



NATIONAL UNIVERSITY OF MONGOLIA
SCHOOL OF ARTS AND SCIENCES
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY

Geographical Issues

Газарзүйн Асуудлууд

Volume 25 (01)

ISSN: 2312-8534

2025

Ulaanbaatar

Tectonic geomorphological analysis of the Khukh Lake Basin, Mongolian Altay Mountains, north-west Mongolia

Altanbold Enkhbold¹, Ulambadrakh Khukhuudei², Batbold Dorjookhuu³, Yeong Bae Seong⁴, Bayanzul Davaadorj¹, Batzorig Batbold^{1*}

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

²Research Center of Geology and Mineral Resources, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

³School of Physical Education, Mongolian National University of Education, Ulaanbaatar 14191, Mongolia

⁴Department of Geography Education, Korea University, Seoul 02841, Republic of Korea

*Corresponding author: 22m1num2774@stud.num.edu.mn

Received: 2025.01.05

Revised: 2025.04.16

Accepted: 2025.04.22

Abstract

The Khukh Lake Basin in the Mongolian Altay represents a characteristics of a tectonically formed lake basin. This study employed a comprehensive morphometric analysis to determine the morphological development, origin, and tectonic influence on the basin. Using topographic maps, satellite imagery, digital elevation models (DEMs), and field measurements, we applied various analytical methods including Topographic Analysis (TA), Hypsometric Integral (HI), Valley floor (Vf), Mountain Front Sinuosity (MFs), Basin Shape Index (Bs), Relief Slope (RSI), Relative Relief Energy (RE), Hypsometric Curve (HC), and Volume Estimation (V). The results reveal that the Khukh Lake Basin is aligned along a NW–SE-trending fault system and is situated within an active tectonic zone characterized by compressional and transtensional deformation. Morphometric analysis of the study area revealed a hypsometric integral (HI) of 0.80%, Vf values ranging from 0.11 to 0.35, surface slopes between 44° and 68°, RE of 1142 m, a Bs value of 2.33, and an MFs value of 1.0. These results indicate that the lake was formed within a narrow, elongated tectonic zone extending from northwest to southeast. The average volume of the non-linear body was estimated to be 0.069 km³, suggesting that the Khukh Lake was formed by a rock blockage of this volume. Morphometric indicators collectively confirm the presence of intense tectonic activity, substantiating the structural control over the basin's formation and evolution. This research highlights the geodynamic significance of the Mongolian Altay region, where active faulting plays a crucial role in shaping lake basins, and provides a scientific basis for understanding tectonic influences on intramontane depressions.

Keywords: Tectonic geomorphology, Khukh Lake Basin, Morphometric analysis, Mongolian Altay Mountains, Fault, Rockslide

Монгол Алтайн нурууны Хөх нуурын хотгорын тектоник геоморфологийн шинжилгээ

©Энхболд Алтанболд¹, Хөхөөдэй Уламбадрах², Доржоохүү Батболд³, Ён Бэ Сон⁴, Даваадорж Баянзул¹, Батболд Батзориг^{1*}

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

²Геологи, эрдэс баялгийн судалгааны төв, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Улаанбаатар 210646, Монгол Улс

³Биеийн Тамирын сургууль, Монгол Улсын Боловсролын Их Сургууль, Улаанбаатар 14191, Монгол Улс

⁴Газарзүйн боловсролын тэнхим, Корей Их Сургууль, Сөүл 02841, Бүгд Найрамдах Солонгос Улс

*Харилцагч зохиогч: 22m1num2774@stud.num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2025.01.05

Засварласан: 2025.04.16

Зөвшөөрөгдсөн: 2025.04.22

Хураангуй

Монгол Алтайн нурууны Хөх нуурын хотгор нь тектоник гаралтай нуурын хотгорын хэв шинжийг илэрхийлэх онцлогтой бүс нутаг юм. Энэхүү судалгаа нь тус хотгорын морфологи хэлбэржилт, гарал үүсэл, тектоник нөлөөллийг морфометрийн шинжилгээний үндсэн дээр тодорхойлсон. Судалгаанд байрзүйн зураг, сансрын зураг, гадаргын өндөршлийн (DEM) өгөгдөл, хээрийн хэмжилтүүдийг ашиглан Байрзүйн зургийн шинжилгээ (ТА), Гипсометр Интеграл (HI), Хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (Vf), Гадаргын налуугийн шинжилгээ (RSI), Рельефийн энергийн шинжилгээ (RE), Гипсометрийн зүсэлтийн шинжилгээ (HC), Ус хурах савын газрын морфологийн шинжилгээ (Bs), Уулын хажуугийн шинжилгээ (MFs), Эзэлхүүний морфометр тооцоо (V) зэргийг хийсэн. Үр дүнд нь Хөх нуурын хотгор нь баруун хойноос зүүн урагш чиглэсэн хагарлын шугам дагуу байрлаж, тектоникийн огшил, тохрол бүхий идэвхтэй хагарлын бүсэд оршиж байгааг тогтоов. Судалгааны талбайд хийсэн морфометрийн шинжилгээгээр (HI) 0.80%, Vf утга 0.11-0.35, гадаргын налуу 44-68°, рельефийн энерги 1142 м, Bs утга 2.33, MFs утга 1.0 зааж байгаа нь баруун хойноос зүүн урагш нарийхан, сунасан хэлбэртэй тектоникийн идэвхтэй бүсэд нуур тогтсон болохыг нотолж байв. Шугаман бус биетийн эзэлхүүний дундаж тооцоогоор 0.069 км³ чулуулаг хааж Хөх нуурыг үүсгэсэн байна. Морфометрийн үзүүлэлтүүд нь тектоникийн идэвхтэй бүс болохыг нотлон харуулахын зэрэгцээ Монгол Алтайн бүс нутгийн шахалтын геодинамик орчин, хагарлын бүтэц, тэдгээрийн нуурын гарал үүсэлд үзүүлэх нөлөөг тодорхойлох чухал ач холбогдолтойг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: Тектоник геоморфологи, Хөх нуурын хотгор, Морфометрийн шинжилгээ, Монгол Алтайн нуруу, Хагарал, Чулуулгийн гулсалт

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэр, өгүүллийн эх бэлтгэл, үр дүнгийн хяналт; Б.Батзориг, Д.Баянзул: Аргазүй боловсруулалт, зураглал боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт; Д.Батболд: Хээрийн судалгаа, үр дүнгийн хяналт; Ён Бэ Сон: Үр дүнгийн хяналт

Оршил

Нуурын хотгорын морфологи хэв шинж, нуурын талбай, газарзүйн байршил нь геологийн түүхэн цаг хугацаанд дэлхийн эндоген болон экзоген нөлөөллийн улмаас өөрчлөгдсөөр иржээ (Kalff, 2002). Нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи хэлбэржилт, морфометрийн үзүүлэлтүүд нь тухайн нуурын усны тэнцвэржилт, ууршилт, хур тунадасны горим, хурдсын хуримтлал зэрэг олон хүчин зүйлтэй уялдаатайгаар өөрчлөгдөж байдаг (Hutchinson, 1957; Wetzel, 2001). Нуурын хотгорын морфологи хэлбэржилт нь геологийн гарал үүслийн тухай мэдээлэл өгөхөөс гадна ландшафтын хөгжил, усзүйн горим, уур амьсгалын суурь үзүүлэлт болдог (Verpoorter et al., 2014). Морфометрийн үзүүлэлтүүдэд нуурын талбай, урт, өргөн, дундаж ба хамгийн их гүн, эзэлхүүн, эрэг, дэнжийн хөгжил зэрэг ордог (Lehner, Döll, 2004).

Нуурын хотгорын гарал үүсэл, түүний морфологи хэлбэржилтэд гадаргын өндөршил, налуу, нуурын эргийн хэрчигдэл, нуурын талбай ба гүний харьцаа, эзлэхүүн, усны найрлага, шинж чанар зэрэг нь уг хотгорын гарал үүслийг тодорхойлох гол шинж тэмдгүүд юм (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Түүнчлэн тектоник хөдөлгөөнтэй холбоотойгоор геологийн структурууд гадаргад илэрч тодорхой шинж тэмдгүүдийг агуулдаг (Бямба, 2012). Атираат тектоник гаралтай гадаргын хэлбэрүүдийн шинж тэмдгүүд нь гадаргад тодорхой шинж тэмдгүүд илэрдэг бөгөөд морфометрийн аргазүйд тулгуурлан илрүүлэх, батлах боломжтой байдаг (Болд, 1987; Бямба, 2012; Jacques et al., 2014; Enkhbold et al., 2022abc).

Монгол орны баруун хэсэгт баруун хойноос зүүн урагш чигт орших Алтайн нуруу нь тектоникийн идэвхтэй мужид багтдаг (Tarponnier, Molnar 1979; Bayasgalan et al., 2005; Cunningham, 2005). Уг уулархаг бүс нутагт шинэ тектоник хөдөлгөөн, эртний мөстлөгийн болон мөстлөгийн дараах экзоген үйл явц, хуурай, сэрүүн уур амьсгалын нөлөөгөөр үүссэн олон хэв шинжийн нуурын хотгорууд үүссэн нь тэдгээрийн морфогенетик ялгаа нь бүс нутгийн геоморфологийн онцлогийг илтгэдэг (Цэрэнсодном, 2000; Lehmkuhl et al., 2004; Gillespie et al., 2008; Klinge et al., 2021; Enkhbold et al., 2022abc; Enkhbold et al., 2024; Khukhuudei et al., 2024). Алтайн уулархаг нутагт орших нууруудын хотгорууд нь ихэвчлэн тектоникийн, мөстлөгийн гаралтай нуурын хотгорууд зонхилдог онцлогтой (Klinge et al., 2021; Enkhbold et al., 2024). Алтайн нурууны уулс ба хотгоруудын чиглэл нь Энэтхэг-Евразийн плитүүдийн коллизын нөлөөнд өртөж сэргэсэн уулсын бүсийг дагасан байдаг (Cunningham, 2005; Khukhuudei et al., 2024; Ha et al., 2023).

