуурын мужийн Хангайн хойд дэд мужид Тэлмэн нуур байрладаг (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Энэ нуурын усзүйн горим нь Төв Азийн гадагш урсгалгүй ай савд

хамаарагдах бөгөөд газарзүйн байрлал, усны горимын хувьд аж ахуйн ихээхэн ач холбогдолтой байршилд оршдог.

Кондратьев (1927) Хангайн Тэлмэн нуур орчмыг судалж “Тэлмэн нуур ба Хангайн тэгш өндөрлөгийн баруун хэсэг” гэсэн нэг сэдэвт бүтээл туурвиж байжээ (**Даш, Мандах, 2011**). **Цэрэнсодном (1971)** Тэлмэн нуурын морфометрийн хэмжилтийг хийж нуурын гүн, талбай, усны чанар, найрлага, батиметрийн 1:100000 масштабын зураглалыг анх хийсэн нь нуурын чиглэлийн судалгаануудад одоо ч суурь өгөгдөл болон ашиглагдсаар байна.

Тэлмэн нуурын талаар дараах судалгааны ажлууд хийгдэж нийтлэгдсэн. **Peck et al. (2002)** Тэлмэн нуурын хурдсын дээжинд задлан шинжилгээ хийх замаар дунд ба хожуу голоцены үеийн уур амьсгалын хэлбэлзэл, өөрчлөлтийн динамик зүй тогтлыг тодруулан судалсан бол **Fowell et al. (2003)** Тэлмэн нуурын хурдаст агуулагдах ургамлын үр тоосны үлдэгдэлд задлан шинжилгээ хийж дунд ба хожуу голоцены үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн интервалыг нарийвчлан судалсан байдаг. Энэ судалгаагаар хойд ба төв Монголын нутаг дунд голоцены үед уур амьсгал сэрүүнээс хуурайших хандлага эхэлсэн бол хожуу голоцены үед уур амьсгал огцом хуурайших хандлагатай болсон болохыг тодорхойлжээ. Судалгаанд хамрагдсан цаг хугацаанд уур амьсгалын бага сэрүүн үе, бага дулаарлын үеүүд ээлжлэн солигдож байсан болохыг нуурын ёроолын хурдаст задлан шинжилгээ хийх замаар тодруулжээ. **Struck et al. (2022)** сүүлийн 4000 жилийн хугацаанд Төв Азийн уур амьсгалын динамик хувьслыг тухайн үеийн Монгол нутагт оршин тогтнож

байсан эртний улсуудын сэргэн мандалт, хөгжлийн түвшинтэй уялдуулан судалсан байна. Эдгээр судалгаанууд нь нуурын хотгорын хэв шинжийн талаар судлаагүй, нуурын хурдаст суурилсан эртний уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодруулсан байдаг.

Тэлмэн нуурын хотгорын гарал үүслийн үндсэн хэв шинж тодорхой бус байгаа нь энэ судалгааг хийх гол үндэслэл болсон. Нуурын хотгорын гарал үүслийг **Идэрийн** голтой холбоотой байсан талаар **Кондратьев (1927)** тэмдэглэсэн бол **Идэрийн** голын голдирлын дагуу тектоник өргөлтийн нөлөөгөөр гадарга өргөгдөж голын урсац хаагдаж үүссэн (**Цэрэнсодном, 1971**) гэж үзсэн нь бий. Мөн **Цэрэнсодном (1971)** Тэлмэн нуурын хотгорыг тектоникийн гаралтай хотгорт тогтсон гэж тодорхойлсон боловч нарийвчилж геологи, геоморфологийн судалгаагаар баталгаажуулаагүй байдаг.

Бид энэ судалгаанд Тэлмэн нуурын хотгорын морфометр, морфологийн онцлогийг тодруулж, гарал үүслийн хувьд голуудын голдирлын үйл ажиллагаа нуурын хотгорт төдийлөн нөлөөлөөгүй болохыг тодорхойлон харууллаа.

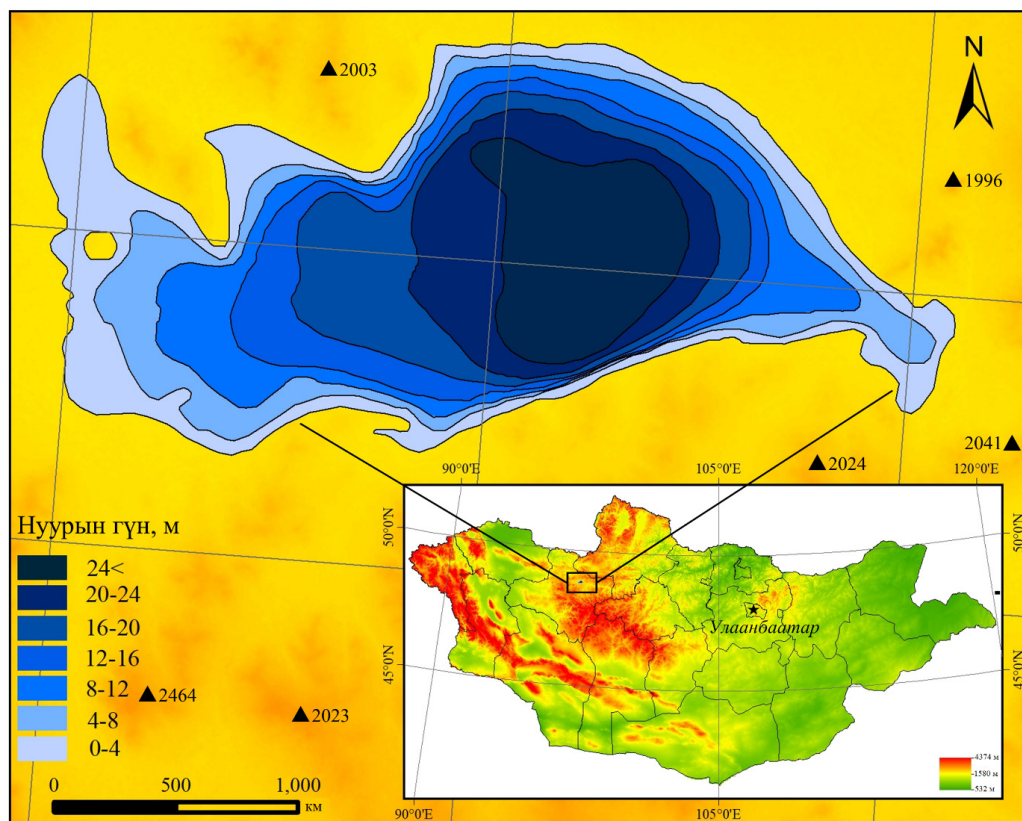
Судалгааны талбай

Тэлмэн нуур нь Завхан аймгийн Нөмрөг, Тэлмэн сумын нутагт (ХӨ 480 50', ЗУ 970 20') оршино. Уг нуурын урт нь 26 км, өргөн нь 12 км, хамгийн их гүн нь 27 метр, эргийн шугамын урт 93-94 км хүрнэ. Нуурын усны талбай нь 195-209 км²-ын хооронд хэлбэлзэнэ. Нуурын ус хураах талбай 3761 км² бол жилийн агаарын дундаж температур -6.8-

аас -3.6°C , жилд унах хур тунадас 150-444 мм хүрдэг (Struck et al., 2022). Уг нуур нь д.т.дээш 1792 метрийн өндөрт оршдог. Нуурын хотгорын хувьд талбай 589.84 км², өргөн 22.04 км², 38.25 км² юм. Нууранд гурван арал үүссэн. Нуурын ёроол нь хүхэр устөрөгчтэй харлаг шавар, элс, хайрга нэлээд зузаан тархсан (Цэрэнсодном, 1971; Fowell et al., 2003).

