

СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

НУУРЫН ХОТГОРЫН ГАРАЛ ҮҮСЭЛ БА ХАГАРЛЫН ХАМААРАЛ: БАРУУН МОНГОЛЫН ЗАРИМ НУУРУУДЫН ЖИШЭЭН ДЭЭР

Э.Алтанболд¹ | Х.Уламбадрах^{2*} | Д.Даш³ | Б.Даариймаа² | Ц. Баатарчулуун² | Я.Гансүх¹

¹ МУИС, ШУС, Газарзүйн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

² МУИС, ШУС, Геологи, Геофизикийн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

³ МУБИС, МБУС, Газарзүйн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

Abstract

Хүлээн авсан: 2020.10.08

Засварлагдсан: 2021.05.03

Зөвшөөрөгдсөн: 2021.05.01

Түлхүүр үг: Баруун Монгол, Нуурын хотгор, Морфометрийн шинжилгээ, Хагарал

Харилцах зохиогч: Х.Уламбадрах
МУИС, ШУС, Газарзүйн тэнхим,
Улаанбаатар, Монгол улс
Имэйл: ulambadrakh@num.edu.mn

The appearances of the lake depression, area of the lakes, and its geographical location have changed over time due to some influences. Lake depressions are an intracontinental basins formed by endogenous or exogenous processes. An area and volume of lake depression may have changed by dynamic processes, if depression is exogenic in origin. Some lake depressions are related with faults. Faults in Mongolia have been well studied, but study of lake depressions along faults and development is poorly. This study presents a results on the lakes along faults and their development, including the Bayan Lakes in the Uvs and Zavkhan provinces, respectively, and Ulaagchiny Khar Lake. We highlight that we revealed to make a new genetic classification of lakes in the western Mongolia and to identify a changes of water regime, and of lake area and volume, based on study results.

1. ОРШИЛ

Нуурын хотгорын гарал үүслийг судлах нь шинжлэх ухааны болон практикийн чухал ач холбогдолтой. Тухайн нуурын байгалийн нөхцөл, нөөцийн чадавх нь нуурын хотгорын гарал үүсэл, хотгорын үндсэн хэв шинжтэй нягт хамааралтай юм. Нуурын хотгорын гарал үүслийн хэв шинж нь дэлхийн дотоод ба гадаад хүчин зүйлсийн хавсарсан нөлөөнд өнөөгийн дүр төрх морфологийг олсон байдаг (Mats, 1993; Shamir, 2006).

Монгол орны уулс хоорондын томоохон хотгоруудыг дагасан нуурын систем зонхилон нутгийн баруун хагаст байна (Цэгмид, 1969; Цэрэнсодном, 1971; Grunert et al., 2000; Shinneman et al., 2009; Enkhbold et al., 2021). Монгол орны нууруудын хотгорын гарал үүслийн хэв шинжийг тектоникийн, галт уулын, мөсөн

голын, цөмрөлийн, нуралт-хаагдлын хотгор, эолын, голын хөндийн голдирлын өөрчлөлтөөс үүссэн хотгорт тогтсон нуур (Цэрэнсодном, 1971, 2000) гэж ангилж ирсэн байна.

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд хагаралтай холбоотой судалгааны ажлууд нэлээд сайн хийгдсэн (Геология МНР, 1973; Bayasgalan et al., 1999; Lamb et al., 1999; Carretier et al., 2002; Cunningham et al., 2003a; Cunningham et al., 2003b; Cunningham, 2005; Walker et al., 2007; Бямба, 2009; Cunningham, 2013) байдаг бол нуурын хотгорын морфологийн хэв шинжид геологийн хагарал хэрхэн нөлөөлж буйг одоогоор хөндөж судлаагүй байна. Судалгааны өнөөгийн түвшинд баруун Монголын зарим нууруудын хотгорын гарал үүслийн үндсэн хэв шинж нь тодорхой бус таамаглал төдий, ташаа байгаа нь бидний судалгааны үр дүнгүүдээр

нотлогдож байгаа болно. Энэ судалгаанд баруун Монголын Увс нуурын хотгорт байрлах Увсын Баян нуур, Их Нууруудын хотгорын зүүн хэсэгт байрлах Завханы Баян нуур, Улаагчины Хар нуурын хотгорын гарал үүслийн хэв шинжид хагарал хэрхэн тусгалаа олж хотгорын хэв шинжид нөлөөлсөн болохыг тодруулахыг зорилоо. Өмнөх судлаачдын материалуудыг нэгтгэж үзэхэд дээрх нууруудын хотгорын гарал үүслийг Эолын гаралтай хотгорт тогтсон (Цэрэнсодном 1971, 2000; Баасан, 2003) гэж тайлбарлаж иржээ. Судалгаагаар нууруудын хотгорын гарал үүсэл өөр болох нь батлагдаж байгаа ба цаашид Монгол орны нууруудын хотгорын гарал үүслийн морфологийн хэв шинжийг шинэчлэн тогтоох шаардлага тулгарч байна.

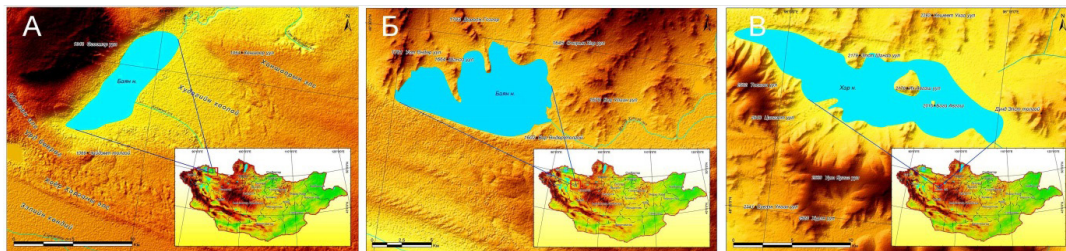
2. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

Увсын Баян нуур нь Бөөрөг Дэлийн элсний төвд Увс аймгийн Зүүнговь сумаас зүүн хойш 10 км зайд (92025' E, 49014' N) д.т.дээш 929 м өндөрт орших цэнгэг нуур нь 31.6 км² талбайтай, 11.9 км урт, 3,9 км өргөн, эргийн шугамын урт 28,7 км, усны хамгийн гүн 29,2 м, эзлэхүүн 0,36 км³ (Naumman and Walther, 2000; Цэрэнсодном, 2000; Walther, 2010). Цэнгэг устай уг нуурт Хустын гол болон олон жижиг булгууд зүүн өмнөд талаас цутгаж Хойд гол хойшоо чиглэлд гадагш урсан гарна. Геологийн тогтоцын хувьд ордовик-доод силүрийн настай вулканоген-ба тунамал вулканоген бүрдлүүд нуурын эх чулуулгийг бүрдүүлдэг (Yarmolyuk et al., 2017) бөгөөд дөрөвдөгчийн болон голоцены настай элсэн манхнаар нуурын эргэн тойрон бүхэлдээ хүрээлэгдсэн байна

(Зураг 1А).

Баян нуур нь Бор хярын элсний хойд талд хил залган оршино. Завхан аймгийн Сантмаргац сумаас баруун урагш 27 км, Завханмандал сумын төвөөс хойш 12 км зайд (48°29'49" N, 94°59'40" E) д.т.дээш 1491 м өндөрт орших цэнгэг нуур нь 64,2 км² талбайтай, 14,0 км урт, 8,3 км өргөн, эргийн шугамын урт 59,0 км, усны хамгийн гүн 50 м, эзлэхүүн 1,39 км³ (Цэрэнсодном, 2000; Klein, 2001; Enkhbold et al., 2021). Баян нуурт Мухар Хүнгүйн гол зүүн талаас нь цутгах боловч гадагш урсгалгүй. Геологийн тогтоцын хувьд нуурын урд хэсэг девоны настай гранитоид дээр дөрөвдөгчийн болон голоцены настай зоо манхан үүссэн, нуурын хойд хэсэг кембрийн өмнөх настай габброид бүрдлүүд түрсэн (Kozakov et al., 2013, Kovach et al., 2013) үлдэгдэл уулсаар хүрээлэгдсэн байна (Зураг 1Б).