Монгол Алтайн нуруу нь ойролцоогоор д.т.дээш 3000-3500 м түүнээс илүү өндөрлөг гадаргатай (Lehmkuhl et al., 2004; Klinge et al., 2021). Ихэнх гадарга нь өндөр уулс, дундаж өндөр уулс нийт гадаргын талбайн 70 орчим хувийг эзэлнэ (Lehmkuhl et al., 2004) Монгол Алтайн нурууны салбар уулсын хооронд томоохон хотгорууд нь нарийнаас өргөсөх маягийн морфологийн хэв шинжийг үүсгэдэг онцлогтой (Алтанболд, Уламбадрах, 2022). Монгол Алтайн гол нурууны захаар салбарлан үргэлжлэх уулсын хооронд томоохон нуур бүхий хотгорууд үүсжээ (Enkhbold et al., 2024). Уулс хоорондын хотгорт нуурууд тогтох ба хотгор руу пролов, делювын хурдас түрж, цутгал голуудын хөндийг дагасан аллювын хурдас, хөндийн дээд хэсэгтээ морены хурдас нэлээд талбайг хамардаг зүй тогтолтой (Pötsch, 2016; Lemkhkul et al., 2016; Klinge et al., 2021).

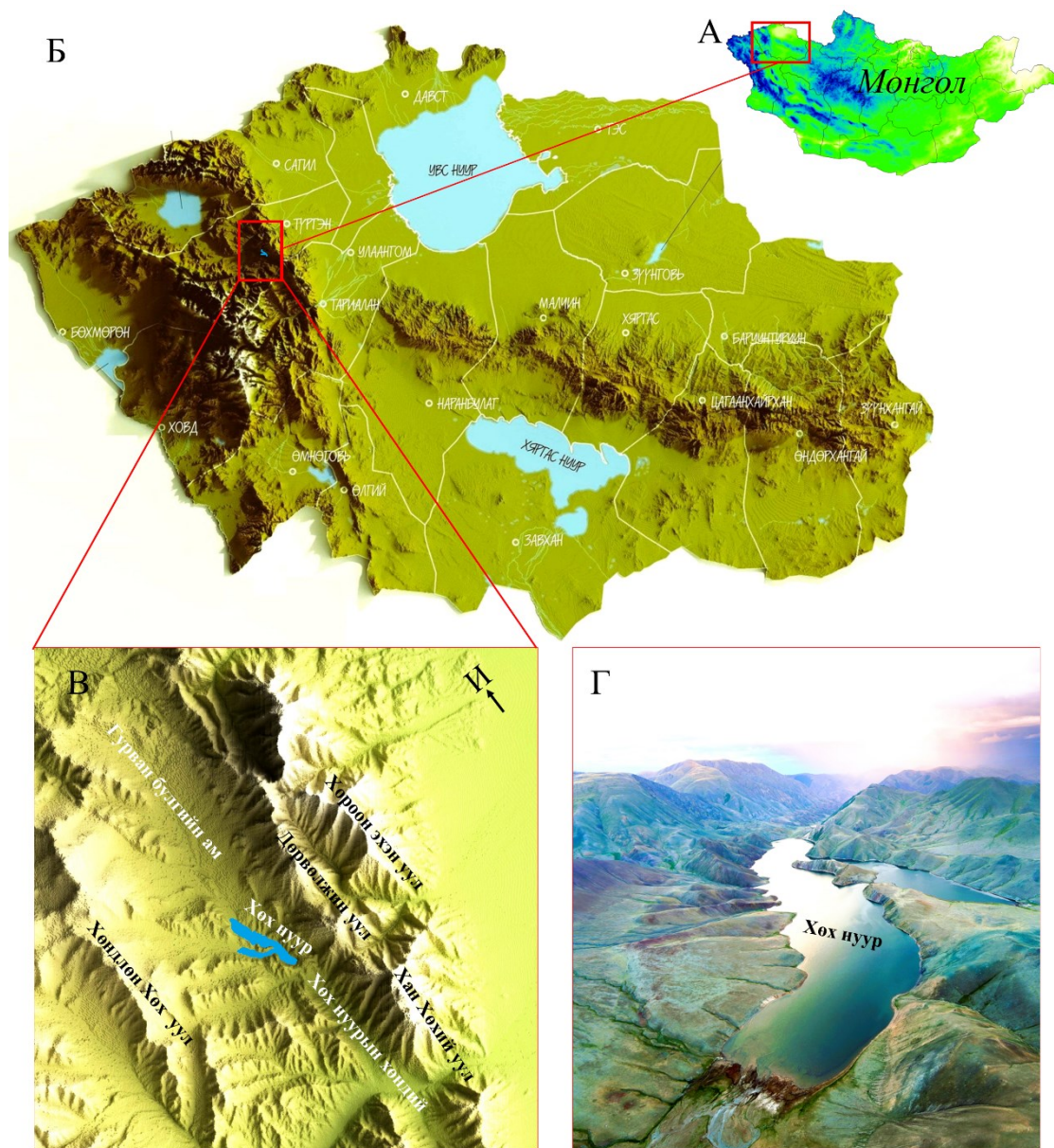
Орчин үед өндөр нарийвчлалтай сансрын зураг, дижитал өндрийн загвар (DEM), зайнаас тандан судлал, газарзүйн мэдээллийн систем (GIS)-ийн аргачлалуудыг ашиглан нуурын хотгорын морфологи хэлбэржилт, морфометрийн үзүүлэлтийг нарийвчлан тооцох боломж бүрдсэн. Морфометрийн үзүүлэлтэд үндэслэн нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи хэлбэржилт, хэв шинжийг тодорхойлох морфометрийн шинжилгээний аргазүйг судлаачид хөгжүүлсээр байна (Философов, 1967; Болд, 1987; Hassen et al., 2014; Jacques et al., 2014; Enkhbold et al., 2022abc). Морфометрийн шинжилгээний аргазүй нь нуурын хотгорын

морфологи, хэв шинжийн ангилал хийх, гарал үүслийн таамаглалыг батлах, тухайн бүс нутгийн нууруудын хотгорын хөгжлийн түүхийг тайлбарлахад чухал ач холбогдолтой юм.

Энэхүү судалгаа нь Монгол Алтайн нурууны салбар уулсын хооронд орших Хөх нуурын морфометрийн үзүүлэлтэд тулгуурлан хотгорын морфологи хэлбэржилтийн онцлог, үүсэл хөгжлийг тектоник геоморфологийн үүднээс тодорхойлоход чиглэнэ. Судалгааны хүрээнд Хөх нуурын хотгорыг сонгон авч, морфометрийн болон гадаргын өндөршлийн дижитал өндрийн загвар (DEM)-ын өгөгдөлд суурилсан морфометрийн шинжилгээг нуурын хотгорт хийсэн. Үүний үр дүнд уулархаг бүс нутгийн нууруудын хотгорын гарал үүсэл, тэдгээрийн морфологи, хэв шинжийн онцлог, орон зайн хамаарлын тухай шинжлэх ухааны суурь судалгааг хөгжүүлэхэд гол зорилго оршино.

Судалгааны талбай

Увс аймгийн Тариалан сумын Хархираа багийн нутагт орших Хөх нуур нь ХӨ 49° 49' 55", ЗУ 91° 42' 42" газарзүйн солбилцолд, далайн түвшнээс дээш (д.т.дээш) 1926 метрийн өндөр баруун хойноос зүүн урагш чигт салаалан сунаж тогтсон. Газарзүйн байршлын хувьд Улаанбаатар хотоос 1360 орчим км, Улаангом хотоос 30 гаруй км, Тариалан сумаас баруун хойд зүгт 20 орчим км алслагдсан. Нуурын хотгор нь Монгол Алтайн нурууны салбар уулс болох Хархираагийн уулсын зүүн хойд хэсэгт баруун талаараа Хөндлөн Хөх уул, зүүн талаараа Дөрвөлжин, Хороон эхэн уул, Алтан Хөхийн уулсаар хүрээлэгдсэн. Уг нуурын хотгорын урт баруун хойноос зүүн урагш чигт 24 орчим км, өргөн 10 орчим км бөгөөд д.т.дээш 2300-3100 м уулархаг гадарга зонхилдог (Зураг 1).



Зураг 1. А. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил, Б. Увс аймгийн газрын гадарга, Монгол Алтайн Хархираа-Түргэний салбар уулсын байршил, В. Хөх нуурын хотгорын газрын гадарга (Эх сурвалж: Map Creators, 2023 & 2025 зураглалын материалаас ашиглав), Г. Хөх нуур орчмын гадаргыг харуулсан агаарын гэрэл зураг (Зургийг Д.Батболд, 2024)

Хөх нуурын урт 3.85 км, өргөн 0.6-1.2 км, дундаж гүн 0.5 м, хамгийн их гүн 1.5 м, нуурын талбай 2.2 км², ус хураах талбай 121 км² юм (Цэрэнсодном, 2000). Уур амьсгалын хувьд эрс тэс, хур тунадасны дундаж хэмжээ 250 мм, жилийн агаарын дундаж хэм -4°C-2°C, нийлбэр ууршилт 50-100 мм байдаг (Монгол Улсын Үндэсний атлас, 2022). Уг нуурт Хойд хужиртын гол, Мөстийн булаг, Баян зуух, Гурван булаг зэрэг жижиг гол, булгууд цутгадаг. Хөх нуураас зүүн урагш чигт Шар нуур, Дээд Хөх, Доод Хөх нуурууд цуваа байдлаар оршдог.