Нуурын үндсэн тэжээл нь хур тунадас, хэд хэдэн гол, горхи тэр дундаа нуурын баруун талаас Хоолойн гол, зүүн хойд талаас

Бургастайн гол, өмнө талаас Ангиртын гол хэмээх Хангайн салбар уулсаас эх авсан байнгын урсцатай голууд цутгах ба гадагш урсгалгүй юм. Нуурын гүний усны тэжээгдлийн тооцоо одоогоор хийгдээгүй боловч судлаачдын материалд ул хөрсний болон гүний ус нуурын тэжээлийн үндсэн эх үүсвэр болж болохыг дурдсан байна (Цэрэнсодном, 2000). Тэлмэн нуурын хотгор нь д.т.дээш 1666-2899 метрийн хооронд буюу харьцангуй өндөрлөг гадаргад оршдог онцлогтой (Зураг 1).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил

Геологийн тогтоцын хувьд умард Монголын атираат мужийн Завханы мегабүсэд хамаарна. Хурдас чулуулгийн хувьд Нөмрөг бүрдэлд хамаарах түрүү

девоны настай шүлтлэгдүү гранит, граносиенит, сиенит, кварцат сиенит, диорит тархсан. Түрүү девоны ангилагдаагүй бүрдэл болох биотит, биотит-эвэр хуурмагт

гранит, габбродиорит, габбро, амфиболит эвэрхуурмагт диорит бүрдэл тархжээ. Нуурын хотгорыг хүрээлж нуур-голын гаралтай дөрөвдөгчийн хурдсаар хучигдсан (Эрдэнэчимэг нар, 2018; Tungalag et al., 2023).

Судалгааны материал, аргазүй

Судалгааны талбай орчмын 1:100000 масштабын байрзүйн зураг, нуурын батиметрийн зураг (Цэрэнсодном, 2000; Peck et al., 2022; Fowell et al., 2003; Struck et al., 2022), Landsat OLI (30 m) хиймэл дагуулын зураглалын материалуудыг ашиглав. Судалгаанд геоморфологийн морфометрийн шинжилгээ, Зайнаас Тандан Судлалын орон зайн сайжруулалтын арга болон 2018 оны VIII сард хээрийн судалгаагаар морфометрийн хэмжилт хийж судалгааны үр дүнгээ гаргасан.

Морфометрийн шинжилгээний арга: Тухайн хотгорын морфометрийн

үзүүлэлтүүд түүнд илэрч буй аномаль шинж тэмдгүүд, тэдгээрийн орон зайн байрлалын зүй тогтол, бусад нэгэн төрлийн гадаргаас ялгагдах онцлогууд нь тухайн хотгорын гарал үүслийг ялган гаргах магадлалыг нэмэгдүүлдэг зүй тогтолтой. Энэ судалгаанд морфометрийн шинжилгээнд багтах байрзүйн шинжилгээ, гипсометрийн зүсэлтийн шинжилгээний аргуудыг ашиглав.

Байрзүйн зургийн шинжилгээ: Рельефийн тасралтат эвдрэл буюу хагарал, хэвтээ ба босоо хэрчигдэл, хэрчигдлийн идэвхийн зэрэг, зүсэлтийн деформаци зэрэг морфометр үзүүлэлтээр неотектоник хөдөлгөөнийг илрүүлж болдог (Enkbold et al., 2022). Байрзүйн зурагт хагарлуудыг буулгахдаа геологи, геоморфологи, геофизикийн олон чиглэлийн судалгаагаар нотлогдсон шууд ба шууд бус шинж тэмдэг бүхий шалгуурыг ашигладаг (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Нуурын хотгорын топографийн зурагт морфометрийн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлох шалгуур үзүүлэлт (Florinsky, 1996; Jacques et al., 2014; Hassen et al., 2014; Enkbold et al., 2022abc)

№	Шалгуур үзүүлэлт	Тодорхойлолт (Нийцэл +, Үл нийцэл -)	Тайлбар
1	Байрзүйн зургийн хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структур үүсгэсэн эсэх	+	Судалгааны талбайн топо зурагт морфометрийн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлоход
2	Байрзүйн зургийн хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан эсэх	+	
3	Байрзүйн зурагт нуурын хотгор орчимд байрлах уулс, өндрийн тоотуудын хооронд өндрийн огцом зөрүү үүссэн эсэх	+	
4	Нуурын арлууд нэг шулууны дагуу орших эсвэл арлын аль нэг хэсэгт хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структур үүсгэсэн эсэх	+	

5	Байрзүйн зурагт нуурт цутгаж буй голын голдирол огцом тохойрч гажилт үүссэн эсэх	+	үндсэн 10 шалгуур үзүүлэлтийг авч нийцэх, үл нийцэх байдлаар нь тэмдэглэнэ.
6	Нуурын батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг стрүктүр үүсгэсэн эсэх	+	
7	Нуурын батиметрийн зурагт изобатуудад гажилт үүсгэх, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан эсэх	+	
8	Нуурын батиметрийн изобатууд нь үндсэн хаяалбартай параллель шулуун шугаман стрүктүр үүсгэсэн эсэх	+	
9	Нуурын усан гадаргын талбай аль нэг хэсэгтээ тэгш өнцөгт юм уу шулуун хэлбэрийн дүрс, эсвэл геометрийн бус дүрсзүйн хэлбэрийг үүсгэсэн эсэх	+	
10	Байрзүйн зурагт цуваа хэлбэрээр нуурууд нэг шулууныг дагаж байрласан эсэх	+	

Гипсометрийн зүсэлтийн шинжилгээ:

Энэ арга нь тухайн гадаргын хэлбэр, хэмжээг илүү тодруулж өгдгөөрөө онцлог (Strahler, 1952). Гадаргын гипсометрийн зүсэлтэд тулгуурлан тухайн гадаргын хотгор, гүдгэрийн үндсэн хэв шинжийг тодорхойлоход оршино. Хоёр хэмжээст зүсэлтэд босоо тэнхлэг (y) болон хэвтээ тэнхлэг (x)-ийн дагуу гадаргын морфологийг дүрсэлнэ. Гипсометрийн зүсэлт нь судалгааны талбайн хэмжээнээс хамаарч янз бүрийн масштабээр тохируулна (Willgoose, Hancock, 1998). Гипсометрийн зүсэлтийг дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$y = \left[\frac{d-x}{x} * \frac{a}{d-a} \right] z \quad (1)$$

Энд a-талбай d- масштабын хэмжээ z- гипсометрийн хазайлтын утга юм (Willgoose, Hancock, 1998).

$$G_x = F_{j+1, k+1} + 2F_{j+1, k} + F_{j+1, k-1} - (F_{j-1, k+1} + 2F_{j-1, k} + F_{j-1, k-1}) \quad (3)$$

$$G_y = F_{j-1, k-1} + 2F_{j, k-1} + F_{j+1, k-1} - (F_{j-1, k+1} + 2F_{j, k+1} + F_{j+1, k+1}) \quad (4)$$

Энд (j, k) нь сансрын зураг дээрх пиксел бүр Fjk-ийн нарийвчилсан утгууд юм. Дараах матрицын маскуудыг ашиглан зурагт буулгаж тодорхойлдог.