Улаагчины Хар нуур нь Бор хярын элсний төгсгөлд Завхан аймгийн Эрдэнэхайрхан сумаас хойш 80 км зайд (ХӨ 480 20' 34", ЗУ 960 06' 46") д.т. дээш 1980 метрийн өндөрт орших 84,5 км² талбайтай, цэнгэг устай, баруунаас зүүн тийш сунаж тогтсон 23,9 км урт, нуурын дундаж өргөн 3,5 км, эргийн шугамын урт 64,7 км, усны хамгийн гүн баруун хэсэгтээ 47 метр, зүүн хэсэгтээ 30 орчим метр, усны эзлэхүүн 1, 65 км³ (Цэрэнсодном, 2000) байна. Нуурт Улаагчины гол зүүн талаас нь цутгадаг, гадагш урсгалгүй. Геологийн тогтоцын хувьд нуурын урд хэсэг неопротерозойн настай габброидын бүрдэл, нуурын хойд хэсэг девоны настай гранитоид (Kovach et al., 2013) дээр дөрөвдөгчийн болон голоцены настай эолын гаралтай элсэн зоо манхнаар хүрээлэгдсэн (Зураг 1В).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил А. Увсын Баян нуур Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур В. Улаагчины Хар нуур

3. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГАЗҮЙ

Судалгааны талбай орчмын 1:100 000 масштабын топографийн зургууд, нууруудын батиметрийн зураглал (Цэрэнсодном, 1971; Sevastyanov, 1994; Naumman and Walther, 2000), Landsat OLI (30 m) хиймэл дагуулын зургууд, Геофизикийн соронзон орны гажлын босоо болон хэвтээ чиглэлийн градиентийн 1:500 000 масштабын зургууд, Нууруудын хотгор орчмын геологийн 1:200 000 масштабын зураглалын материалуудыг ашиглав. Судалгаанд морфометрийн шинжилгээ, Зайнаас Тандан Судлалын орон зайн сайжруулалтын арга, Геофизикийн соронзон орны зураглалын аргуудыг ашиглан хээрийн судалгаагаар морфометрийн хэмжилт хийж тооцсон үр дүнгээ Arc GIS, ENVI 5.3 болон компьютерийн бусад программ хангамжуудыг ашиглан нуурын хотгорт нөлөөлөгч хагарлуудад тайлал хийж судалгааны үр дүнгээ гаргасан.

Морфометрийн шинжилгээний арга:

Нуурын хотгорт морфометрийн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлох нь нилээд төвөгтэй боловч чухал асуудлын нэг юм. Үүнд гарах хүндрэл нь ихэнх тохиолдолд тэдгээр нь залуу сэвсгэр хурдсаар хучигдсан байх явдал бөгөөд үүгээр авч үзвэл дарагдмал гадаргын хэлбэр илрүүлэх судалгаа болох боломжтой (Karatas and Boulton, 2019). Гэвч тодорхой хэмжээгээр гадаргад нөлөө үзүүлсэн байх шалгуурыг нарийвчлан шинжилж хагарлыг

тодорхойлох шалгуур үзүүлэлт бий болгох нь зүйд нийшнэ. Тухайн хотгорын морфометрийн үзүүлэлтүүд түүнд илэрч буй аномаль шинж тэмдгүүд, тэдгээрийн орон зайн байрлалын зүй тогтол, бусад нэгэн төрлийн гадаргаас ялгагдах онцлогууд нь хагарал байх магадлалыг нэмэгдүүлдэг зүй тогтолтой. Энэхүү арга нь хэд хэдэн шинжилгээг хийдгээрээ бусад судалгааны аргуудаас онцлог юм. Бид энэ судалгаанд морфометрийн шинжилгээнд багтах топографийн шинжилгээ ашиглав.

Топографийн зургийн шинжилгээ: Рельефийн морфометрийн судалгааг топографийн зурагт нарийн хэмжилт, шинжилгээ хийж болдог (Философов, 1967; Болд, 1987). Рельефийн тасралтат эвдрэл буюу хагарал, хэвтээ ба босоо хэрчигдэл, хэрчигдлийн идэвхийн зэрэг, зүсэлтийн деформаци зэрэг морфометр үзүүлэлтээр неотектоник хөдөлгөөнийг илрүүлж болдог. Морфометрийн судалгааны аргууд дотроос неотектоник хөдөлгөөнийг илрүүлэх зорилготой Философовын (1967) боловсруулсан аргаар топографийн зурагт шинжилгээ хийж гадаргын гарал үүсэл, рельефийн хэлбэрүүдэд тайлал хийдэг арга юм.

Топографийн зурагт хагарлуудыг буулгахдаа геологи, геоморфологи, геофизикийн олон чиглэлийн судалгаагаар практик дээр нотлогдсон шууд ба шууд бус шинж тэмдэг бүхий шалгуурыг ашигладаг (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Нуурын хотгорын топографийн зурагт морфометрийн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлох шалгуур үзүүлэлт

№	Шалгуур үзүүлэлт	Тодорхойлолт (Нийцэл +, Үл нийцэл -)	Тайлбар
1	Топографийн зургийн хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн эсэх	+	Судалгааны талбайн топо зурагт морфометрийн шинжилгээгээр хагарал тодорхойлоход үндсэн 10 шалгуур үзүүлэлтийг авч нийцэх, үл нийцэх байдлаар нь тэмдэглэнэ. (Философов, 1967; Болд, 1987; Florinsky, 1996 нарын материалд тулгуурлан Э.Алтанболд боловсруулав)
2	Топографийн зургийн хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан эсэх	+	
3	Топографийн 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 структурыг үүсгэсэн эсэх	+	
5	Топографийн зурагт нуурт цутгаж буй голын голдирол огцом тохойрч гажилт үүссэн эсэх	+	
6	Нуурын батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг структурыг 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 структур 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	Топографийн зурагт цуваа хэлбэрээр нуурууд нэг шулууныг дагаж байрласан эсэх	+	

Орон зайн сайжруулалтын арга: Дэлхийн гадаргууг сансрын орон зайн өгөгдөлд тулгуурлан судална. Сансраас авсан төрөл бүрийн зургуудад тайлал хийж рельеф үүсгэгч процессуудын талаар илүү нарийвчилсан үр дүнгүүдийг гарган авч болдог. Энэ арга нь орчин үед их дэвшилттэй бөгөөд судалгааг хямд төсөр болгож цаг хугацааг хэмнэдэг арга юм (Cantu, 2014). Сансраас авсан төрөл бүрийн зургуудад геоморфологийн тайлал хийх замаар буюу гадаргын өнгийн ялгарал дээр тулгуурлан тайлал хийдэг арга юм (Launay and Guerif, 2005). Хиймэл дагуулаас авсан дэлхийн гадаргын тодорхой хэсгийн тоон мэдээлэл түүний дотор сансрын зургийг ашиглан хийх геологийн тайлал нь түүний дээр дүрслэгдсэн геоморфологийн хэлбэрийг үндэслэн тэдгээрийн тайлагдаж болох бүхий л шалгууруудаар тодруулан тэдгээрийн үр дүнг нэгтгэн дүгнэх арга