Геологийн тогтцын хувьд нуурын хотгорыг хүрээлж неопротерозойн серпентинит, габбро, лерцолит, девоны гранит чулуулаг тархсан (Эрдэнэчимэг нар, 2018). Геоморфологийн хувьд дундаж ба өндөр уулсаар хүрээлэгдэх ба нуурын хотгор руу пролюв, аллювын хурдас түрсэн онцлогтой (Монгол Улсын Үндэсний атлас, 2022).

Судалгааны материал, аргазүй

Судалгаанд 1:100 000 масштабтай М-46-76 номенклатуртай байрзүйн зураг ашиглав. Уг зураг нь Монгол Улсын Геодези, зураг зүйн газраас 1945 оны байрзүйн зургийн үндэслэлээр боловсруулж, 1982 оны хээрийн судалгааны материалыг шинэчилсэн байдаг. Морфометрийн шинжилгээг DEM зураглалын материалыг <https://www.usgs.gov/> сангаас татаж ашиглав. Судалгаанд ашигласан морфометрийн үзүүлэлтүүдийг байрзүйн зураг, ‘Map Creators’ болон ‘Google Earth Pro’ сансрын зураглалын материалд тулгуурлан тооцоолсон. Судалгааны талбайд 2024 оны VII-VIII сард хээрийн хэмжилт хийж судалгааны зураглалын материалуудыг бүрдүүлсэн.

Морфометрийн шинжилгээ: Морфометрийн шинжилгээгээр судалгааны талбайн рельефийн хэлбэрүүдийг хэмжих, математик тооцоолол хийх, харьцуулах, шалгуур үзүүлэлтээр тодорхойлох замаар байрзүйн, гадаргын өндөршлийн сансрын зурагт тайлал хийж рельефийн гарал үүсэл, динамик хөгжлийн онцлогийг илрүүлдэг (Философов, 1967; Болд, 1987; Hassen et al., 2014; Jacques et al., 2014; Ezati et al., 2021; Enkhbold et al., 2022abc; Enkhbold et al., 2024). Рельефийн хотгор, гүдгэрийн онцлог, орон зайн ялгаатай ба ижил төстэй байдал, гадаргын налуу, хэвтээ ба босоо хэрчигдэл, хэрчигдлийн идэвх зэргийг тоон утгаар хэмжиж илэрхийлэх болон хооронд харьцуулах байдлаар гадаргын хэлбэрүүдийг тодорхойлно (Болд, 1987; Hassen et al., 2014; Jacques et al., 2014). Тоон өгөгдөл бүхий материалыг тодорхой математик тооцоо хийж судалгааны зорилгод нийцэх зураглалыг гүйцэтгэж үр дүн гаргадаг.

Морфометрийн шинжилгээ нь хэд хэдэн дэд шинжилгээнээс бүрддэг. Энэ судалгаанд бид байрзүйн зургийн шинжилгээ (ТА), Гипсометрийн интеграл (НИ), Гадаргын налуугийн шинжилгээ (RSI), Рельефийн энергийн шинжилгээ (Re), Гипсометрийн зүсэлтийн шинжилгээ (НС), Уулын хажуугийн шинжилгээ (MFs), Ус хурах савын газрын шинжилгээ (Bs), Шугаман бус биетийн эзэлхүүн тодорхойлох тооцоо зэрэг 9 төрлийн морфометрийн шинжилгээг хийв.

Байрзүйн зургийн шинжилгээ (ТА): Рельефийн элементүүд, тэдгээрийн хэлбэрүүдэд гарч байгаа огцом өөрчлөлт, гажилтуудыг ашиглан хагарлыг илрүүлж болдог (Философов, 1967; Болд, 1987). Судалгааны зорилгоос шалтгаалан хагарлын чиглэл, урт, үүссэн дэс дараалал, рельеф үүсэх онцлог зэргээр нь системчлэн ангилдаг (Jacques et al., 2014). Байрзүйн зурагт хагарлуудыг буулгахдаа байрзүйн зурагт нотлогдсон шууд ба шууд бус шинж тэмдэг бүхий шалгуурыг ашигладаг (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Байрзүйн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлох шалгуур үзүүлэлт (Философов, 1967; Болд, 1987; Hassen et al., 2014; Jacques et al., 2014; Enkhbold et al., 2022abc)

№	Шалгуур үзүүлэлт	(Нийцэл +, Үл нийцэл –)
1	Байрзүйн зургийн хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн эсэх	+
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	Байрзүйн зурагт нуурт цутгаж буй голын голдирол огцом тохойрч гажилт үүссэн эсэх	+
5	Нуурын батиметрийн зурагт изобатуудад гажилт үүсгэх, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан эсэх	+
6	Нуурын усан гадаргын талбай аль нэг хэсэгтээ тэгш өнцөгт юм уу шулуун хэлбэрийн дүрс, эсвэл геометрийн бус дүрсзүйн хэлбэрийг үүсгэсэн эсэх	+
7	Байрзүйн зурагт нуурууд цуваа хэлбэрээр нэг шулууныг дагаж байрласан эсэх	+

Гипсометрийн Интегралын шинжилгээ (НИ): Энэ арга нь тухайн гадаргын гарал үүсэл, хэлбэр, хэмжээг илүү тодруулж өгдгөөрөө онцлог юм (Strahler, 1952; Pike, Wilson, 1971; Pérez-Reña et al., 2009; Ramzan et al., 2022). Гипсометр Интегралыг дараах байдлаар тодорхойлно. Үүнд:

$$HI(\%) = (H_{mean} - H_{min}) / (H_{max} - H_{min}) \quad (1)$$

HI-Гипсометрийн Интеграл (хувиар), H_{mean} -Тухайн талбайн гипсометрийн зүсэлтийн дундаж өндрийн хэмжээ (м), H_{min} - Гадаргын шинжилгээ хийж буй хэсгийн гипсометрийн зүсэлтийн хамгийн нам өндрийн хэмжээ (м), H_{max} - Гадаргын шинжилгээ хийж буй хэсгийн талбайн өндрийн дээд хэмжээ (м) юм. *HI* утга нэмэгдэх тутам тектоникийн нөлөө ихтэй болохыг утга багасах тутам элэгдлийн гаралтай гадаргыг илэрхийлдэг байна (Pike, Wilson, 1971; Hassen et al., 2014; Ramzan et al., 2022). *HI* утга нь $HI < 0.35$ -Хагарал байх магадлал бага, $0.35 < HI < 0.60$ - Хагарал байх боломжтой, $0.60 < HI$ - Хагарал байх магадлал их (Keller, Pinter, 2002; Pérez-Peña et al., 2009; Hassen et al., 2014; Ramzan et al., 2022; Enkhbold et al., 2022c) гэж үздэг. Судалгааны хүрээнд Хөх нуурын хотгорт гипсометрийн интегралын шинжилгээ хийж тектоникийн нөлөөг тодруулсан.

Хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (Vf): нь тектоник идэвхжил, газрын гадаргын хувьслыг судлахад өргөн хэрэглэгддэг тоон үзүүлэлт юм (Luirei et al., 2018). Энэхүү үзүүлэлт нь хөндийн ёроолын өргөн болон хөндийг тусгаарлагч хажуу хоорондын өндрийн ялгааны харьцааг илэрхийлдэг. Үүнд:

$$Vf = \frac{2Vfw}{(E_{is}-E_v)+(E_{rs}-E_v)} \quad (2)$$

Энд Vfw - Хөндийн дундаж ёроолын өргөн, E_{is} нь зүүн хажуугийн өндөр, E_{rs} нь баруун хажуугийн өндөр, E_v нь хөндийн ёроолын өндөр юм. Vf утга < 1 буюу V хэлбэрийн гүн хөндий, ихэвчлэн сэргэж буй тектоникийн идэвхтэй бүсэд тохиолддог. Vf утга нь > 1 бол U хэлбэрийн хөндий нь тектоникийн хувьд тогтвортой элэгдлийн гаралтай хөндийн хэлбэрийг илтгэнэ (Silva et al., 2003; Daxberger et al., 2014).

Гадаргын налуугийн шинжилгээ (RSI): Нуурын хотгорын дагуу налуугийн хэмжээ огцом өөрчлөгдөх нь хагарлыг илтгэх шинж тэмдэг юм (Bucknam, Anderson, 1979; Enkhbold et al., 2022abc). Хагарал байх магадлалыг нуурын хотгорт гадаргын налуугийн үзүүлэлтүүд дээр нь тулгуурлан дараах шалгуур үзүүлэлтээр тооцож болно. Үүнд: $Rs < 5^\circ$ - Хагарал байх магадлал бага, $5^\circ < Rs < 10^\circ$ Хагарал байх боломжтой, $10^\circ < Rs$ Хагарал байх магадлал өндөр гэж үзнэ (Hooper et al., 2003; Ganas et al., 2005; Onorato et al., 2017). Налуу гадаргын дагуу шулуун структур гадаргад илрэх нь хагаралтай давхцаж буйг илтгэнэ (Философов, 1967; Болд, 1987). Энэ судалгаанд Хөх нуурын хотгорт гадаргын налуугийн шинжилгээг ‘Google Earth pro’ программын ‘Ruler’ цэсний ‘path’ командыг ашиглаж үр дүнгээ тооцсон.