Сансрын зургийн орон зайн сайжруулалтын арга:

Хиймэл дагуулаас сансрын зургийг ашиглан хийх геологийн тайлал нь морфологийн хэлбэрийг үндэслэн тэдгээрийн тайлагдаж болох бүхий л шалгууруудаар тодруулан тэдгээрийн үр дүнг нэгтгэн дүгнэх зарчим дээр тулгуурлана (Nixon, Aguad, 2019). Энэ аргаар гадаргад илэрч буй тектоникийн хагарлыг илрүүлэхэд төрөл бүрийн сансрын эх зурагт дараах тэгшитгэлийн дагуу тооцоо хийж үр дүнгээ гаргана. Энэ аргын тэгшитгэл нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно. Үүнд:

$$G_{jk} = /G_x / + /G_y / \quad (2)$$

$$Y \text{ mask} = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

$$X \text{ mask} = \begin{matrix} -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (5)$$

Орон зайн сайжруулалтад пиксел тус бүрийн утгыг эргэн тойрных нь пикселүүдийн тусламжтайгаар өөрчилдөг. Үүний тулд, кернел хэмээн нэрлэгдэх янз бүрийн хэмжээтэй цонхнуудыг сонгоно. Цонх нь зургийн мөр, баганын дагуу явж, тодорхой пиксел дээр ирж зогсох бүрд уг кернелийн төвийн утгыг түүнд багтаж байгаа бусад пикселийн утгыг ашиглан шинээр тодорхойлно. Ийм замаар зургийн пиксел тус бүрийн радиометрийн утгыг өөрчлөн, уг зурган дээр дүрслэгдсэн байгалийн болон хүний гараар бий болсон биетүүдийг орон зайн хувьд сайжруулна (Амарсайхан, Ганзориг, 2010; Gilvear, Bryant, 2016). Энэ аргаар хоёр төрлийн чиглэлт шүүлтүүрийг ашиглаж судалгааны үр дүнгээ тооцсон.

Геофизикийн соронзон орны зураглалын арга: Геосоронзон гажлын растер зурагт суурилж судалгааны талбайн геосоронзон гажлын орны тоон өгөгдлийн сан бүрдүүлж локаль геосоронзон гажлуудыг тооцоолон гаргасан (Даариймаа, Баатарчулуун, 2017). Геосоронзон гажлын хэвтээ ба босоо чиглэлийн уламжлал, мөн хэвтээ чиглэлийн нийлбэр уламжлал болох аналитик сигналын утгыг хагарлыг илрүүлэхэд ашигладаг (Trifonova et al., 2012; Даариймаа, Баатарчулуун, 2017; Enkhbold et al., 2022ab). Дараах

$$AWEI = 4 * (Green - MIR) - (0.25 * NIR + 2.75 * SWIR) \quad (9)$$

Энд *AWEI* -Усны автоматжуулсан индексийн утга, *Green* - Ногоон туяаны урт, *NIR*- Хэт ягаан туяаны долгионы урт, *MIR*- Дундын хэт улаан туяаны ойлтын утга, *SWIR*- Богино долгионы хэт улаан туяа юм. Пикселийн утга 0-ээс их бол ус, 0-ээс бага бол ус биш

тэгшитгэлээр соронзон орны гажлын зураглалыг хийсэн. Үүнд:

$$F_{(k)} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(r) e^{ik \cdot r} d^3r \quad (6)$$

Энд: *r* - координат вектор, *k* - долгион тооны вектор

$$\frac{\partial f(r)}{\partial x} = \int_{-\infty}^{\infty} ik F(k) e^{-ik \cdot r} d^3k \quad (7)$$

f(r) потенциал орны аналитик сигнал дараах байдлаар тодорхойлогдоно:

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial f(r)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(r)}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(r)}{\partial z}\right)^2} \quad (8)$$

Хэрэв *f(r)* нь орон зай ба цаг хугацаанаас хамаарсан потенциал орон бол түүний долгион тоо ба давтамжийн функцэд хувиргаж тасралттай функцээр төлөөлүүлэх Фурье хувиргалтыг *F(k)* дээрх хэлбэрээр тодорхойлно.

Усны автоматжуулсан индекс (AWEI)-ийн тооцоо: Энэ судалгаанд Ландсат хиймэл дагуулын 30 метрийн нарийвчлалтай зурагт Тэлмэн нуурын талбайн цаг хугацааны өөрчлөлтийг тодруулахаар ашигласан. Аргын үндэс нь дундын хэт улаан туяаны ойлтыг ашиглан усан гадаргыг ялгаж, нуурын талбайг тооцоолдог (Fisher et al., 2016; Acharya et al., 2018). AWEI индексийн тооцоо нь дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ. Үүнд:

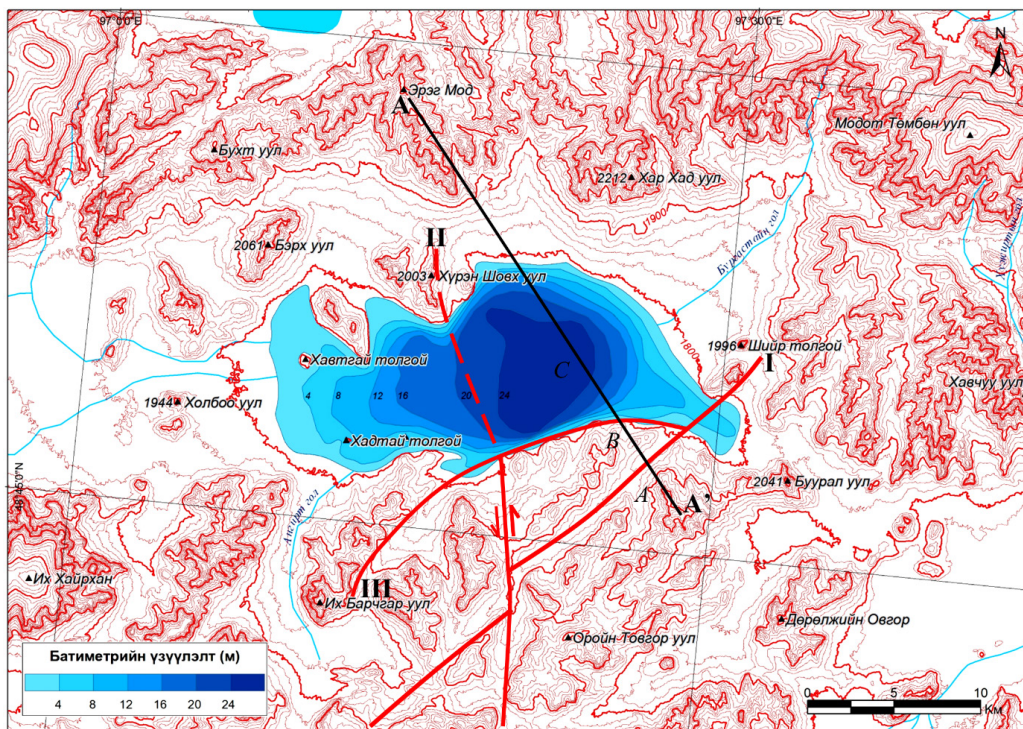
гэж тодорхойлдог (Feyisa et al., 2014; Лупян и др., 2022).