дээр тулгуурлана (Nixon and Aguad, 2019). Энэ арга нь гадаргад илрэх янз бүрийн хэлбэрүүдэд тайлал хийдгээрээ онцлог юм. Энэ судалгаанд гадаргад илрэх хагарлуудыг тодорхойлж тайлал хийв. Орон зайн сайжруулалтын аргаар гадаргад илэрч буй тектоникийн хагарлыг илрүүлэхэд төрөл бүрийн сансрын эх зурагт дараах тэгшитгэлийн дагуу тооцоо хийж үр дүнгээ гарган авна. Орон зайн сайжруулалтын аргын тэгшитгэл нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно. Үүнд:

$$G_k = /G_x / + /G_y / \quad (1)$$

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

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

Энд (j, k) нь сансрын зураг дээрх пиксел бүр F_{jk} -ийн нарийвчилсан утгууд болно. Энэ нь дараах матрицын маскуудыг ашиглан зурагт буулгах замаар тодорхойлдог.

$$Y\ mask = \begin{matrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{matrix} X\ mask = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \quad (4)$$

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 (Jensen 1996, Амарсайхан ба Ганзориг, 2010; Gilvear and Bryant, 2016). Энэ аргаар хоёр төрлийн чиглэлт шүүлтүүрийг ашиглаж судалгааны үр дүнгээ тооцож болно.

Чиглэлт шүүлтүүр 1: Анхны үүсмэл хязгаарыг сайжруулдаг функц бөгөөд тухайн зургийн бүрдэл хэсгүүдийг тодорхой нэг чиглэлийн дагуу тодруулан сайжруулдаг байна. Чиглэлт шүүлтүүрийн кернелийн элементүүдийн нийлбэр тэгтэй тэнцүү байна. Үр дүнд нь шинээр гарч буй зургийн жигд утга бүхий пикселүүд нь тэг байх бөгөөд тодорхой чиглэлээр илэрч буй элемент нь хурц, тод утгатай хувьсагч болно.

Чиглэлт шүүлтүүр 2: Чиглэлт шүүлтүүр гэдэг нь зах ирмэгийг тодруулагч бөгөөд зургийн анхны үүсмэлийг тооцоолох замаар ашигладаг. Анхны үүсмэл нь зэргэлдээ пикселүүдийн хооронд том ялгаа үүсгэх бөгөөд энэ нь сансрын боловсруулсан зураг дээр маш тодорхой ялгарна. Хиймэл дагуулын янз бүрийн нарийвчлалтай сансрын зураг ашиглан ENVI 5.3 зайнаас тандан судлалын программ хангамж дээр Convolution and Morphology цэсний Directional filter командаар нуурын хотгорын хагарлыг тодруулан зураглаж гаргасан. Шүүлтүүрийн аргын ач холбогдол нь давтамжаар ялгарах бүсүүдийг ялгахад орших бөгөөд энэ нь хагарлыг тодруулахад

оршино. Энэ аргаар ихэвчлэн тектоникийн үйл явцаар илэрч буй гадаргын хэлбэрүүдэд тайлал хийхэд чиглэгдэнэ.

Геофизикийн соронзон орны зураглалын

арга: Соронзон орны гажлын зургийг геологийн хагарал, хилийг нарийвчлан тогтоох ажилд өргөн ашигладаг (Boyce et al., 2020; Salem et al., 2008). Соронзон орны судалгаагаар тектоник хагарал, ан цавуудыг тогтоох, тэдгээрийн чиглэл, урт, хагарлын гүнийг тодорхойлоход чиглэнэ (Бямба, 2012). Соронзон орны тоон өгөгдөл нь янз бүрийн чулуулгийн литологи хоорондын ялгаа, хагарлын бүс зэрэг геологийн шинж чанарыг илрүүлэхэд чухал мэдээлэл болдог.

Аливаа геосоронзон орны тоон өгөгдөл нь газар доорх бүх эх үүсвэрийн үүсгэсэн соронзон орны нийлбэр юм. Өөрөөр хэлбэл, геосоронзон орны гажил бол царцдасын янз бүрийн гүнд байх эх үүсвэрээс шалтгаалах өөр өөр далайц ба давтамжийн гармоникийн нийлбэр гэж тодорхойлж болно (Studiver et al., 2003). Иймд гажил үүсгэгчийн гүн болох уналын чиглэл зэрэг хагарлын параметрийг спектрал анализын аргаар тооцоолж болно (Salem et al., 2008). Өөрөөр хэлбэл геосоронзон гажлын тоон мэдээлэлд математик аппаратуудыг ашиглан гүний ялгаатай түвшнээс ирж буй мэдээллээр хагарлын параметрийг тодорхойлох боломжтой юм. Геосоронзон гажлын хэвтээ ба босоо чиглэлийн уламжлал, мөн хэвтээ чиглэлийн нийлбэр уламжлал болох аналитик сигналын утгыг хагарлыг илрүүлэхэд ашигладаг (Phillips, 2000). Хэрэв $f(r)$ нь орон зай ба цаг хугацаанаас хамаарсан потенциал орон бол түүний долгион тоо ба давтамжийн функцэд хувиргаж тасралттай функцээр төлөөлүүлэх Фурье хувиргалт нь $F(k)$ дараах хэлбэрээр тодорхойлогдоно.

$$F(k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} f(r) e^{ikr} d^3r \quad (5)$$

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

$$\frac{\partial f(r)}{\partial x} = \int_{-\infty}^{\infty} ikF(k) e^{-ikr} d^3k \quad (6)$$

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

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial f(r)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(r)}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(r)}{\partial z}\right)^2} \quad (7)$$

4. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

Нуурын хотгоруудын хагарлын тайлал:

Судалгааны талбайд илрэх нуурын хотгор орчмын газрын гадаргад илэрч буй хагарлын шинж тэмдгүүд нь топографийн шинжилгээгээр нарийн тодорхойлогдож болохоор байна. Рельефийн хаяалбарт хэрчилтийн өндрүүд өөрөөр хэлбэл босоо шугамын дагуух хаяалбар хоорондын

өндөрт гажилт үүссэн эсвэл шугаман структурыг зааж байвал эндоген үйл явцаар бий болсон хагарлыг илтгэдэг зүй тогтолтой (Yang et al., 2015). Топографийн зурагт хаяалбар хоорондын зай богино, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн рельеф нь хагарлын дагуу үүссэн байдаг (Болд, 1987). Судалгаанд хамрагдаж буй нууруудын хотгорын морфологид хагарал нөлөө үзүүлсэн эсэхийг хагарал илрүүлэх геоморфологийн топографийн шинжилгээний аргаар тайлал хийж үзэв. Судалгааны талбайд топографийн шинжилгээний шалгуур үзүүлэлтүүдийг тулган тайлал хийж үзэхэд дараах байдалтай байна (Хүснэгт 1).