Рельефийн энергийн шинжилгээ (RE): Газрын гадаргад рельефийн энерги буюу харьцангуй өндрийн зөрүүг дагаж шулуун структур гадаргад илрэх, рельефийн энергийн зөрүү үүсэж буй гадаргад налуугийн хэмжээ огцом өөрчлөгдөх нь хагарлыг илэрхийлдэг (Философов, 1967; Болд, 1987; Hassen et al., 2014). Рельефийн энергийн зөрүүг тооцохдоо дараах томъёогоор илэрхийлнэ.

$$Re = H_{max} - H_{min} \quad (3)$$

Re - Рельефийн энергийн хэмжээ (м-ээр) H_{max} -Тухайн гадаргын харьцангуй өндрийн дээд хэмжээ (м), H_{min} -Тухайн гадаргын харьцангуй өндрийн доод хэмжээ (м) юм. Рельефийн энергийн хэмжээг тодорхойлоход сансрын зурагт гипсометрийн үзүүлэлтэд тулгуурлан тодорхойлно. Нуурын хотгорт хагарал байх магадлалыг рельефийн энергийн зөрүүнд нь тулгуурлан дараах шалгуур үзүүлэлтэд тулгуурлан тооцож болно. Үүнд: $Re < 20$ м-Хагарал байх магадлал бага, $20\text{м} < Re < 30\text{м}$ - Хагарал байх боломжтой, $40\text{ м} < Re$ - Хагарал байх магадлал их гэж үзнэ (Философов, 1967; Болд, 1987; Hooper et al., 2003; Ganas et al., 2005).

Гипсометрийн зүсэлтийн шинжилгээ (HC): Гадаргын гипсометрийн зүсэлтэд тулгуурлан тухайн гадаргын хотгор, гүдгэрийн үндсэн хэв шинжийг тодорхойлоход оршино (Enkhbold et al., 2022abc). Хоёр хэмжээст зүсэлтэд босоо тэнхлэг (y) болон хэвтээ тэнхлэг (x)-ийн дагуу гадаргын морфологийг дүрсэлнэ. Гипсометрийн зүсэлт нь судалгааны талбайн хэмжээнээс хамаарч янз

бүрийн масштабаар тохируулна (Willgoose, Hancock, 1998; Shekar, Mathew, 2022). Гипсометрийн зүсэлтийг дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$y = \left[\frac{d-x}{x} * \frac{a}{d-a} \right] z \quad (4)$$

Энд a -талбай d - масштабын хэмжээ z - гипсометрийн хазайлтын утга юм (Willgoose, Hancock, 1998). Энэ судалгаанд хүрээнд ‘Google Earth Pro’ программын ‘Ruler’ цэсний ‘path’ командыг ашиглаж гипсометрийн зүсэлтийг хийж чулуулгийн нурултын морфометрийн үзүүлэлтийг тооцоолсон.

Ус хурах савын газрын морфологийн шинжилгээ (Bs): нь нуурын хотгорын хэлбэрийн үзүүлэлт бөгөөд тектоник идэвхжил, элэгдлийн үйл явц, хотгорын морфологийн хөгжлийг үнэлэхэд ашиглагддаг чухал үзүүлэлт юм (Bull, McFadden, 1977; Vijith et al., 2017). Энэ үзүүлэлт нь тухайн хотгорын урт ба өргөний харьцаагаар илэрхийлдэг. Үүнд:

$$Bs = \frac{B_l}{B_v} \quad (5)$$

Энд B_l нь хотгорын хамгийн их урт, B_v нь хотгорын дундаж өргөний хэмжээ юм. Дараах индексийн утгаар тектоник идэвхжлийн ангиллыг тооцоолдог (Хүснэгт 2).

Хүснэгт 2. Ус хурах сав газрын морфологийн индексийн ангилал (Hamdouni et al., 2008; Anand and Pradhan, 2019)

Тектоникийн идэвхи	Bs утга	Сав газрын морфологи
Их	≥ 2.3	Нарийн сунасан
Дунд	1.2 - 2.3	Зууван
Бага	≤ 1.2	Тойрог, дугуй

Bs утга ≥ 2.3 ба түүнээс дээш бол нарийхан, сунасан хэлбэртэй хотгор бөгөөд энэ нь тектоник идэвхжил ихтэй болохыг гэрчилнэ. Bs утга 1.2-2.3 бол харьцангуй зууван хэлбэртэй тектоникийн идэвхжил дунд зэрэг болохыг Bs утга ≤ 1.2 бол тойрог, дугуй, талархаг хэлбэртэй элэгдлийн үйл явц давамгайлсан сав газрыг илтгэнэ (Hamdouni et al., 2008; Anand and Pradhan, 2019).

Уулын хажуугийн шинжилгээ (MFs): нь тектоник идэвхжил, газрын гадаргын хувьслыг илрүүлэхэд өргөн хэрэглэгддэг морфометрийн арга юм. Энэ аргаар уулын бэлийн шулуун шугамын урт болон уулын бэлийн дагуух бодит уртын харьцаагаар илэрхийлдэг. Үүнд:

$$MFs = \frac{L_{mp}}{L_s} \quad (6)$$

Энд L_{mp} нь уулын бэлийн шугамын бодит урт, L_s нь уулын бэлийн шулуун шугамын урт юм. $MFs \approx 1.0$ байвал уулын бэл шулуун, тектоник идэвх өндөртэйг илтгэнэ. Харин $MFs > 1.5$ бол уулын бэлд элэгдэл давамгайлсан, тектоник идэвх сул болохыг гэрчилнэ (Silva et al., 2003; Różycka et al., 2021). Энэ морфометрийн тооцоо нь уулын бэлийн шугамын хэр шулуун эсвэл тэгшивтэр байгаад тулгуурлан тухайн бүс нутагт сүүлийн үед тектоник өргөгдөл болсон эсэхийг харуулдаг.

Эзэлхүүний морфометр тооцоо (V): Хөх нуурын газар хөдлөлтөөр үүссэн чулуулгийн нурултын хэмжээг тооцоолохдоо геометрийн шугаман бус биетийн эзлэхүүн тооцох (Wetzel, 2001) дараах томъёогоор тооцов. Үүнд:

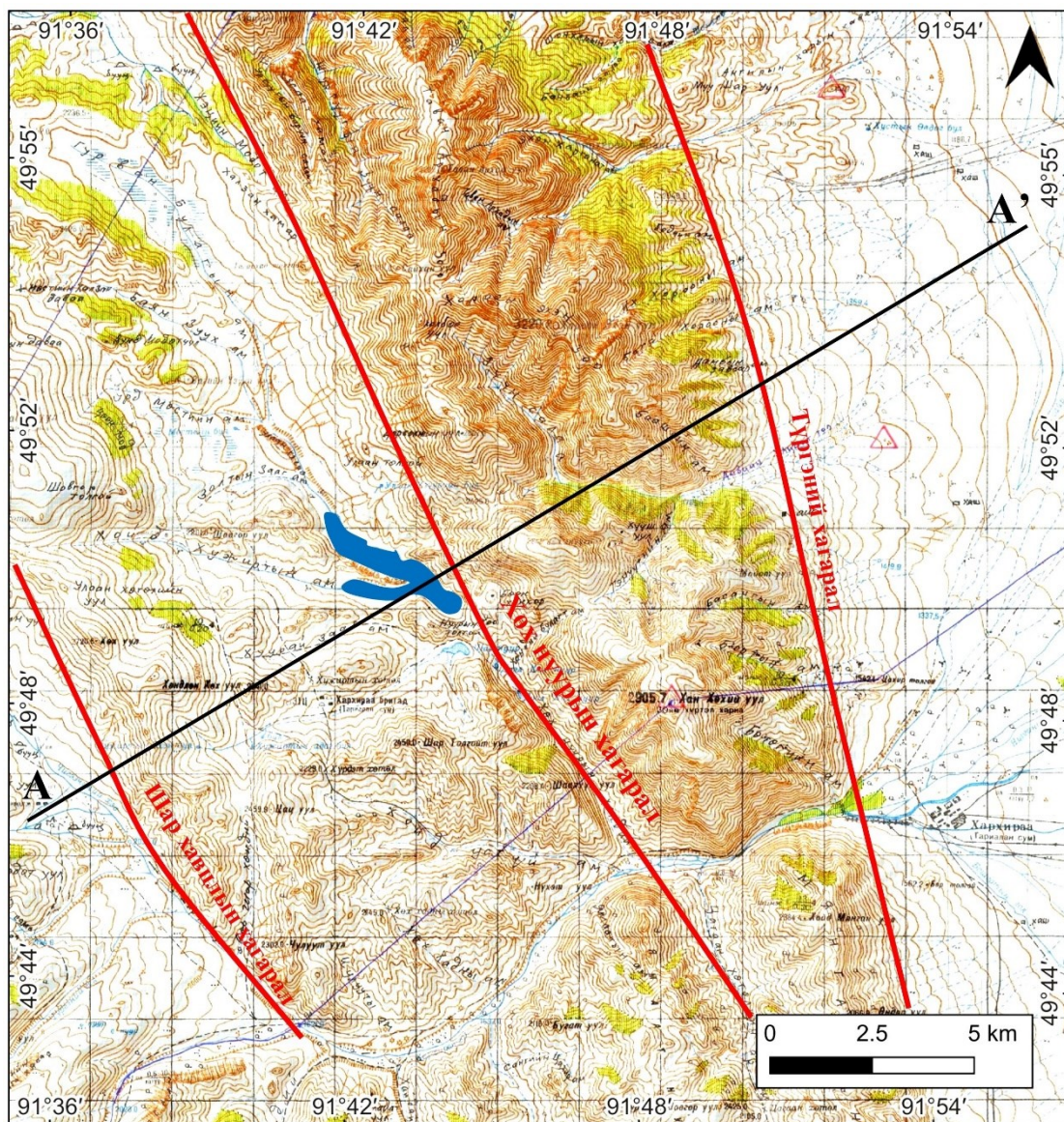
$$V = A * Z^* * F \quad (7)$$

Энд V нь эзэлхүүн, A нь талбайн хэмжээ, Z^* нь дундаж зузааны хэмжээ, F нь хэлбэрийн коэффициент (нэгжгүй), жигд ёроолтой бол $F=1$, конус хэлбэртэй бол $F=0.33-0.5$ хүртэл байна. Энэ судалгаанд хамрагдсан чулуулгийн нурултын хэлбэр конус хэлбэртэй тул $F=0.5$ гэж авав. Чулуулгийн нурултын морфометрийн үзүүлэлтүүдийг ‘Google Earth Pro’ программ хангамжийн ‘Ruler’ цэсийн ‘line, patch’ болон ‘polygon’ командын тохиргоо, хээрийн хэмжилт, байрзүйн зургийн материал ашиглаж тооцсон.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Хагарал тодорхойлох байрзүйн зургийн шинжилгээ нь газрын гадаргын хэлбэр, өндөршил, налуугийн чиглэл зэрэг морфометр үзүүлэлтүүдийг ашиглан газар хөдлөл, тектоник хагарлын

илрэлийг тодорхойлох арга юм. Үүнд байрзүйн зураг, хиймэл дагуулын зураг, өндөр нарийвчлалтай гадаргын өндөршлийн зураг (DEM) ашиглан шугаман бүтэц, налууугийн огцом өөрчлөлт, усны сүлжээний хазайлт, өөрчлөлт зэрэг шинж чанарт тулгуурлан тодорхойлдог. Энэ судалгаанд зайнаас тандан судлалын программ хангамжаар хагарлын шугамуудыг ялган толруулж, морфологийн элементүүдийг задлан шинжилж, хээрийн судалгаагаар баталгаажуулсан. Морфометрийн шинжилгээний аргазүйн хүрээнд судалгааны талбайн 1:100 000 масштабтай М-46-76 номенклатуртай байрзүйн зурагт шалгуур үзүүлэлтүүдээр шинжлэв (Зураг 2).

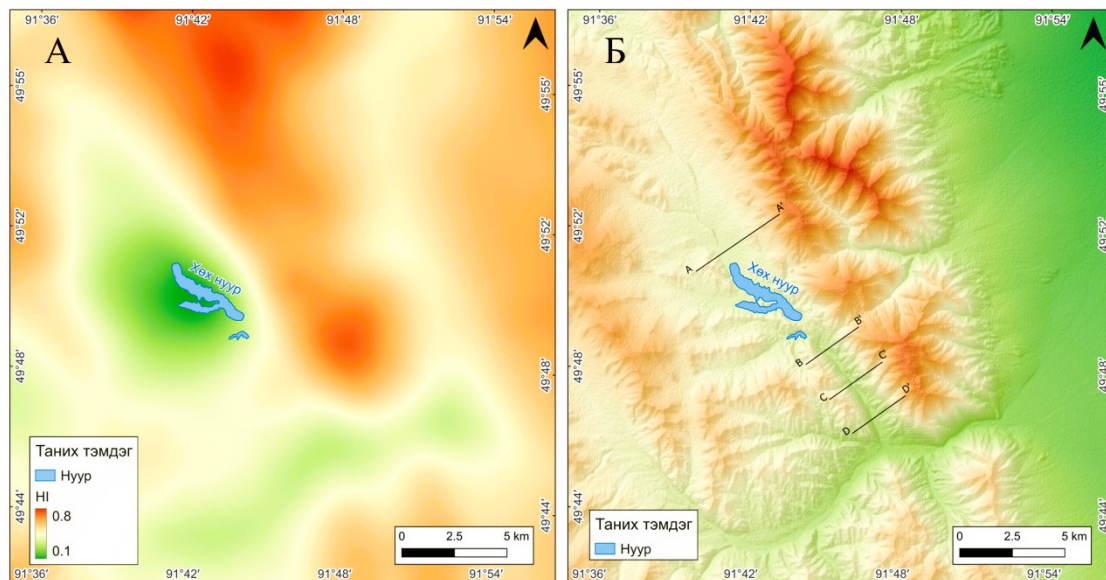


Зураг 2. Хөх нуурын хотгорын байрзүйн зургийн шинжилгээ ба хагарлын тайлал

Судалгааны талбайн морфометрийн байрзүйн шинжилгээгээр Хөх нуурын хотгорын зүүн талаар хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн, Байрзүйн зургийн хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулуунг дагаж давтагдсан байв. Байрзүйн зурагт нуурын хотгорын баруун талд орших уулсын өндөр д.т.дээш 2100-2200 м хооронд зүүн талд орших өндөр д.т.дээш 2800-2900 м өндрийн тоотуудын хооронд огцом зөрүү үүссэн байв. Хөх нуурын хэлбэр геометрийн бус дүрсзүй үүсгэсэн боловч усан гадаргын талбай

хойноосоо урагш чиглэлд үндсэн хагарлын дагуу шулуун хэлбэрийн дүрс үүсгэсэн. Байрзүйн зурагт Хөх нууртай цуваа хэлбэрээр нэг шулууныг дагаж Шар, Дээд хөх, Доод хөх зэрэг нуурууд нь Хөх нуурын хөндийн дагуу байрласан онцлогтой байв. Дээрх шалгуур үзүүлэлтээр батлагдаж буй шинж тэмдгүүд нь үндсэн хагарлын дагуу илэрч байв. Энэ судалгаанд тогтоогдож буй үндсэн хагарлыг “Хөх нуур”-ын хагарал гэж нэрлэн зураглалд буулгав.

Гипсометр Интегралын шинжилгээ (HI)-ний зураглал болон хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (V_f)-ны шинжилгээгээр тектоникийн нөлөөг тодорхойлов (Зураг 3).



Зураг 3. А. Хөх нуурын хотгорын гипсометр интегралын (HI) шинжилгээ Б. Хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (V_f)-ны шинжилгээ

Судалгааны талбайд Хөх нуурын хагарлын дагуу Гипсометр Интеграл (HI) 0.80%-ийг зааж байв. Энэ утга нь тектоникийн маш идэвхитэй нөлөөг илэрхийлж байна. Түүнчлэн нуурын хотгорын дагуу хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (V_f)-ны шинжилгээг хийв (Хүснэгт 3).

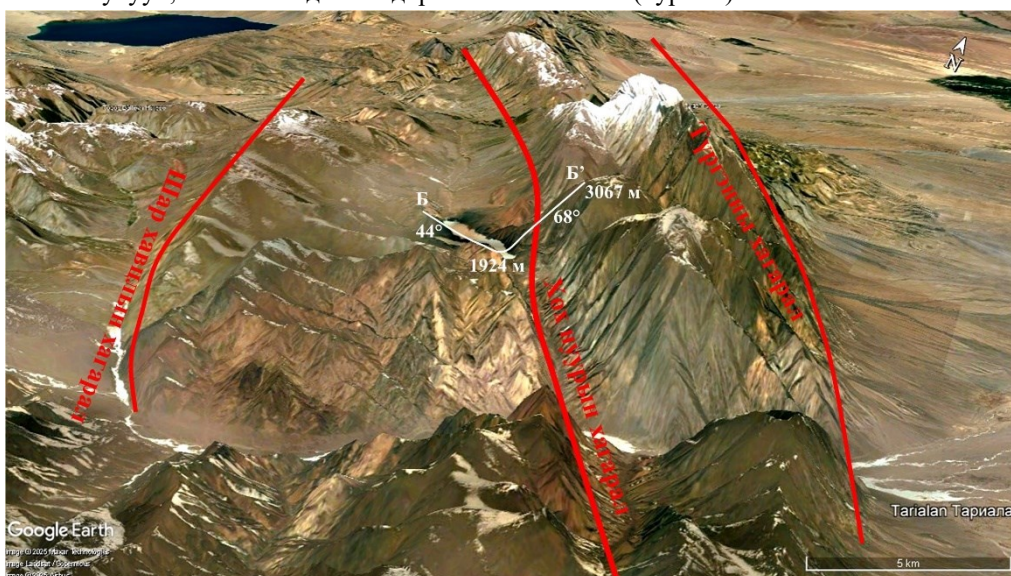
Хүснэгт 3. Морфометрийн хөндийн өргөн, өндрийн харьцаа (V_f)-ны шинжилгээ

Зүсэлт	V_{fw}	E_{rd}	E_{ld}	E_{sc}	V_f
A - A'	316 м	2114 м	2136 м	1893 м	1.36
B - B'	115.2 м	2152 м	2392 м	1703 м	0.20
C - C'	82.9 м	2142 м	2731 м	1674 м	0.11
D - D'	178.7 м	2089 м	2216 м	1638 м	0.35

V_f утга 1-ээс бага утгатай бол V хэлбэрийн тектоникийн идэвхитэй хөндий, 1-ээс их бол U хэлбэрийн тектоникийн идэвхи багатай хөндийг илэрхийлдэг. Нуурын хотгорын B - B', C - C', D - D' гипсометрийн зүсэлт хийсэн хэсгээр V_f утга 0.11-0.35 илэрхийлж байв. Энэ нь тектоникийн идэвхитэй бүс болохыг нотолж байна.