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Нуурын өмнөд эргийн дагуу хадан мөргөцөг түрсэн, зүүн, баруун талдаа налуу багатай тавиу гадаргатай бол хойд

хэсгээрээ нам уулсаар хашигдсан. Нуурын хотгор нь ерөнхийдөө дундаж өндөр ба нам уулсаар хүрээлэгдсэн. Нуур орчимд

нуурын-дельтын тал, аллюв, пролювын талууд тархжээ (Зураг 2).



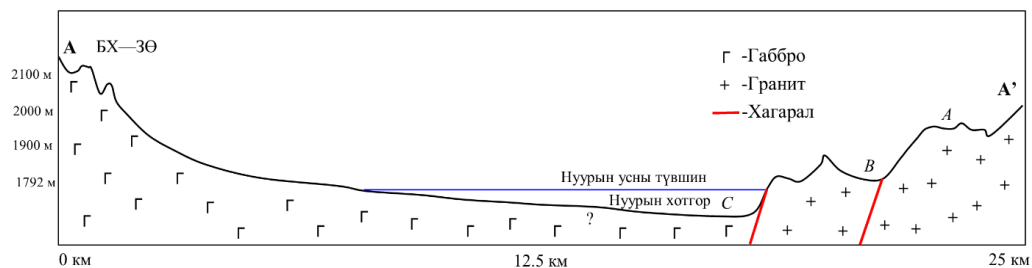
Зураг 2. Тэлмэн нуурын хотгорын хагарлын зүй тогтол

Тэлмэн нуурын хотгорын байрзүйн зурагт хагарал тодорхойлох шалгуур үзүүлэлтээр үнэлж үзэв. Нуурын хотгорын өмнөд хэсэгт өндрийн түвшин 3 шатлал (A, B, C) үүсгэж огцом ялгарч байв. Энэ шаталсан өндрийн зөрүү нь хагаралтай шууд холбоотой блоклог структрийг илэрхийлэх юм. Уг нуурын хотгор орчимд үндсэндээ 3 томоохон хагарал илэрч байна. Нэгдүгээр эрэмбийн хагарал (I) хугацааны хувьд түрүүлж үүссэн. Харин хоёрдугаар эрэмбийн хагарал (II) түүний дараа үүсч баруун гарын шилжил үүсгэсэн байна. Энэ шилжилээс хамаарч нуурын хотгор зүүн хэсэгтээ огцом доош сууж 24 м хүртэл доош суужээ. Харин нуурын ёроолын

баруун хэсэгт харьцангуй тавну буюу Холбоо уул (д.т.д 1944 м)-ын бэл хүртэл үргэлжилжээ. Гуравдугаар эрэмбийн хагарал (III) хожим нь нэг, хоёрдугаар эрэмбийн хагарлын дагуух шилжил хөдөлгөөний нөлөөгөөр нуурын өмнөд хэсэгт огцом мөргөцөг үүсгэсэн байна. Байрзүйн зургийн шалгуураар тогтоогдож буй хагарлууд нь хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структүр үүсгэсэн, хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан шинж тэмдэг тод илэрч байв. Түүнчлэн Тэлмэн нуурын хотгор орчимд байрлах уулс, өндрийн тоотуудын хооронд өндрийн зөрүү үүссэн, нуурын

батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг структур үүсгэсэн, батиметрийн изобатууд нь үндсэн хаяалбартай параллель шулуун шугаман структур үүсгэсэн зэрэг шалгуур үзүүлэлтүүд нийцэж байв.

Тэлмэн нуурын хотгорт илэрч буй хагарлуудыг дайруулан А-А' хооронд 25 км зайд хялбаршуулсан зүсэлт хийж нуурын хотгорын морфологи хэлбэрийг тодруулав (Зураг 3).

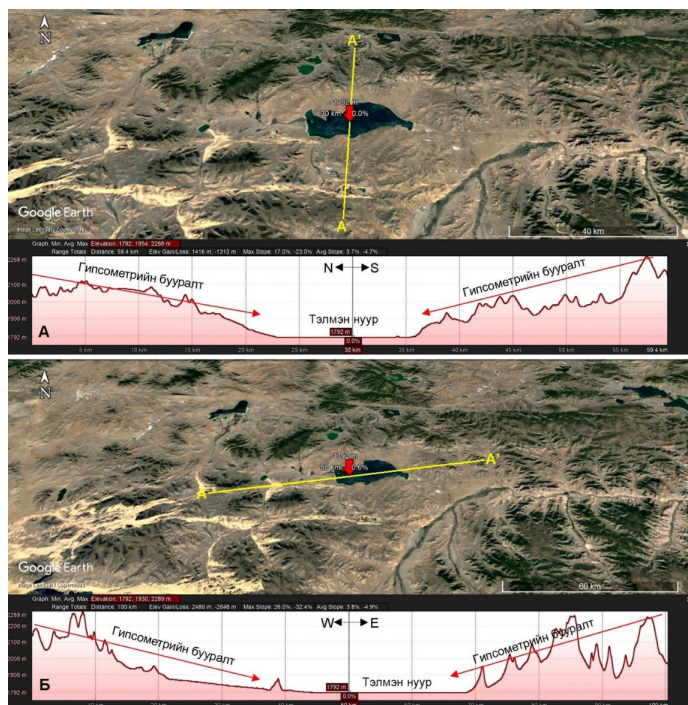


Зураг 3. Тэлмэн нуурын хотгорын гипсометрийн зүсэлт

Уг нуурын хотгорт баруун хойноос зүүн өмнөд чигт нэг болон гуравдугаар эрэмбийн хагарлын дагуу зүсэлт хийлээ. Энэ зүсэлтээс харахад нуурын хотгор зүүн хэсэгтээ огцом сууж, өмнөд эрэг нь хагарлын мөргөцгөөр хязгаарлагдаж байгаа нь тодорхой харагдаж байна. Түүнчлэн нэгдүгээр эрэмбийн хагарал нуурын

хотгорын хоорондох гипсометрийн зүй тогтлыг харуулав.

Судалгааны дараагийн шатанд Тэлмэн нуурын хотгорын гадаргын морфологи хэлбэрийг илүү тодруулахын тулд гипсометрийн зүсэлтүүдийг хойноос өмнө, баруунаас зүүн чигт хийв (Зураг 4).