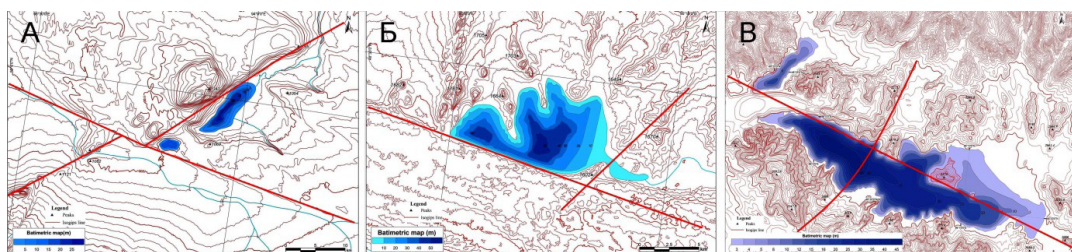
Хүснэгт 2. Судалгааны талбайд хийсэн топографийн зургийн шинжилгээний үр дүн

№	Шалгуур үзүүлэлт	А. Увсын Баян нуур	Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур	В. Улаагчины Хар нуур
		Тодорхойлолт (Нийцэл +, Үл нийцэл -)		
1	Топографийн зургийн хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн эсэх	+	+	+
2	Топографийн зургийн хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан эсэх	+	+	+
3	Топографийн 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 структурыг үүсгэсэн эсэх	-	-	+
5	Топографийн зурагт нуурт цутгаж буй болон хотгор орчимд урсаж буй голын голдирол огцом тохойрч гажилт үүссэн эсэх	+	-	-
6	Нуурын батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг структурыг 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 структур 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	Топографийн зурагт цуваа хэлбэрээр нуурууд нэг шулууныг дагаж байрласан эсэх	+	-	-
11	Топографийн шинжилгээний нийцэл	7	6	8

Топографийн шинжилгээний шалгуур үзүүлэлтийн нийцлээс үзэхэд Увсын Баян нуурт 7, Завханы Баян (Хүнгүйн Хар) нуурт 6, Улаагчины Хар нуурт 8 шалгуур

үзүүлэлтээр хагарлын шинж тэмдэг нь тохирч байна. Энэ үзүүлэлт тухайн хотгорт 61-80 хувийн таарцтай хагарлын шинж тэмдэг илэрч байв.



Зураг 2. Судалгааны талбайн топографийн шинжилгээ ба хагарлын холбоо А. Увсын Баян нуур Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур В. Улаагчины Хар нуур

Тодруулбал Увсын Баян нуурын хотгорт хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг нуурын баруун талд үүссэн, Нуурын хотгорын баруун өмнөд хэсэгт (Их Дааган, Бага Дааган зэрэг толгодуудын орчимд) хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан, Нуураас баруун өмнөд хэсэгт Гурамсан голын голдирлын огцом тохойрч буй хэсэгт голын баруун (1090 м), зүүн (1082 м) эрэгт өндрийн тоотуудын хооронд 8 метр өндрийн огцом зөрүү үүссэн байна. Увсын Баян нуурын хагарлыг илэрхийлэх дараагийн тодорхой шинж тэмдэг нь топографийн шинжилгээгээр тодорхойлогдож буй голын голдирлын огцом өөрчлөлтөөр илэрч буй шинж тэмдэг юм. Голын голдирлын огцом өөрчлөлт нь ямагт хагаралтай холбоотой байдаг (Karatas and Boulton, 2019). Усан сүлжээний дүрс, тэр тусмаа голын голдиролд ямар нэгэн огцом өөрчлөлт, гажилтууд үүсэх нь хагарлын нөлөөгөөр үүссэн байж болно. Увсын Баян нуурын

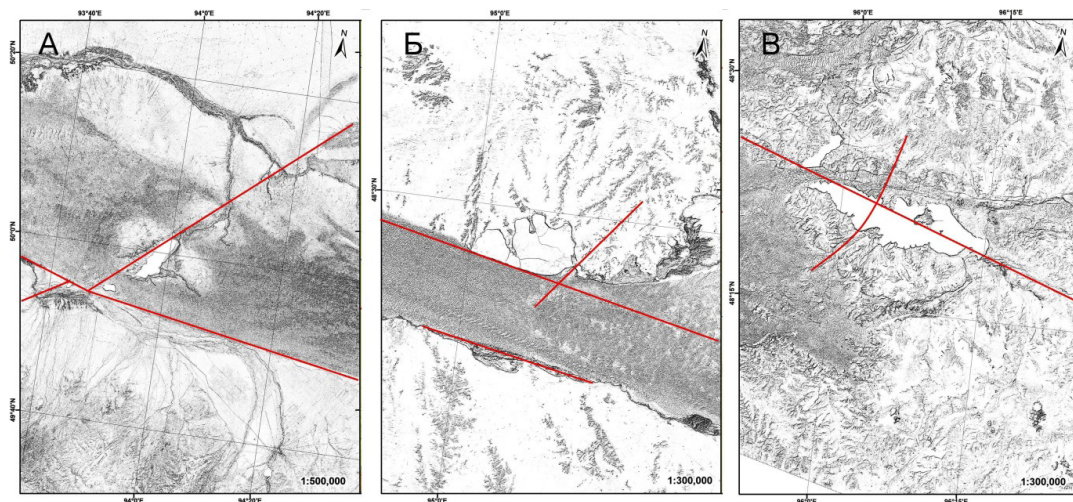
баруун өмнө талаар урсах Гурамсан голын голдиролд огцом тохойролт буюу гажилт үүссэн байна. Энэ голын голдирлын огцом тохойролт, гажилт нь Увсын Баян нуурын хагаралтай холбоотой нь илэрхий байна. Гурамсан голын голдирол тохойрч, гажилт үүссэн хэсэг нь Увсын Баян нуурын хагарлын шулуунтай давхцаж байгаа юм. Эдгээр шинж тэмдгүүдээс гадна нуурын батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг структурыг үүсгэж үндсэн хаяалбартай параллель шулуун шугаман структур нуурын баруун хэсэгт үүсчээ. Увсын Баян нуурын хагарлын дагуу цуваа хэлбэрээр 4-5 жижиг нуурууд нэг шулууныг дагаж байрласан нь хуурай сэрүүн уур амьсгалтай нутагт хагарлын дагуу гүний усны ундаргаар тэжээгддэг зүй тогтол илэрч байгаа болно. Дээрх шинж тэмдгүүдийг дайруулж хагарлын шулууныг татаж үзэхэд уг нуурын баруун талаар баруун өмнөөс зүүн хойд чиглэлд геологийн хагарал үүсч Увсын Баян нуурын хотгорыг үүсгэхэд нөлөөлсөн байна (Зураг 2А).

Завханы Баян нуурын хотгорын топографийн зургийн хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг нуурын өмнө талаар баруун хойноос зүүн урагш чиглэлд үүсгэж байна. Топографийн зургийн хаяалбар хоорондын өндөрт гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдах зүй тогтол Баян нуурын зүүн өмнө талын гадаргад илэрсэн. Баян (Хүнгүйн Хар) нуурын батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугаман структурыг үүсгэсэн ба нуурын батиметрийн изобатууд нь үндсэн хаяалбартай параллель шулуун шугаман структур үүсгэж байна. Уг нуурын усан гадаргын талбай өмнө ба зүүн өмнөд хэсэгтээ харьцангуй тэгш өнцөгт хэлбэрийн дүрс үүсгэж байгаа нь топографийн шинжилгээгээр тодорхойлсон хагаралтай давхцаж байна. Баян нуурын өмнө талаар хаяалбарт болон нуурын гүний изобатын чиглэл нь хагаралтай давхцаж буй нь илэрхий байна. Энэхүү шинж тэмдгүүдэд нь тулгуурлаж хагарлын шулууныг татаж үзэхэд нуурын өмнөд эргийн дагуу баруунаас хойноос зүүн урагш чигт, мөн нуурын зүүн талд зүүн хойноос баруун урагш чиглэлд хаяалбарт эрс гажилт үүсгэсэн болон нуурын усан гадаргын талбай нь хагарлын шугамтай давхцах зүй тогтлыг илэрхийлж байгаагаараа онцлог юм. Эндээс Баян нуурын хотгорт огтолсон хагарал үүсч өнөөгийн нуурын хотгор үүсчээ (Зураг 2Б).