Гадаргын налуугийн шинжилгээгээр Хөх нуурын хагарлын дагуу нуурын хотгорын орчимд $44-68^\circ$ налууг үүсгэж байв. Энэ налуу нь шулуун структур гадаргад илэрч буй хагаралтай давхцаж байв. Рельефийн энергийн шинжилгээгээр хотгорын хувьд хамгийн их өндөр 3067 м, хамгийн бага өндөр 1924 м байв. Эндээс рельефийн энерги тооцож үзэхэд 1142 м байв. Энэ үзүүлэлт нь тектоникийн маш идэвхитэй бүс болохыг илэрхийлж байна. Морфометрийн ус хурах савын газрын морфологийн (B_s) шинжилгээгээр хотгорын хамгийн их урт 24 км, дундаж өргөн 10.3 км юм. Үүнээс B_s утга 2.33 зааж байгаа нь нарийхан, сунасан хэлбэртэй сав газар бөгөөд энэ нь тектоник идэвхжил ихтэй болохыг баталж байна

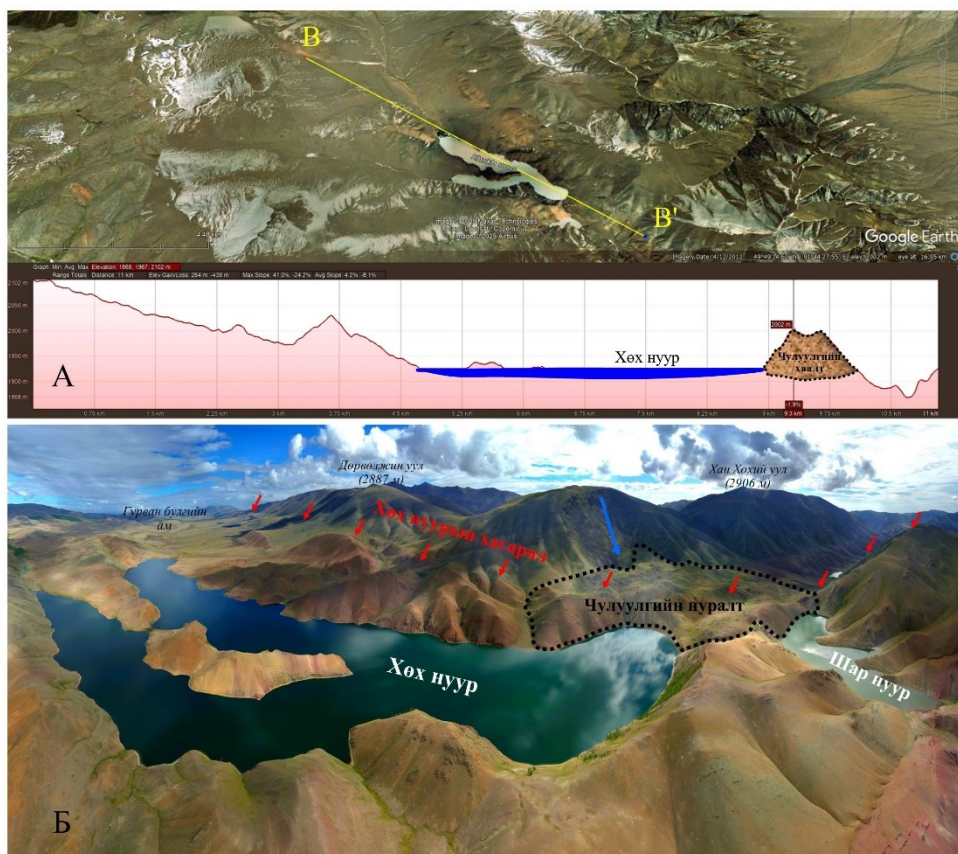
Уулын хажуугийн шинжилгээгээр (MFs) Хөх нуурын хагарлын дагуу бэлийн бодит урт 33.08 км, шулуун урт 32.92 км байв. Энэ үзүүлэлтийг тооцоолж үзвэл MFs ≈ 1.0 байгаа бөгөөд уулын бэл шулуун, тектоник идэвх өндөртэйг илтгэж байв (Зураг 4).



Зураг 4. Нуурын хотгорын байрлал ба морфометрийн тайлал

Морфометрийн шинжилгээний үр дүнд Хөх нуурын хотгор нь тектоникийн идэвхитэй бүсэд баруун хойноос зүүн урагш чигт үүссэн хэд хэдэн огшил, тохрол хагарлын нөлөөгөөр үүссэн тектоникийн хөндий болох нь тогтоогдов.

Уг хотгорт нуур тогтох дараагийн гол хүчин зүйл нь нуурын өмнө талд 78 м өндөр чулуулгийн нуралтаар хаагдаж уг хөндийд өнөөгийн нуур тогтсон байна (Зураг 5).



Зураг 5. А. Гипсометрийн зүсэлтээр илэрхийлэгдэх чулуулгийн хаагдал Б. Хөх нуурын хагарал ба нуралтын байдлыг харуулсан панорама зураглал (Зургийг Д.Батболд, 2024)

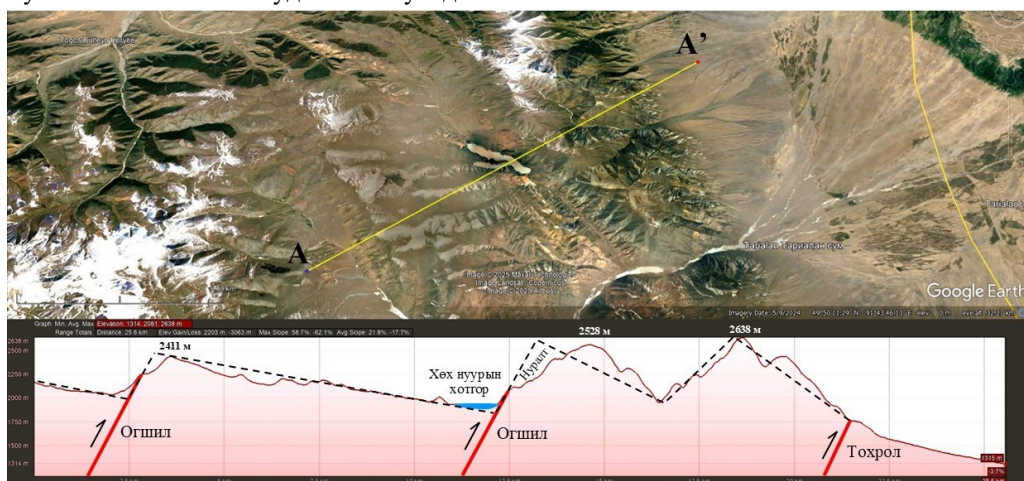
Хөх нуурын хотгорын зүүн өмнөд хэсэгт байрлах Дөрвөлжин уулын баруун хажуугийн дагуу томоохон чулуулгийн нуралт үүссэн байв. Нуралтын бүсийн дээд хэсэгт эх чулуулаг ил гарч, доод хэсэгтээ хуримтлал үүссэн хүчтэй газар хөдлөлтийн үйл явцын үр дүн болохыг илтгэнэ. Чулуулгийн нуралтын морфометрийн үзүүлэлтийг тооцож үзвэл талбай 1.77 км^2 , периметр 5.43 км^2 , дундаж урт 1.62 км , өргөн 1.36 км , зузаан 78 м байв. Эндээс шугаман бус биетийн эзэлхүүний дундаж тооцоогоор 0.069 км^3 чулуулаг хааж Хөх нуурыг үүсгэсэн байна. Монгол Алтайн нурууны хөгжлийн түүхэнд газар хөдлөлтөөс үүссэн нуруудын улмаас түр хугацаанд нуурууд үүссэн жишээ бий. Тодруулбал, Үүрэг нуурын орчимд ийм нуурыг тэмдэглэсэн байдаг (Emanov et al., 2012). Тэдгээр нуурын оршин тогтнох хугацаа нь тухайн нуралт үүссэн чулуулгийн бүтэц, далангийн тогтворжилт, элэгдэл, усны нөлөө зэргээс ихээхэн хамааралтай байдаг. Энэхүү чулуулгийн нуралт тектоникийн гаралтай хөндийг хааж, тектоник хагарлын зааг дээр байрлаж, голын урсцыг бүрэн хаасан байдалтай байна. Энэ нь тухайн газар нутагт нуур үүсэх нөхцөл болж, өнөөгийн Хөх нуур бүрэлдэн тогтоход гол нөлөө үзүүлжээ. Нуралтаас шалтгаалан голын голдирол хаагдаж хуримтлагдсан ус нь шаварлаг хурдсын үүсгэсэн байв. Тухайн нуур нь гадаргын жижиг гол, горхи, булгууд болон хур тунадасны усаар тэжээгддэг болох нь илэрхий байв. Цаашид уг нуурын хурдсын насны болон газар хөдлөлтийн цаг хугацааг тодорхойлох хурдсын шинжилгээний аргуудыг ашиглаж судалгааг илүү нарийвчлах шаардлагатай юм. Уг нуурын хотгор нь шинэ тектоник хөдөлгөөний нөлөөтэй болох нь тогтоогдож байгаа бөгөөд Монгол Алтайн бүс нутгийн идэвхтэй геодинамик орчныг илтгэх бодит жишээ болж байна.