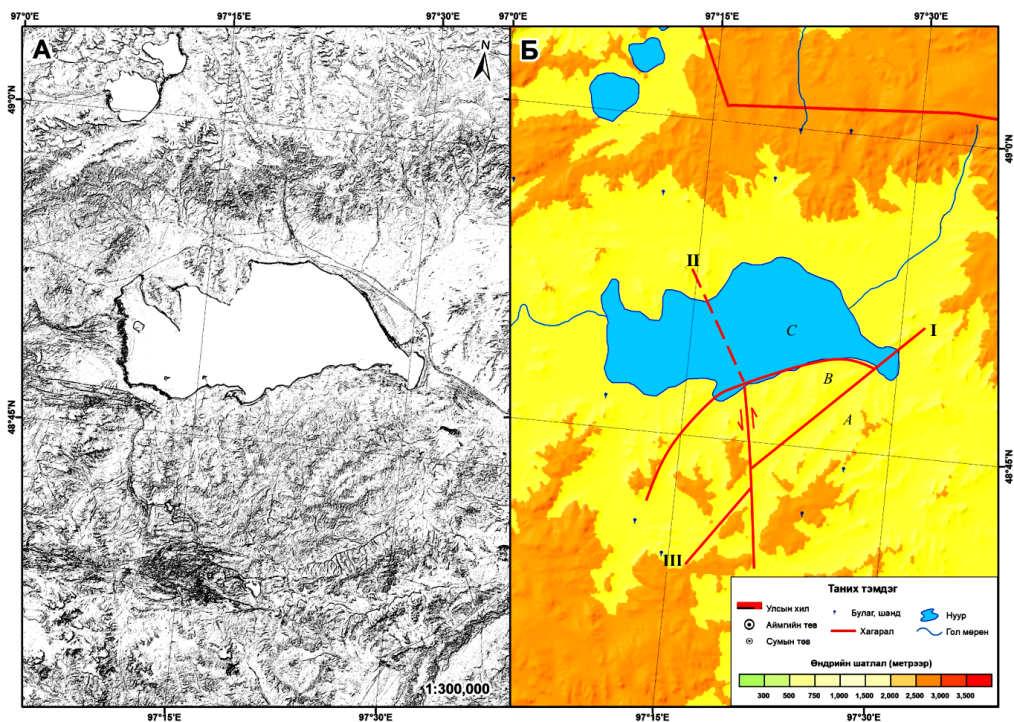


Зураг 4. Тэлмэн нуурын хотгорын хойноос өмнө (А), баруунаас зүүн (Б) чигт хийсэн гипсометрийн зүсэлт

Гипсометрийн зүсэлтээр нуурын ус хурах сав газрын талбай нуурын талбайгаас 3-4 дахин том, нуурын хотгор хүрээлсэн уулстай харьцах харьцангуй өндрийн зөрүү харьцангуй их уулс хоорондын хотгорт оршиж байгааг тодруулж өгөв. Түүнчлэн нуурын өмнө, зүүн өмнө талаар огцом суулт үүссэн хагаралтай холбоотой болох нь батиметрийн болон гипсометрийн зүй тогтлоор илэрхийлэгдэж байна.

Байрзүйн зурагт тодорхойлсон хагарлуудыг сансрын зурагт чиглэлт

шүүлтүүр буюу симметрик байрлалтай матриц болон өндөр давтамжийн собелын шүүлтүүрийг ашиглан (Theilen-Willige, 2022) нууруудын хотгорт илрэх хагарлуудыг шалгаж тодруулсан. Сансрын зурагт шугаман спектрийг тодруулах замаар нуурын хотгор орчимд илрэх хагарлуудыг бататгав. Сансрын боловсруулсан зураглалын материалд нууруудын хотгорт илэрч буй хагарлаа тулган тайлал хийж үзэхэд топографийн зурагт хийсэн шинжилгээтэй нийцэж байв (Зураг 5).



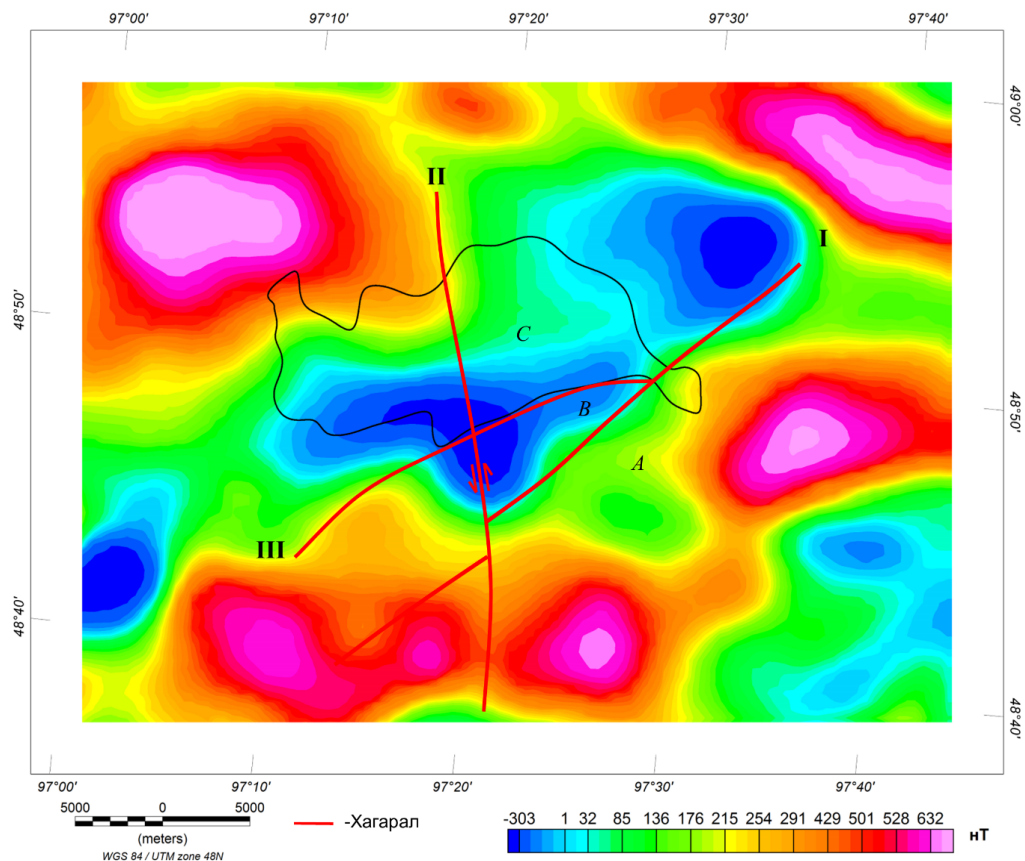
Зураг 5. Тэлмэн нуурын хотгорын сансрын зургийн шинжилгээ ба хагарлын хамаарал
А. Собелийн чиглэл шүүлтүүр хийж гадаргад илрэх шугаман элементүүдийг тодруулсан байдал
Б. Гадаргын өндөршлийн зурагт хагарлуудыг буулгасан байдал

Сансрын зурагт собелийн чиглэл шүүлтүүр хийж үзэхэд I-III эрэмбийн хагарлын шугаман структурүүд тод илэрч байв. Харин нуурын ёроолын

хувьд усан гадаргаар бүрхэгдсэн тул сансрын зурагт илэрхийлэгдэх боломжгүй байдаг. Собелийн чиглэл шүүлтүүрийн үр дүнг гадаргын өндөршлийн зурагт

хагарлуудыг буулгахад байрзүйн зургийн шинжилгээтэй нийцэж байв. Түүнчлэн геофизикийн соронзон орны гажлын

зурагт хагарлуудыг бататгаж харуулав (Зураг 6).