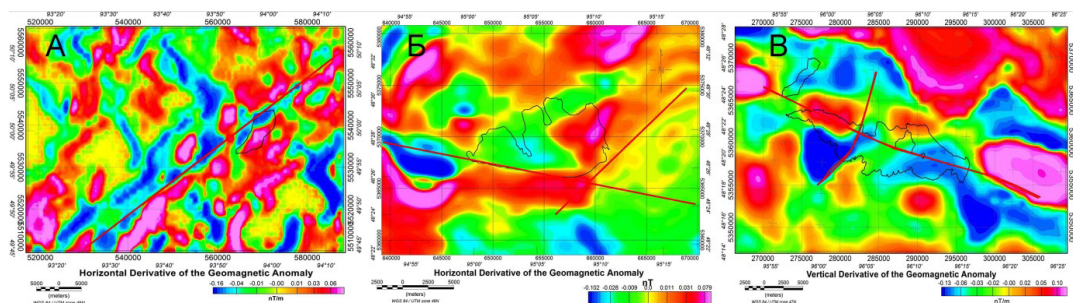
Улаагчины Хар нуурын хотгорын топографийн зурагт илрэх шинж тэмдгүүдийг авч үзвэл нуурын төв хэсэгт хаяалбар хоорондын зай ойр, шулуун шугаман структурыг үүсгэсэн, Нуурын хотгорын дундуур хойноос өмнөд чигт хаяалбар хоорондын өндөрт тодорхой гажилт үүссэн, гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдсан шинж тэмдгүүд илэрч байна. Нуурын төв хэсэгт Их Авгаш арал, Элст шанаа уул (2179.2 м)-ын өмнө талын рельефийн болон изобатын хаяалбарт шугаман структур үүссэн, изобат огцом доошилсон нь хагарлыг илтгэж байна. Эдгээр шинж тэмдгээс гадна нуурын төв хэсэгт батиметрийн изобатууд нь шаталсан шугамлаг структурыг үүсгэж үндсэн хаяалбартай параллель шулуун

шугаман структур үүсгэжээ. Нуурын баруун хэсэгт Дээд нам уул (2273 м)-ын зүүн талд, Элст шанаа уул (2179.2 м)-ын хаяалбар хоорондын зай эрс өөрчлөгдсөн, Нуурын изобат баруун хэсэгтээ огцом доошилсон, нуурын урд талд Авдрантын гуу дагуу хаяалбар хоорондын өндөрт гажилт үүссэн нь хагарлыг илэрхийлнэ. Уг нуурын баруун талд хагарлууд огтлолцож буй хэсэгт нуурын гүн огцом доошилсон (47 метр) нь хагарлын нөлөөгөөр нуурын хотгор доош суусан байх боломжтой юм. Уг нуурын дүрсзүйн хэлбэр нь геометрийн бус хэлбэрийг үүсгэдэг онцлогтой. Өөрөөр хэлбэл хагарлын дагуу нуурын хотгорын хойд хэсэг доош суухад өмнөд хэсгийн гадарга өргөгдсөн нь нь эргийн хэрчигдлийн шинж тэмдгээр нотлогдож байгаа юм. Дээрх топографийн шинж тэмдгүүдэд нь тулгуурлан хагарлын шулууныг буулгаж үзэхэд уг нуурын хотгорын төв хэсгээс баруун хойноос зүүн урагш чиглэлд, хойноос өмнөд чиглэлд нуурын дундуур огтолсон хагарал үүссэн байна (Зураг 2В). Топографийн зурагт тодорхойлсон хагарлуудыг сансрын зурагт чиглэлт шүүлтүүр буюу симметрик байрлалтай матриц болон өндөр давтамжийн собелын шүүлтүүрийг ашиглан нууруудын хотгорт илрэх хагарлыг тодруулсан (Barbara et al., 2016). Энэ нь сансрын зурагт шугаман спектрийг тодруулах замаар нуурын хотгор орчимд илрэх хагарлыг тодруулж бататгав. Сансрын боловсруулсан зураглалын материалд нууруудын хотгорт илэрч буй хагарлаа тулган тайлал хийж үзэхэд топографийн зурагт хийсэн шинжилгээтэй нийцэж байв (Зураг 3).

Монгол орны хагарлын системийг геосоронзон гажлын орноор үнэлсэн судалгаанаас геосоронзон гажлын растер зургийг (<http://www.getech.com/contact/>) суурь болгон, Дэлхийн Соронзон Гажлын Тоон Мэдээллийн Сан (World Digital Magnetic Anomaly Map)-гийн Монгол орны хэмжээний геосоронзон гажлын тоон өгөгдөлд Фурье хувиргалт хийж нууруудын локал геосоронзон гажлын орныг тооцоолсон. Нууруудын хагарал ба геофизикийн соронзон орны хамаарлыг авч үзэв (Зураг 4).



Зураг 3. Судалгааны талбайн сансрын зургийн шинжилгээ ба хагарлын холбоо А. Увсын Баян нуур Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур В. Улаагчины Хар нуур

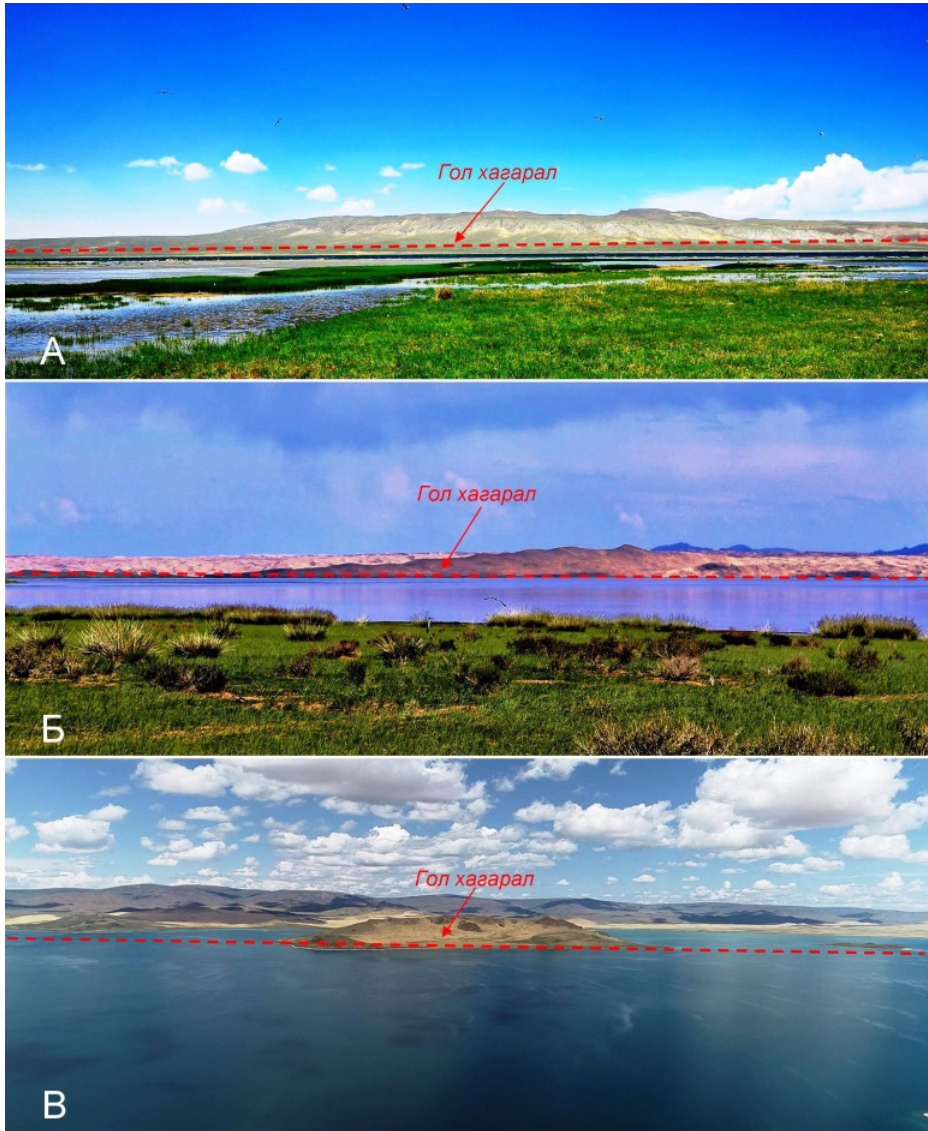


Зураг 4. Судалгааны талбайн соронзон орны гажилт ба хагарлын холбоо А. Увсын Баян нуур Б. Завханы Баян нуур В. Улаагчины Хар нуур