Хөх нуурын хотгорын тектоник геоморфологийн энэхүү онцлог нь Монгол Алтайн идэвхтэй тектоникийн бүс нутаг дахь сүүлийн үеийн газрын гадаргын өөрчлөлт, нуурын

хотгорын үүсэл, хөгжлийн түүхийг тусгах чухал жишээ болж байна. Бидний хийсэн морфометрийн шинжилгээнүүд нь энэхүү хотгор нь уулархаг хэв шинжтэй, шахалтын тектоникийн орчинд үүссэн болохыг харуулж байна.

Энэ судалгааг Монгол Алтайн нурууны геологи, тектоник, геофизикийн судалгаануудтай (Tarroner, Molnar, 1979; Chunningam, 2005; Бямба, 2012; Bayasgalan et al., 2005; Khukhuudei et al., 2020; Khukhuudei et al., 2024) харьцуулан үзэхэд тектоникийн идэвхжил ба хагарлын илрэл өндөртэй бүс нутгийн онцлогыг дахин баталж байна. Тухайлбал, Хөх нуурын хотгорын зүүн талын уулархаг гадаргын эгц хажуу болон түүний дагуух налуугийн хэм хэмжээ нь идэвхтэй өргөгдөх хөдөлгөөний илрэл юм.

Хөх нуурын хотгорын ус хурах сав газрын хэлбэр, хэмжээ нь тектоникийн дээрх нөлөөллийн бүсэд оршиж буйг морфометрийн үзүүлэлтүүдээр батлагдаж байв. Энэ нь өмнөх судалгаанд (Cunningham, 2005; Khukhuudei et al., 2024) дурдагдсан баруун Монголын шахалтын бүс нутгийн тектоникийн судалгаатай уялдаж байна.



Зураг 6. Хагарлын төрлүүд ба Хөх нуурын хотгорын хамаарал

Монгол Алтайн нуруу нь зүүн хойт, хойд зүгт чиглэсэн шахалтын хүч давамгайлсан, олон параллель хагарлын тогтолцоотой, өндөр уулсын бүс бөгөөд тектоник идэвхжил нь зөвхөн блок өргөгдөл, голын сүлжээний гажилт бус, газар хөдлөлтөөс үүссэн хөдөлгөөн, нуурын хаалт үүсгэх нуралтууд зэргээр газарзүйн орчныг бүрэлдүүлж байна. Хөх нуурын хотгорт илэрсэн томоохон нуралтын биет нь бүс нутгийн тектоник газар хөдлөлтийн идэвхжилтэй салшгүй холбоотойг харуулж байна. Ийм хүчний үйлчлэлээр хоёр хагарлын хооронд орших хэсэг доош сууж, хотгор үүсжээ. Түүнчлэн, энэ төрлийн тектоник хотгорууд нь уулархаг бүсийн хооронд ихэвчлэн үүсдэг онцлогтой (Cunningham, 2005).

Энэ судалгаа нь Хөх нуурын хотгор нь зөвхөн геоморфологийн бус, бүс нутгийн тектоникийн талаарх ойлголтыг гүнзгийрүүлэхэд чухал үүрэгтэйг харуулж байна. Цаашдын өндөр нарийвчлалтай “GPS” болон сейсмийн өгөгдөлд тулгуурласан судалгаа нь хагарлын бүсүүдийн идэвхжил, хурдацыг илүү нарийвчлан тодорхойлох боломжийг олгох боломжтой.

Монгол Алтайн нуруу нь геологийн түүхийн явцад хавтангуудын харилцан үйлчлэл, шахалтын болон суултын тектоник хүчдэлд өртөж, огшил, тохрол бүхий хагарал давамгайлсан, блок бүтэцтэй тектоник орчин хөгжсөн онцлогтой юм. Хөх нуурын хотгор нь энэ зүй тогтлын нэгэн хэсэг бөгөөд тодорхой хагарлын зааг дээр орших байгалийн үзэсгэлэнт тогтоц бүхий нуур юм. Бүс нутгийн хагарлын зүй тогтол нь шахалтын тохрол, огшил бүхий хагарлуудын системээс бүрддэг (Cunningham et al., 2003; Ha et al., 2023). Ийм орчинд газар хөдлөлт гарах үед налуу хажуугийн чулуулгийн тогтворгүй байдал нэмэгдэж, геомеханик тэнцвэрийн задарлын улмаас гэнэтийн чулуулгийн нуралтууд үүсэх нөхцөл бүрддэг (Cunningham et al., 2003; Bayasgalan et al., 2005; Demberel et al., 2024). Энэхүү механизм Хөх нуурын хотгорт ч ажиглагдсан бөгөөд нуурын

үүсэл нь газар хөдлөлтийн үр дүнд бүрэлдсэн чулуулгийн нуралт, далангийн хаагдлаар ус хуримтлагдсан нь чухал онцлог шинж бөгөөд байгалийн аялал жуулчлалын гол түшиц газар болох боломжтой юм.

Хөх нуурын хотгорт хийсэн тектоник геоморфологийн шинжилгээгээр Монгол Алтайн нурууны хөгжлийн зүй тогтол, хагарлын бүтэц, идэвхжил бүхий бүсүүдийн илрэл, тэдгээрийн нуурын хотгорын хэв шинж, гарал үүсэл, морфологид үзүүлж буй нөлөөг нарийвчлан тодорхойллоо. Хотгорын байршил, хагарлын чиглэл, гадаргын налуужилт, чулуулгийн нуралтын үр дагавар нь шинэ тектоник хөдөлгөөнтэй уялдаатай бөгөөд энэ нь Монгол Алтайн нуруунд хагарлууд идэвхтэй байсаар байгааг илтгэнэ. Энэ судалгаа нь Монгол Алтайн тектоникийн геоморфологийн хөгжилд нөлөөлөх хүчин зүйлсийг ойлгоход хувь нэмэр оруулж, нуурын геоморфологийн судалгаанд чухал үүрэг гүйцэтгэх боломжтой юм.

Дүгнэлт

Энэхүү судалгаа нь Монгол Алтайн Хөх нуурын хотгорын үүсэл, хөгжлийг тектоник геоморфологийн үүднээс нарийвчлан судалсан үр дүн юм. Морфометрийн шинжилгээний тооцоогоор тус хотгор нь баруун хойноос зүүн урагш чиглэсэн хагарлын дагуу, уулархаг бүс нутгийн шахалтын тектоник орчинд тохрол, огшил хагарлын үр дүнд бүрэлдсэн болохыг харуулж байна.

Судалгааны талбайд хийсэн морфометрийн шинжилгээгээр (HI) 0.80%, Vf утга 0.11-0.35, гадаргын налуу 44-68°, рельефийн энерги 1142 м, Bs утга 2.33, MFs утга 1.0 зааж байгаа нь баруун хойноос зүүн урагш нарийхан, сунасан хэлбэртэй тектоникийн идэвхитэй бүсэд нуур тогтсон болохыг нотолж байв. Шугаман бус биетийн эзэлхүүний дундаж тооцоогоор 0.069 км³ чулуулаг хааж Хөх нуурыг үүсгэсэн байна. Морфометрийн шинжилгээнүүд нь Хөх нуур тогтсон нь бүс нутгийн шинэ тектоник идэвхжил үргэлжилж буйг баталж байна. Нуурын хэлбэр, хотгорын сунасан бүтэц, нууруудын цуваа байрлал нь хагарлын бүтэц, заагтай шууд уялдаатай байв.

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд Хөх нуурын хотгор нь зөвхөн уур амьсгал, элэгдлийн үйлчлэл бус, харин идэвхтэй тектоник хөдөлгөөний үр дүнд бүрэлдсэн болох нь тодорхой байна. Энэхүү судалгаа нь Монгол Алтайн бүс нутгийн тектоник сэргэлт, хагарлын бүтцийн тухай ойлголтыг гүнзгийрүүлэхийн зэрэгцээ, цаашдын сейсмологи, хурдсын шинжилгээнд суурилсан судалгаанд чухал суурь болох ач холбогдолтой юм.

Иймээс цаашид тус бүс нутгийн нууруудын хотгорын гарал үүсэл, морфологи, хурдас хуримтлалын зүй тогтолд нөлөөлж буй тектоник идэвхжил, хагарлын динамик, деформацийн хурд зэргийг “GPS”-ийн өгөгдөл, сейсмологийн болон геофизикийн нарийвчилсан судалгаагаар гүнзгийрүүлэн судлах шаардлагатай юм.

Талархал

Энэхүү судалгааг (P2024-4824) бүртгэлийн дугаартай “Монгол Алтайн Уулархаг нутгийн нууруудын хотгорын тектоник геоморфологийн судалгаа” сэдэвт МУИС-ийн Өндөр түвшний судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв. Судалгааны ажлыг хянан магадлагаа хийсэн судлаач нарт талархал илэрхийлье.

Ном зүй

1. Алтанболд, Э., & Уламбадрах, Х. (2022). *Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи*. Улаанбаатар, МУИС Пресс.
2. Болд, Я. (1987). *Геоморфологийн Үндэс ба судалгаа*. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 94-97.
3. Бямба, Ж. (2012). *Геотектоник*. Улаанбаатар, Соёмбо принтинг.