Зураг 6. Тэлмэн нуурын хотгорын геофизикийн соронзон орны зураглал ба хагарлын холбоо

Тэлмэн нуурын хотгорт өргөргийн болон уртрагийн дагуух хагарал нуурын хотгорт соронзон орны эерэг ба сөрөг гажлын эрс өөрчлөлтөөр тодорхой илэрхийлэгдэж байна. Энэ үр дүн нь байрзүйн болон сансрын зургийн хагарлын шинжилгээтэй нийцэж байв.

Тектоник хөдөлгөөний нөлөөгөөр үүссэн уулс хоорондын хотгор, хөндий, хагарлын нөлөөгөөр тогтсон нуур манай оронд цөөнгүй бөгөөд голдуу кайнозойн үеийн хөдөлгөөн нууруудын хотгорын

орчин үеийн төрхийг олоход чухал үүрэг гүйцэтгэжээ (Цэрэнсодном, 2000). Өөрөөр хэлбэл, Монгол орны орчин үеийн нуурууд нь шинэ тектоник хөдөлгөөний нөлөө, дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөлд шууд оршиж байгаа юм (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Нуурын хотгорын гарал үүсэлд хурдасын наснаас хамааралгүй неотектоник хөдөлгөөн нуурын орчин үеийн хотгорын дүр төрхөд чухал үүрэг гүйцэтгэжээ. Энэ нь нуурын хотгорт тодорхой тектоник хөдөлгөөний

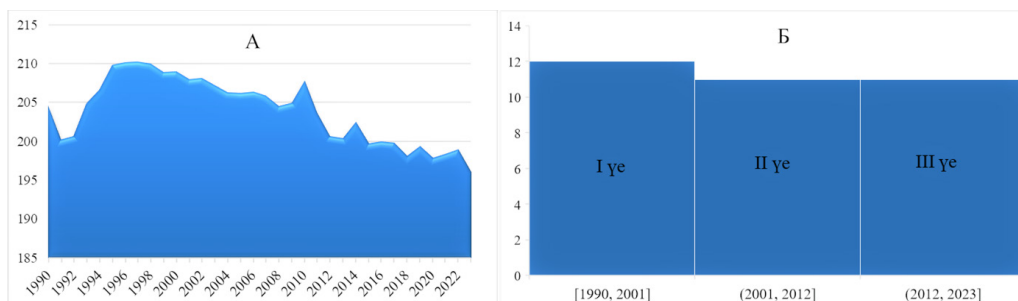
нөлөөгөөр өргөгдөх эсвэл хотойх үйл явцын үр дүнд өнөөгийн хотгорын хэв шинж үүссэн нь илэрхий юм.

Сүүлийн жилүүдийн Төв Азийн хуурайшилт, дулааралтай холбоотойгоор нууруудын талбайн хэмжээ багассаар байна (Liu et al., 2019; Sumiya et al., 2020; Huang et al., 2022; Zhang et al., 2023; Dingjun et al., 2023).

Тэлмэн нуурын ёроолын морфологид баруунаас зүүн тийш налуугийн хэмжээ ихэсдэг зүй тогтолтой. Байрзүйн зургаас үзвэл нуурын баруун, хойд, зүүн хойд чигт д.т.дээш 1800 метрийн өндрийн хаяалбар хүртэл буюу өнөөгийн нуурын усны түвшин 5-10 метрээр дээш хэлбэлзэж байжээ (Struck et al., 2022). Тэлмэн нуурыг

хүрээлсэн гурван нуурын дэнж ялгардаг. Нуурын хойд талд орших Хавтгай толгойн аралд идэгдлийн дэнж байдлаар мөн илэрдэг. Нуурын дэнжийн хамгийн өндөр нь 1820 орчим метрт оршдог онцлогтой. Уг нуурын хэмжээ талбайн хувьд плейстоценоос голоцены эхэн үед ихээхэн том байсныг энэ баримтууд гэрчилдэг. Одоогоор нуурын дэнжийн насыг нуурын усзүйн горимтой холбосон судалгаа хийгдээгүй байна.

Энэ судалгаанд Тэлмэн нуурын талбайн өөрчлөлтийг сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд тооцож уур амьсгалын болон цэвдгийн хүчин зүйлийг нуурын усзүйн горимд хэрхэн нөлөөлж буй хамаарлыг тодорхойлов (Зураг 7).



Зураг 7. Тэлмэн нуурын талбайн өөрчлөлт. А. Сүүлийн 30 гаруй жилийн ерөнхий өөрчлөлтийн хандлага, Б. Нуурын талбайн 10 жилийн интервалтай өөрчлөлт.

Орчин үеийн уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд $y = -0.2976x + 801.12$ буюу $RI = 0.48$ хувиар Тэлмэн нуурын талбайн хэмжээ багассан. Гэвч хугацааны хувьд тус бүр нь 10 жилийн интервалтай 3 үед хувааж нуурын талбайн өөрчлөлтийг тооцож үзэхэд нуурын талбай I үед огцом буураад, II-III үед харьцангуй тогтвортой хадгалагджээ. Энэ зүй тогтол нь дараах шалтгаантай байж болох юм. Тэлмэн нуурын тогтоогдож буй хагарлаар доош суусан хэсэгт газрын доорх усны түвшин огтлогдсон байх магадлалтай. Өөрөөр хэлбэл, нуурыг тэжээж буй гүний усны тэжээл нь тухайн нууруудын хагарлын

ан цаваар дөрөвдөгчийн болон голоцены настай усны ундаргатай байх магадлал өндөр байна. Гаднаас уг нуурт 3-4 жижиг гол цутгах боловч нуурын талбайг өнөөгийн хэмжээнд тогтвортой барих боломжгүй юм. Учир нь сүүлийн 80 гаруй жилийн хугацаанд Монгол орны ойт хээрийн бүсэд агаарын дундаж хэм 2.4°C хүртэл нэмэгдсэн. Энэ хэмжээ ялангуяа 2000 оноос хойш огцом өөрчлөгдсөн болохыг тогтоосон байдаг (Дуламсүрэн, 2022). Энэ өөрчлөлт нь дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн эрчмээс 2.5 дахин хурдацтай өөрчлөлт юм.

Агаарын олон жилийн дундаж температурын хэмжээ нэмэгдэх нь

ууршилтыг нэмэгдүүлж нууруудын талбай, эзэлхүүнийг багасгахад шууд нөлөөлнө. Тухайлбал 2000 оноос хойш нууруудын талбайд огцом өөрчлөлт илэрч багассан нь энэ судалгааны үр дүнгүүд болон Монгол орны хуурайших хандлагатай тохирдог (Sumiya et al., 2020; Дуламсүрэн, 2022; Dingjun et al., 2023). Хур тунадасны хэмжээ сүүлийн 80 гаруй жилийн хугацаанд 3.3 хувиар нэмэгдсэн боловч агаарын олон жилийн дундаж температур огцом өссөнөөс шалтгаалж нууруудын талбай, эзэлхүүнд төдийлөн нөлөөлөхгүй байна. Хуурайшлын индексийн тооцоогоор 2000 оноос хойш Монгол орны нутаг дэвсгэрт бараг бүхэлдээ хуурайших хандлага нэмэгдсэн (Дуламсүрэн, 2022) нь нууруудын талбайн огцом бууралттай шууд холбоотой болох нь тогтоогдож байна. Тухайлбал сүүлийн 20 жилийн хугацаанд нууруудын талбай 15400 км²-аас 14300 орчим км² буюу 1000 гаруй км²-аар огцом буурах хандлага илэрсэн байдаг (Пүрэвдагва, 2022).