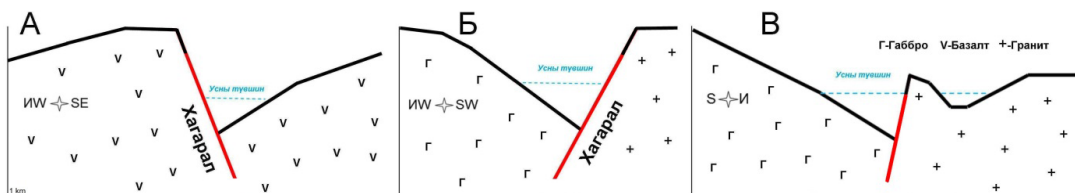
Геофизикийн соронзон орны гажлын орны тоон өгөгдөлд тодорхой математик боловсруулалтын аргачлалуудыг ашигласнаар хагарлын параметрууд болох түүний гадаргууд үргэлжлэх урт, суналын чиглэлийг тодорхойлох боломжтой. Энэ судалгаагаар нууруудын хотгор орчмын соронзон орны гажил ба хагарлын байршлаас үзэхэд топографийн болон сансрын зурагт тодорхойлсон хагарлуудтай нийцэж байна. Судалгааны үр дүнгүүдээр тодорхойлогдож буй гол хагарлуудыг дараах гэрэл зургаар илэрхийлэв (Зураг 5).

Нуурын хотгорын морфологийн загвар ба хагарлын холбоо: Нуурын хотгорын

морфологийг тодруулж үзэхэд хагарал дайрч буй рельефийн хаяалбарт шулуун структур, хаяалбарын эрс өөрчлөлт, хаяалбарын гажилтууд, нуурын гүний изобатууд нь шаталсан ба шугамлаг структурууд нууруудын хотгорын морфологид тодорхой илэрч байна. Хагарлын төрлийг тодорхойлохын тулд нарийвчилсан геологийн структурийн судалгаа хийх шаардлагатай юм. Энэ судалгаандаа нууруудын хотгорт үүссэн хагарлууд нуурын хотгорт хэрхэн нөлөө үзүүлсэн болохыг тодруулах үүднээс дараах загваруудыг боловсруулав (Зураг 6).



Зураг 5. Судалгааны талбайд илэрч буй гол хагарлуудыг фото зургаар илэрхийлсэн байдал А. Увсын Баян нуур Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур В. Улаагчины Хар нуур, Фото зургуудыг Д.Нямдаа, Б.Нархүү, Э.Алтанболд



Зураг 6. Нууруудын хотгорын хялбаршуулсан загвар ба хагарлын холбоо А. Увсын Баян нуур Б. Баян (Хүнгүйн Хар) нуур В. Улаагчины Хар нуур

Увсын Баян нуурын баруун хэсэгт үүссэн хагарлын дагуу Өгөөмөр уул өргөгдөж эсрэг талд нь суулт үүсч өнөөгийн нуурын хотгорын морфологийн дүр төрхөө олжээ. Завханы Баян (Хүнгүйн Хар) нуурын хотгорын өмнөд талд Бор хярын элсний хэсэгт гадарга өргөгдсөн ба тэнд элсний шилжилтээс үүссэн бөөргүүд бий болжээ. Хагарлын дагуу доош суусан хэсэгт Баян нуурын хотгорын үндсэн морфологи бий болжээ. Улаагчины Хар нуурын хотгорын төв хэсэгт хагарал үүсч хагарлын дагуу доош суусан хэсэгт уг нуурын хотгорын морфологи бий болжээ. Нуурын төв хэсгээр үүссэн хагарлын дагуу урд хэсгээс хойш чиглэсэн тектоник хөдөлгөөний улмаас хотгор доош суухад хойд хэсэгт Их, Бага Авгаш арлууд өргөгдөж арлуудын урд талаар хагарал үүссэн байна. Дээрх нууруудын хагарлын ан цаваар дөрөвдөгчийн болон голоцены настай гүний усны тэжээлтэй болох нөхцөл бүрдсэн гэж үзэхээр байна.

5. ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Төв Азийн нууруудын эдүгээгийн байршил, дүр төрх өнгөрсөн үеийнхээс ихээхэн ялгаатай, хэмжээний хувьд ч өөр байсан нь судалгаагаар нэгэнт батлагджээ (Цэгмид, 1969; Walther, 2010; Lehmkuhl, 2018). Монгол орны зарим томоохон нуур эртний далай, тэнгисийн үлдэгдэл хэдий ч нуурын хотгорын өнөөгийн төрх янз бүр, гарал үүсэл насны хувьд ч өөр өөр байна. Тектоник хөдөлгөөний нөлөөгөөр үүссэн уулс хоорондын хотос, хөндий, хагарлын нөлөөгөөр тогтсон нуур манай оронд цөөнгүй бөгөөд насны хувьд янз бүр голдуу эрт төрмөлийн эринд үүссэн боловч эрин галавууд дотроос дөрөвдөгчийн үед уулс тогтох хөдөлгөөн нууруудын хотгорын орчин үеийн төрхийг олоход чухал үүрэг гүйцэтгэжээ (Цэгмид, 1969; Батчулуун, 2020). Монгол орны орчин үеийн нуурууд нь шинэ тектоник хөдөлгөөний нөлөө, дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөлөлд шууд хамааралтай байгаа юм. Сүүлийн жилүүдийн Төв Азийн хуурайшилт, дулааралтай холбоотойгоор нуурын талбайн хэмжээ багассан, ус нь

давстай болсон байх ёстой. Завханы Баян, Увсын Баян нуурууд нь нам, хуурай уур амьсгал бүхий нутагт оршдог тул хамгийн түрүүнд түүнд өртөх боломжтой. Харин нуурын тогтоогдож буй хагарлаар доош суусан хэсэгт газрын доорх усны түвшин огтлогдоод нуур үүсчээ. Энд тогтмол тэжээлтэй байхад илүүдэл ус нь нуурын хотгороос халих ёстой. Судалгааны тооцоогоор илүүдэл элсэн дундуур нэвчиж булаг, шанд байдлаар илэрч байгаа зүй тогтолтой байна.