4. Доржготов, Д. (ред). (2022). *Монгол орны агаарын температур, хур тунадасны 1: 5 000 000 масштабын зураг, Нийлбэр ууршилтын 1: 10 000 000 масштабын зураг*, Монгол Улсын Үндэсний атлас, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Улаанбаатар хот, 98-99, 104-105, 113-114
5. Философов, В.П., (1967). Значение карты потенциальной энергии рельефа для геоморфологических и неотектонических исследований. *Методы геоморфологич. исслед.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, pp.193-198.
6. Цэрэнсодном, Ж. (2000). *Монгол орны нуурын каталог (цэс)*, Улаанбаатар хот, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр
7. Эрдэнэчимэг, Д., Болдбаатар, Г., Энхбаяр, Б., Дамдинжав, Б., Тайванбаатар, Ц., Оюунгэрэл, Н. (2018). *Монгол улсын геологийн 1: 500 0000 зураг*, Геологийн судалгааны төв (ТӨҮГ), Геомэдээллийн сан-2013 төсөл
8. Anand, A. K., & Pradhan, S. P. (2019). Assessment of active tectonics from geomorphic indices and morphometric parameters in part of Ganga basin. *Journal of Mountain Science*, 16(8), 1943-1961.
9. Bayasgalan, A., Jackson, J., Ritz, J. F., & Carretier, S. (2005). Field examples of strike-slip fault termination in Mongolia and their tectonic significance. *Tectonics*, 24(3).
10. Bucknam, R. C., & Anderson, R. E. (1979). Estimation of fault-scarp ages from a scarp-height-slope-angle relationship. *Geology*, 7(1), 11-14.
11. Bull, W. B., & McFadden, L. D. (1977). *Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California*. In D. O. Doehring (Ed.), *Geomorphology in arid regions*. Binghamton Symposia in Geomorphology, 115-138.
12. Cunningham, D. (2005). Active intracontinental transpressional mountain building in the Mongolian Altai: Defining a new class of orogen. *Earth and Planetary Science Letters*, 240(2), 436-444.
13. Cunningham, D., Dijkstra, A., Howard, J., Quarles, A., & Badarch, G. (2003). Active intraplate strike-slip faulting and transpressional uplift in the Mongolian Altai.
14. Daxberger, H., Dalumpines, R., Scott, D. M., & Riller, U. (2014). The ValleyMorph Tool: An automated extraction tool for transverse topographic symmetry (T-) factor and valley width to valley height (Vf-) ratio. *Computers & Geosciences*, 70, 154-163.
15. Demberel, O., Dash, C., Dugersuren, B., Bayarmaa, M., Seong, Y. B., Chakraborty, E., ... & Ganhuyag, N. (2024). Flooding (or breaching) of inter-connected proglacial lakes by cascading overflow in the arid region of Western Mongolia (Mt. Tsambagarav, Mongolian Altai). *Journal of Mountain Science*, 21(10), 3215-3233.
16. El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernandez, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1-2), 150-173.
17. Emanov, A. F., Emanov, A. A., Leskova, E. V., Kolesnikov, Y. I., Yankaitis, V. V., & Filina, A. G. (2012). The Ms= 7.0 Uureg Nuur earthquake of 15.05. 1970 (Mongolian Altai): the aftershock process and current seismicity in the epicentral area. *Russian geology and geophysics*, 53(10), 1090-1099.
18. 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.
19. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., & Gerelmaa, T. (2022b). 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.

20. Enkhbold, A., Dorjsuren, B., Khukhuudei, U., Yadamsuren, G., Bardarch, D., Dorjgochoo, S., ... & Gedefaw, M. (2022c). Impact of faults on the origin of lake depressions: a case study of Bayan Nuur depression, North-west Mongolia, Central Asia. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 44(1), 53-66.
21. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Seong, Y. B., Gonchigjav, Y., Dingjun, L., & Ganbold, B. (2024). Geomorphological study of the origin of Mongolian Altai Mountains Lake depressions: implications for the relationships between tectonic and glacial processes. *Mongolian Geoscientist*, 29(58), 1-18.
22. Ezati, M., Gholami, E., & Mousavi, S. M. (2021). Tectonic activity level evaluation using geomorphic indices in the Shekarab Mountains, Eastern Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-16.
23. Ganas, A., Pavlides, S., & Karastathis, V. (2005). DEM-based morphometry of range-front escarpments in Attica, central Greece, and its relation to fault slip rates. *Geomorphology*, 65(3-4), 301-319.
24. Gillespie, A. R., Burke, R. M., & Lajoie, K. R. (2008). Glaciations of the Altai, Mongolia and China. *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology*, Vol. 3.
25. Ha, S., Seong, Y. B., & Son, M. (2023). Tectonic geomorphology and Quaternary fault slip rates in the Tsambagarav Massif, Mongolian Altai. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(7), 1428-1449.
26. Hassen, M. B., Deffontaines, B., & Turki, M. M. (2014). Recent tectonic activity of the Gafsa fault through morphometric analysis: Southern Atlas of Tunisia. *Quaternary International*, 338, 99-112.
27. Hooper, D. M., Bursik, M. I., & Webb, F. H. (2003). Application of high-resolution, interferometric DEMs to geomorphic studies of fault scarps, Fish Lake Valley, Nevada–California, USA. *Remote Sensing of Environment*, 84(2), 255-267.
28. Hutchinson, G. E. (1957). *A Treatise on Limnology. Volume 1: Geography, Physics, and Chemistry*. John Wiley & Sons.
29. Jacques, P. D., Salvador, E. D., Machado, R., Grohmann, C. H., & Nummer, A. R. (2014). Application of morphometry in neotectonic studies at the eastern edge of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Geomorphology*, 213, 13-23.
30. Kalff, J. (2002). *Limnology: inland water ecosystems* (Vol. 592). New Jersey: Prentice Hall.
31. Khukhuudei, U., Kusky, T., Otgonbayar, O., & Wang, L. (2020). The early palaeozoic mega-thrusting of the gondwana-derived altay–lake zone in Western Mongolia: Implications for the development of the central asian orogenic belt and paleo-asian ocean evolution. *Geological Journal*, 55(3), 2129-2149.
32. Khukhuudei, U., Kusky, T., Windley, B. F., Otgonbayar, O., Wang, L., Nie, J., ... & Song, X. (2024). Cenozoic intracontinental tectonics of Mongolia and its climate effects: A synthesized review. *Earth-Science Reviews*, 104934.
33. Klinge, M., Schluetz, F., Zander, A., Huelle, D., Batkhishig, O., & Lehmkuhl, F. (2021). Late Pleistocene Lake level, glaciation and climate change in the Mongolian Altai deduced from sedimentological and palynological archives. *Quaternary Research*, 99, 168-189.
34. Lehmkuhl, F., Klinge, M., & Stauch, G. (2004). The extent of Late Pleistocene glaciations in the Altai and Khangai Mountains. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 2, pp. 243-254). Elsevier.
35. Lehmkuhl, F., Klinge, M., Rother, H., & Hülle, D. (2016). Distribution and timing of Holocene and late Pleistocene glacier fluctuations in western Mongolia. *Annals of Glaciology*, 57(71), 169-178.
36. Lehner, B., & Döll, P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1–22.

37. Luirei, K., Bhakuni, S. S., & Kothiyari, G. C. (2018). Geomorphologic study of the valley floor in different tectonic segments along Kosi River valley between South Almora Thrust and Himalayan Frontal Thrust: Kumaun Himalaya, India. *Geological Journal*, 53(4), 1500-1515.
38. Onorato, M. R., Coronato, A., Perucca, L. P., Rabassa, J., & López, R. (2017). Morpho-bathymetry and surficial morphology of Udaeta Lake, along the Magallanes-Fagnano fault system, Tierra del Fuego, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 76, 1-10.
39. Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M., Booth-Rea, G., Azor, A., & Delgado, J. (2009). Differentiating geology and tectonics using a spatial autocorrelation technique for the hypsometric integral. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 114(F2).
40. Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82(4), 1079-1084.
41. Pötsch, S. (2016). *Dynamics and paleo-climatic forcing of late Pleistocene glaciers in the Torgen and Khangai mountains (Mongolia) reconstructed from geomorphology, 10Be surface exposure dating, and ice flow modeling* (Doctoral dissertation).
42. Ramzan, U., Fan, H., Aeman, H., Ali, M., & AA Al-qaness, M. (2022). Combined analysis of PS-InSAR and hypsometry integral (HI) for comparing seismic vulnerability and assessment of various regions of Pakistan. *Scientific Reports*, 12(1), 22423.
43. Różycka, M., Jancewicz, K., Migoń, P., & Szymanowski, M. (2021). Tectonic versus rock-controlled mountain fronts—Geomorphometric and geostatistical approach (Sowie Mts., Central Europe). *Geomorphology*, 373, 107485. In D. O. Doehring (Ed.), *Geomorphology in arid regions*. Binghamton Symposia in Geomorphology, 115–138.
44. Shekar, P. R., & Mathew, A. (2022). Erosion susceptibility mapping based on hypsometric analysis using remote sensing and geographical information system techniques. In *River Dynamics and flood hazards: Studies on risk and mitigation* (pp. 483-494). Singapore: Springer Nature Singapore.
45. Silva, P. G., Goy, J. L., Zazo, C., & Bardaji, T. (2003). Fault-generated Mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. *Geomorphology*, 50(1-3), 203-225.
46. Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological society of America bulletin*, 63(11), 1117-1142.
47. Taponnier, P., & Molnar, P. (1979). Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia, and Baykal regions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 84(B7), 3425-3459.
48. Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A., & Tranvik, L. J. (2014). A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery. *Geophysical Research Letters*, 41(18), 6396–6402.
49. Vijith, H., Prasannakumar, V., Sharath Mohan, M. A., Ninu Krishnan, M. V., & Pratheesh, P. (2017). River and basin morphometric indexes to detect tectonic activity: a case study of selected river basins in the South Indian Granulite Terrain (SIGT). *Physical Geography*, 38(4), 360-378.
50. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
51. 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.