Харин Тэлмэн нуурын талбай 1990-2000 он хүртэл нэлээд огцом буураад 2000 оноос хойш нуурын талбай харьцангуй тогтвортой байгаа нь гүний усны тэжээлтэй байх боломжийг харуулж байгаа юм. Гидрогеологийн нарийвчилсан судалгааг нуурын усны тэжээлийн горимтой холбож судлах шаардлагатай.

Нуурын усны тэжээлд тодорхой нөлөөлж болох дараагийн хүчин зүйл нь цэвдгийн алдрал, түүний нөлөө юм. Тэлмэн нуур орчимд д.т.д 1670 метрээс дээш үргэлжилсэн цэвдгийн бүс оршдог (Yamkhin et al., 2022). Завхан аймгийн Нөмрөг суманд байрлах цэвдгийн цооногийн температурын хандлагаар 2014 оноос хойш 0.46С-ээр нэмэгджээ (Yamkhin et al., 2022). Эндээс Тэлмэн нуур орчмын цэвдгийн бүсэд дулаарал нэмэгдсэн нь цэвдгийн зузаан дээрээсээ багасах үед улирлын гэсэлтийн зузаан түүнийг дагаад нэмэгдэнэ. Дулааны улиралд мөнх цэвдгийн дээд хэсэг аажмаар

хайлж, хайлсан усны урсгал нь хөрсний нэмэлт чийгийг бий болгодог (Klinge et al., 2021). Энэ зүй тогтол нь хөрсний усны хэмжээг нэмэгдүүлэх бөгөөд гадаргын налуу, хажуугийн урсцаар дамжин нуурыг тэжээх үндэслэлтэй юм. Гэвч Монгол орны цэвдэг нь мөсжилт багатай (Klinge et al., 2021) тул цэвдгийн хайлалт нь нуурыг тэжээх дагалдагч нөхцөл бүрдүүлэхээс нуурыг бүрэн тэжээх хэмжээнд хүрэхгүй юм.

Дүгнэлт

Судалгаанд морфометрийн шинжилгээ, геофизикийн соронзон орны зураглалын арга, орон зайн сайжруулалтын арга, гипсометрийн зүсэлтийн арга, усны автоматжуулсан индексийн тооцоо зэрэг уялдаат аргуудыг ашиглаж нуурын хотгорын морфологи хэв шинжийг тодорхойлов.

Тэлмэн нуурын хотгорын өмнөд хэсэгт өндрийн түвшин 3 шатлалаар блоклог суултанд орсон байна. Энэ шаталсан өндрийн зөрүү нь хагаралтай шууд холбоотой морфологи юм. Нэгдүгээр эрэмбийн хагарал (I) хугацааны хувьд түрүүлж үүссэн. Харин хоёрдугаар эрэмбийн хагарал (II) түүний дараа үүсч баруун гарын шилжил үүсгэсэн байна. Энэ шилжилээс хамаарч нуурын хотгор зүүн хэсэгтээ огцом доош суужээ. Гуравдугаар эрэмбийн хагарал (III) хожим нь нэг, хоёрдугаар эрэмбийн хагарлын дагуух шилжил хөдөлгөөний нөлөөгөөр нуурын өмнөд хэсэгт огцом мөргөцөг үүсгэсэн байна. Энэ зүй тогтол нь үндсэндээ хагарлын мөргөцгөөр хязгаарлагдаж доош суусан ба өнөөгийн нуурын хотгорын хэв шинжийг үүсгэхэд чухал нөлөө үзүүлсэн байна. Тэлмэн нуурын хотгорын үндсэн хэв шинж хагарлаар шаталсан блоклог суултын үр дүнд үүсчээ.

Нуурын хотгорын гарал үүслээс хамаарч нуурын ус зүйн горим тодорхойлогдож байдаг. Нуурын усзүйн

горимд гидрогеологи, цэвдгийн нөхцөл чухал нөлөө үзүүлж байна. Цаашид нуурын усны тэжээлийн эх үүсвэрийг ялгах, хувь хэмжээг тодорхойлох тухайд изотопын болон усны балансын аргуудыг туршиж үзэх нь чухал юм.

Талархал

Энэхүү судалгааг ШУТС-ийн докторын дараах судалгаанд олгох БШУЯ-ы сайдын нэрэмжит инновацийн тэтгэлэг 2023-2025 оны хүрээнд гүйцэтгэв.

Ашигласан хэвлэл

1. Алтанболд, Э., Уламбадрах, Х., 2022. Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи. Улаанбаатар, МУИС Пресс, х.78-81.
2. Амарсайхан, Д., Ганзориг, М., 2010. Зайнаас Тандан Судлал болон Дүрс мэдээнд тоон боловсруулалт хийх зарчмууд, Улаанбаатар, х.55-61.
3. Даариймаа, Б., Баатарчулуун, Ц., 2017. Монгол орны тектоник хагарлын системийг геосоронзон гажлын орноор үнэлсэн дүн. Геологийн асуудлууд, 15, х. 58-67.
4. Даваа, Г., 2018. Газар, Сансрын мэдээлэлд тулгуурласан Монгол Орны Нууруудын усны нөөцийн үнэлгээ, Түүнд байнгын хяналт-шинжилгээ хийх боломжийн судалгаа. Зөвлөх цйлчилгээний ажлын тайлан. Улаанбаатар, х. 54-58.
5. Даш, Д., Мандах, Н., 2011. Газарзүйн шинжлэх ухааны хөгжлийн түүх, Улаанбаатар, х. 365-410.
6. Дуламсүрэн, Д., 2022. Монгол орны улирлын уур амьсгалын өнөөгийн өөрчлөлт, Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний 4 дүгээр тайлан, Улаанбаатар. х.6-14.
7. Лупян, Е.А., Константинова, А.М., Кашницкий, А.В., Ермаков, Д.М., Саворский, В.П., Панова, О.Ю., Бриль, А.А., 2022. Возможности организации долговременного дистанционного мониторинга крупных источников антропогенных загрязнений для оценки их влияния на окружающую среду. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 19(1), с.193-213.
8. Цэрэнсодном, Ж., 1971. Монгол орны нуур, Улаанбаатар, х. 75-89.
9. Цэрэнсодном, Ж., 2000. Монгол орны нуурын каталог (цэс). Улаанбаатар, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр, х. 66-99.
10. Пүрэвдагва, Х., 2022. Усны нөөцийн нөлөөллийн үнэлгээ, Уур амьсгалын өөрчлөлтийн үндэсний 4 дүгээр тайлан, Улаанбаатар, х.31-45.
11. Эрдэнэчимэг, Д., Болдбаатар, Г., Энхбаяр, Д., Дамдинжав, Б., Тайванбаатар, Ц., Оюунгэрэл, Н., 2018. Монгол Улсын Геологийн зураг, 1:500000, Геологийн Судалгааны Төв (ТӨҮГ)-н Геомэдээллийн сан-2013 төсөл.
12. Acharya, T.D., Subedi, A., Lee, D.H., 2018. Evaluation of water indices for surface water extraction in a Landsat 8 scene of Nepal. Sensors 18(8), 2580. <https://doi.org/10.3390/s18082580>