Увсын Баян нуурын ёроолын ургамлын үр тоосонцорын дээжинд радиокарбоны хагас задралын аргаар хийсэн задлан шинжилгээгээр нуурын насыг 13,2 мянган жил (Naumann and Walther, 2000; Walther, 2010), Нуурын дэнжийн болон ёроолын хурдсын дээжинд нүүрстөрөгчийн хагас задралын аргаар (^{14}C) ургамлын үр тоосонцорийн дээжинд хийсэн задлан шинжилгээгээр 15,6 мянган жил гэж тогтоожээ (Dorofeyuk and Tarasov, 1998; Grunert et al., 2000). Харин Завханы Баян (Хүнгүйн Хар) болон Улаагчины Хар нуурын хурдаст Нүүрстөрөгчийн хагас задралын аргаар (^{14}C) ургамлын үр тоосонцорийн дээжинд хийсэн задлан шинжилгээгээр 2,7-3,5 мянган жилийн настай залуу нуур гэж тогтоосон байдаг (Sevastyanov et al., 1994; Цэрэнсодном, 2000). Гэвч Баян (Хүнгүйн Хар), Улаагчины Хар нуурын ёроолын хурдаснаас дээж авч орчин үеийн нас тогтоох аргуудаар судалсан нарийвчилсан үр дүн одоогоор үгүй байна. Цаашид энэ нуурыг насны судалгааг нарийвчлан хийх шаардлага тулгарч байна. Нуурын хотгорын гарал үүсэлд хурдасны наснаас хамааралгүй неотектоник хөдөлгөөн нуурын орчин үеийн хотгорын дүр төрхөд чухал үүрэг гүйцэтгэсэн байж болно (Селиванов, 1972; Бямба, 2012). Энэ нь нууруудын хотгор үүссэн хагарлын нөлөөгөөр нуурын хотгорт тодорхой тектоник хөдөлгөөний нөлөөгөөр өргөгдөх эсвэл хотойх үйл явцын үр дүнд өнөөгийн хотгорын хэв шинж үүссэн нь илэрхий юм. Тэгэхдээ тухайн нууруудын усан гадаргын дүрсзүйн хэлбэрт элсний шилжилт,

хуримтлал тодорхой нөлөөлөл үзүүлдэг. Увсын Баян нуурт цутгах Хуст гол, Завханы Баян (Хүнгүйн Хар) нуурт цутгах Мухар Хүнгүйн гол, Улаагчины Хар нуурт цутгах Улаагчины голуудын урсац элсний нөлөөгөөр боогдон хуримтлагдаж нуурын усан гадаргын дүрсзүйн хэлбэрт тусгалаа олсон байх боломжтой. Харин нуурын хотгорын гарал үүслийн хэв шинжид эолын нөлөөнөөс илүү тектоникийн нөлөө илүү тусгалаа олсон нь энэ судалгааны үр дүнгүүдээр нотлогдож байна.

Гидрогеологийн судалгаагаар Бөөрөг Дэлийн элсний орчимд өрөмдлөгийн үр дүнгээр газар доорх ус 10-30 м гүнд, Бор хярын элсний захаар газар доорх ус 5-10 м гүнд, харин элсний манхан төв хэсэг рүү газрын доорх ус 50 м, түүнээс цааш гүнд орших тооцоо гардаг (Жадамбаа, 2009). Энэ тооцооноос үзэхэд одоогийн нууруудын гүнтэй гүний усны дээд түвшин тохирч байгаагаараа онцлог юм. Бидний судалгаагаар уг нуурыг тэжээж буй гүний усны тэжээл нь тухайн нууруудын хагарлын ан цаваар дөрөвдөгчийн болон голоцены настай усны ундаргатай байх магадлалтай юм. Цаашид нуурын усны тэжээлийн эх үүсвэрийг ялгах, хувь хэмжээг тодорхойлох тухайд изотопын болон усны балансын аргуудыг туршиж үзэх нь энэхүү судалгааны ажлын үр дүнгээс урган гарч байна.

6. ДҮГНЭЛТ

- ✓ Баруун Монголын зарим нууруудын өнөөгийн хотгорын гарал үүсэл, морфологийн хэв шинжид геологийн хагарал тусгалаа олсон болохыг судалгааны уялдаат аргуудыг ашиглаж тогтоолоо. Увсын Баян, Баян (Хүнгүйн Хар), Улаагчины Хар зэрэг нуурууд нь эолоос хамааралгүй, Тектоник хагарлын дагуух хотост тогтсон нь батлагдаж байна.
- ✓ Судалгаанд морфометрийн шинжилгээний арга, Зайнаас Тандан Судлалын орон зайн сайжруулалтын арга, Геофизикийн соронзон орны зураглалын уялдаат аргуудыг ашиглаж

нуурын хотгорт үүссэн хагарлуудыг илрүүлэв.

- ✓ Үр дүнгээс үзэхэд Увсын Баян нуурын хотгорын баруун хэсэгт баруун урдаас зүүн хойд чиглэлд, Завханы Баян (Хүнгүйн Хар) нуурын хотгорын өмнөд хэсэгт баруун хойноос зүүн урагш чиглэлд болон нуурын хотгорын зүүн өмнө талд баруун урдаас зүүн хойд чиглэлд огтолсон хагарал үүссэн байна. Харин Улаагчины Хар Нуурын хотгорын төв хэсэгт баруун хойноос зүүн урагш чиглэлд болон нуурын хотгорын төв хэсэгт хойноос баруун урагш чиглэлд огтолсон геологийн хагарлууд үүсчээ. Энэ хагарлуудын дагуух шилжилт хөдөлгөөний нөлөөгөөр нуурын хотгорууд өнөөгийн дүр төрхөө олж хэлбэржсэн байна.
- ✓ Дээрх нууруудыг “Эолын гаралтай хотгорт үүссэн” гэж тодорхойлсон байсныг “Тектоникийн гаралтай хотгорт” болгон өөрчлөх нь зүйтэй юм.
- ✓ Нууруудын хотгорт геологийн хагарал хэрхэн нөлөөлснийг энэ судалгаагаар харуулсан нь цаашид Монгол орны нуурын судалгаанд нуурын хотгорын хэв шинжийн ангиллыг шинэчлэх, нуурын усны горим, эзлэхүүн, талбай өөрчлөгдөхөд нөлөөлж байгаа хүчин зүйлийг нарийвчлан ялгах боломжийг олгож байгаа нь судалгааны гол онцлог юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааг Монгол Улсын Их Сургуулийн Залуу Судлаачийн Грант (P2020-3944) төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

Bayasgalan, A., Jackson, J., Ritz, J.F. and Carretier, S., 1999. Forebergs', flower structures, and the development of large intra-continental strike-slip faults: the Gurvan Bogd fault system

- in Mongolia. *Journal of Structural Geology*, 21(10), 1285-1302.
- Boyce, J. I., Pozza, M. R., Morris, W. A., Eyles, N., & Doughty, M., 2002. High-resolution magnetic and seismic imaging of basement faults in western Lake Ontario and Lake Simcoe, Canada. –In 15th EEGS Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems, European Association of Geoscientists & Engineers. 191-194
- Canty, M. J., 2014. Image analysis, classification and change detection in remote sensing: with algorithms for ENVI/IDL and Python. Crc Press. 244-349
- Carretier, S., Ritz, J.F., Jackson, J. and Bayasgalan, A., 2002. Morphological dating of cumulative reverse fault scarps: examples from the Gurvan Bogd fault system, Mongolia. *Geophysical Journal International*, 148(2), 256-277.
- 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.
- Cunningham, D., 2013. Mountain building processes in intracontinental oblique deformation belts: Lessons from the Gobi Corridor, Central Asia. *Journal of Structural Geology*, 46, 255-282.
- Cunningham, D., Davies, S. and Badarch, G., 2003. Crustal architecture and active growth of the Sutai Range, western Mongolia: a major intracontinental, intraplate restraining bend. *Journal of Geodynamics*, 36(1-2), 169-191.
- Cunningham, D., Dijkstra, A., Howard, J., Quarles, A. and Badarch, G., 2003. Active intraplate strike-slip faulting and transpressional uplift in the Mongolian Altai. *Geological Society, London, Special Publications*, 210(1), 65-87.
- Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusy, T., Tsermaa, B., & Doljin, D., 2021. Depression morphology of Bayan Lake, Zavkhan province, Western Mongolia: implications for the origin of lake depression in Mongolia. *Physical Geography*, 1-26.
- Filosofov, V. P., 1967. The value of the map of potential relief energy for geomorphological and Neotectonic studies. Methods geomorphological. Novosibirsk: Science. Sib. Department. 193-198.
- Florinsky, I. V., 1996. Quantitative topographic method of fault morphology recognition. *Geomorphology*, 16(2), 103-119.
- Gilvear, D., & Bryant, R., 2016. Analysis of remotely sensed data for fluvial geomorphology and river science. *Tools in fluvial geomorphology*, 103-132.
- Grunert, J., Lehmkuhl, F., & Walther, M., 2000. Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia). *Quaternary International*, 65, 171-192.
- <http://geomag.org/models/wdmam.html> (accessed on 10 April 2019).
- <http://www.getech.com/contact/> (accessed on 19 April 2019).
- Jensen, J. R., 1996. Introductory digital image processing: a remote sensing perspective (No. Ed. 2). Prentice-Hall Inc.. 233-239
- Karatas, A., & Boulton, S., 2019. Morphometric characteristics of alluvial fans in Southern Turkey: implications for fault activity in the Anatolia, Arabia, Africa Triple Junction Region. 7(3): 9-29
- Klein, M., 2001. *Binnendünen im nördlichen Zentralasien: Uws Nuur Becken, Nordwestliche Mongolei*. Geograph. Inst. d. Johannes Gutenberg-Univ. 55-63
- Kovach, V. P., Kozakov, I. K., Salnikova, E. B., Yarmolyuk, V. V., Kozlovsky, A. M., & Terent'eva, L. B., 2013. Crustal growth stages in the Songino Block of the Early Caledonian superterrane in Central Asia: II. Geochemical and Nd-isotope data. *Petrology*, 21(5), 409-426.
- Kozakov, I. K., Sal'nikova, E. B., Yarmolyuk, V. V., Kovach, V. P., Kozlovskii, A. M., Anisimova, I. V., ... & Erdenezhargal, C., 2013. Crustal growth stages in the Songino block of the Early Caledonian

- superterrane in Central Asia: I. Geological and geochronological data. *Petrology*, 21(3), 203-220.
- Lamb, M.A., Hanson, A.D., Graham, S.A., Badarch, G. and Webb, L.E., 1999. Left-lateral sense offset of upper Proterozoic to Paleozoic features across the Gobi Onon, Tost, and Zuunbayan faults in southern Mongolia and implications for other Central Asian faults. *Earth and Planetary Science Letters*, 173(3), 183-194.
- Launay, M., & Guerif, M., 2005. Assimilating remote sensing data into a crop model to improve predictive performance for spatial applications. *Agriculture, ecosystems & environment*, 111(1-4), 321-339.
- Lehmkuhl, F., Grunert, J., Hülle, D., Bathkishig, O., & Stauch, G., 2018. Paleolakes in the Gobi region of southern Mongolia. *Quaternary Science Reviews*, 179, 1-23.
- Mark, D. M., 1975. Computer analysis of topography: a comparison of terrain storage methods. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 57(3-4), 179-188.
- Mats, V. D., 1993. The structure and development of the Baikal rift depression. *Earth-Science Reviews*, 34(2), 81-118.
- Naumann, S., & Walther, M., 2000. Mid-Holocene lake-level fluctuations of Bayan Nuur (North-west Mongolia). *Marburger Geographische Schriften*, 135, 15-27.
- Nixon, M., & Aguado, A., 2019. Feature extraction and image processing for computer vision. Academic Press. 344-356.
- Phillips, J. D., 2000. Locating magnetic contacts: a comparison of the horizontal gradient, analytic signal, and local wavenumber methods. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, Society of Exploration Geophysicists. 402-405
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, D., Smith, R., & Ravat, D., 2008. Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives. *Geophysics*, 73(1), L1-L10. 155-164
- Sevastyanov, D. V., Shuvalov, V. F., & Neustrueva, I. Y., 1994. Limnology and Paleolimnology of Mongolia. *St. Petersburg (in Russian)*, 59-94.
- Shamir, G., 2006. The active structure of the Dead Sea Depression. *Special Papers-Geological Society of America*, 401, 15-27.
- Shinneman, A. L., Almendinger, J. E., Umbanhowar, C. E., Edlund, M. B., & Nergui, S., 2009. Paleolimnologic evidence for recent eutrophication in the Valley of the Great Lakes (Mongolia). *Ecosystems*, 12(6), 944-960.
- Studinger, M., Karner, G. D., Bell, R. E., Levin, V., Raymond, C. A., & Tikku, A. A., 2003. Geophysical models for the tectonic framework of the Lake Vostok region, East Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 216(4), 663-677.
- Theilen-Willige, B., Aher, S. P., Gawali, P. B., & Venkata, L. B., 2016. Seismic hazard analysis along Koyna Dam area, western Maharashtra, India: A contribution of remote sensing and GIS. *Geosciences*, 6(2), 20.
- USGS Global Visualization Viewer. Available online: <https://glovis.usgs.gov> (accessed on 17 April 2020).
- Walker, R.T., Nissen, E., Molor, E. and Bayasgalan, A., 2007. Reinterpretation of the active faulting in central Mongolia. *Geology*, 35(8), 759-762.
- Walther, M., 2010. Paleo-Environmental Changes in the Uvs Nuur Basin (Northwest-Mongolia). 267-279
- Yang, X., Li, W., & Qin, Z., 2015. Calculation of reverse-fault-related parameters using topographic profiles and fault bedding. *Geodesy and Geodynamics*, 6(2), 106-112.
- Yarmolyuk, V. V., Kozlovsky, A. M., & Lebedev, V. I., 2017. Neoproterozoic magmatic complexes of the Songino block (Mongolia): A problem of formation and correlation of Precambrian terranes in the Central-Asian Orogenic Belt. *Petrology*, 25(4), 365-395.
- Амарсайхан, Д., Ганзориг, М., 2010.

- Зайнаас Тандан Судлал болон Дүрс Мэдээнд Тоон Боловсруулалт Хийх Зарчмууд, Улаанбаатар хот, 55-61.
- Баасан, Т., 2003. Монгол орны элс. Улаанбаатар хот, 65-66
- Батчулуун, Е., 2020. Монгол орны физик газарзүй. Улаанбаатар хот, 20-28, 86-144, 240-248.
- Благонравов, В.А., Хасин, Р.А., Борзаковский, Ю.А., 1973. Геология МНР. Москва. *Недра*. 34-58
- Болд, Я., 1987. Геоморфологийн үндэс ба судалгаа, Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 94-96
- Бямба, Ж (ер.ред.), 2012. Геотектоник, Улаанбаатар хот, 122-123
- Бямба, Ж., 2009. Литосферийн Плит Тектоник, Монголын Геологи ба Ашигт Малтмал. IV боть, Улаанбаатар хот, 126-128
- Жадамбаа, Н., Бямба, Ж (ер.ред.), 2009. Гидрогеологи, Монголын Геологи ба Ашигт Малтмал. VIII боть, Улаанбаатар хот, 215-216
- Селиванов, Е. И., 1972. Неотектоника и геоморфология Монгольской народной республики. *Недра*. ис. 231-244.
- Төмөр. С., Төмөртоогоо. О (ред.), 2016. УУХҮЯ, АМГТ-ны газар, Магма Майнс ХХК-ы Яруу (М-47-XXXI)-гийн сери, геологийн хэвтээ 1:200000 масштабтай геологийн зураглалын материал
- Цэгмид, Ш., 1969. Монгол орны физик газарзүй. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 23-78, 125-127, 185-203.
- Цэрэнсодном, Ж., 1971. Монгол орны нуур, Улаанбаатар хот, 7-17, 19-28, 51-54.
- Цэрэнсодном, Ж., 2000. Монгол орны нуурын каталог (цэс), Улаанбаатар хот, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр, 55-67, 88-109, 134-156.