13. Dingjun, L., Altanbold, E., Batsuren, D., Tuvshin, G., Yumchmaa, G., Boldbayar, R., Gansukh, Y., 2023. Changes in the area of lakes in different natural regions of Mongolia and climate effect: Монгол орны байгалийн янз бүрийн бүсүүд дэх нууруудын талбайн өөрчлөлт ба уур амьсгалын нөлөө. Geographical Issues 23(01), 4-21.
14. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Tsermaa, B., Doljin, D., 2022a. Depression morphology of Bayan Lake, Zavkhan province, Western Mongolia: implications for the origin of lake depression in Mongolia. Physical Geography 43(6), 727-752. <https://doi.org/10.1080/02723646.2021.1899477>
15. Enkhbold, A., Dorjsuren, B., Khukhuudei, U., Yadamsuren, G., Badarch, A., Dorjgochoo, S., Gonchigjav, Y., Nyamsuren, O., Ragchaa, G., Gedefaw, M., 2022b. Impact of faults on the origin of lake depressions: a case study of Bayan Nuur depression, North-west Mongolia, Central Asia. Geogr Fis Din Quat 44, 69-82. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2021.44.5>
16. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., Gerelmaa, T., 2022c. Morphodynamic development of the Terkhiin Tsagaan Lake Depression, Central Mongolia: Implications for the relationships of Faulting, Volcanic Activity, and Lake Depression Formation. Journal of Mountain Science 19(9), 2451-2468. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-7144-1>
17. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Doljin, D., 2021. Morphological classification and origin of lake depressions in Mongolia. Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, 35-43. <https://doi.org/10.5564/pmas.v61i02.1758>
18. Feyisa, G.L., Meilby, H., Fensholt, R., Proud, S.R., 2014. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote sensing of environment 140, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
19. Fisher, A., Flood, N., Danaher, T., 2016. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia. Remote Sensing of Environment, 175, pp.167-182. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.055>
20. Florinsky, I.V., 1996. Quantitative topographic method of fault morphology recognition. Geomorphology, 16(2), pp.103-119. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00136-S](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00136-S)
21. Fowell, S.J., Hansen, B.C., Peck, J.A., Khosbayan, P., Ganbold, E., 2003. Mid to late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data. Quaternary Research 59(3), 353-363. [https://doi.org/10.1016/S0033-5894\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0033-5894(02)00020-0)

22. Gilvear, D., Bryant, R., 2016. Analysis of remotely sensed data for fluvial geomorphology and river science. In book: Tools in fluvial geomorphology, pp.103-132. <https://doi.org/10.1002/9781118648551.ch6>
23. Hassen, M.B., Deffontaines, B. and Turki, M.M., 2014. Recent tectonic activity of the Gafsa fault through morphometric analysis: Southern Atlas of Tunisia. *Quaternary International*, 338, pp.99-112. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.009>
24. Huang, W., Duan, W., Chen, Y., 2022. Unravelling lake water storage change in Central Asia: Rapid decrease in tail-end lakes and increasing risks to water supply. *Journal of Hydrology* 614, 128546. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128546>
25. Jacques, P.D., Salvador, E.D., Machado, R., Grohmann, C.H. and Nummer, A.R., 2014. Application of morphometry in neotectonic studies at the eastern edge of the Paran6 Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Geomorphology*, 213, pp.13-23. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.12.037>
26. Klinge, M., Schneider, F., Dulamsuren, C., Arndt, K., Bayarsaikhan, U., Sauer, D., 2021. Interrelations between relief, vegetation, disturbances, and permafrost in the forest-steppe of central Mongolia. *Earth Surface Processes and Landforms* 46(9), 1766-1782. <https://doi.org/10.1002/esp.5116>
27. Liu, H., Chen, Y., Ye, Z., Li, Y., Zhang, Q., 2019. Recent lake area changes in Central Asia. *Scientific reports* 9(1), 16277. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52396-y>
28. Nixon, M., Aguado, A., 2019. Feature extraction and image processing for computer vision. Academic press, pp.344-356. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-06935-1>
29. Peck, J.A., Khosbayar, P., Fowell, S.J., Pearce, R.B., Ariunbileg, S., Hansen, B.C., Soninkhishig, N., 2002. Mid to Late Holocene climate change in north central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 183(1-2), 135-153. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(01\)00465-5](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(01)00465-5)
30. Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin* 63(11), 1117-1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
31. Struck, J., Bliedtner, M., Strobel, P., Taylor, W., Biskop, S., Plessen, B., Klaes, B., Bittner, L., Jamsranjav, B., Salazar, G., Szidat, S., 2022. Central Mongolian lake sediments reveal new insights on climate change and equestrian empires in the Eastern Steppes. *Scientific reports* 12(1), 2829. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06659-w>

32. Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., Weng, B., Qin, T., Wang, K., Gerelmaa, T., Dambaravjaa, O., 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. <https://doi.org/10.3390/w12051470>
33. Theilen-Willige, B., 2022. Geomorphologic and geologic analysis of satellite data of the Betic and Rif Orogenic Belts in the Western Mediterranean Sea. *European Journal of Environment and Earth Sciences* 3(2), 73-79. <https://doi.org/10.24018/ejgeo.2022.3.2.276>
34. Trifonova, P., Simeonova, S., Solakov, D., Metodiev, M., 2012. Exploring seismicity in Bulgaria using geomagnetic and gravity data. *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*, 65(5).
35. Tungalag, N., Ganbat, B., Baasansuren, S., Orgil, G., Enkhhsatsral, D. and Batmunkh, M., 2023. The Paleozoic Granitic Rocks from the Telmen Complex in the Tarvagatai Block, Central Mongolia: Petrogenesis, U-Pb geochronology, and its tectonic implications. *Mongolian Geoscientist*, 28(56), pp.1-13. <https://doi.org/10.5564/mgs.v28i56.2427>
36. Willgoose, G., Hancock, G., 1998. Revisiting the hypsometric curve as an indicator of form and process in transport-limited catchment. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group* 23(7), 611-623. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199807\)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199807)23:7<611::AID-ESP872>3.0.CO;2-Y)
37. Yamkhin, J., Yadamsuren, G., Khurelbaatar, T., Gansukh, T.E., Tsogtbaatar, U., Adiya, S., Yondon, A., Avirmed, D., Natsagdorj, S., 2022. Spatial distribution mapping of permafrost in Mongolia using TTOP. *Permafrost and Periglacial Processes* 33(4), 386-405. <https://doi.org/10.1002/ppp.2165>
38. Zhang, Y., An, C.B., Zheng, L.Y., Liu, L.Y., Zhang, W.S., Lu, C., Zhang, Y.Z., 2023. Assessment of lake area in response to climate change at varying elevations: A case study of Mt. Tianshan, Central Asia. *Science of The Total Environment* 869, 161665. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161665>