



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл

Journal of Geographical Issues

Volume 22 (1)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 2022

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфодинамик хөгжил

Morphodynamic development of Terkhiiin Tsagaan Lake depression, Central Mongolia

©Э.Алтанболд^{1*}, Х.Уламбадрах², Я.Гансүх³, Г.Бямбабаяр¹, Г.Түвшин¹, Г. Юмчмаа¹,
Э.Амаасүрэн¹
E.Altanbold^{1*}, Kh.Ulambadrakh², Ya.Gansukh³, G.Byambabayar¹, G.Tuvshin¹,
G.Yumchmaa¹, E.Amaasuren¹

¹Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

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

³Хөрс судлалын тэнхим, Агроэкологийн Сургууль, Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль, Монгол Улс

¹Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

²Department of Geology and Geophysics, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

³Department of Soil Science, School of Agroecology, Mongolian University of Life Sciences, Mongolia

*Харилцагч зохиогч: altanbold@num.edu.mn

*Corresponding author: altanbold@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2021.10.14

Засварласан: 2021.12.27

Зөвшөөрөгдсөн: 2022.02.07

Хураангуй

Монгол орны нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологийн судалгаа нийт нуурын судалгааны 2% орчмыг эзэлдэг. Галт уулын идэвхжилээс үүдэлтэй нуурын хотгорын морфологийн зүй тогтлыг манай улсад одоогоор судлаагүй. Хорго галт уулын лаавын тавцангийн морфометрийн үзүүлэлтэд тулгуурлан Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфологи хөгжилтэй холбож хоорондын хамаарлыг нарийвчлан тодруулаагүй байна. Хорго галт уулын гарал үүсэл, лаавын найрлагад тойм шинжилгээ хийж зэргэлдээ орших Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфологи хөгжилтэй харьцуулж үзсэн. Энэхүү өгүүлэлд Хоргын галт уулын лаавын тавцан нь Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи хөгжилд хэрхэн нөлөөлсөн болохыг тодорхойлсон. Судалгаанд морфометрийн шинжилгээгээр байр зүйн, сансрын, геологийн зураглалд шинжилгээ хийж түүнтэй холбогдох регрессийн тооцоогоор баталгаажуулсан. Түүнчлэн хээрийн хэмжилтээр хазарлын урт, байрилыг нарийвчлан тодорхойлж сансрын зураглалаар баталгаажуулсан. Судалгааны үндсэн үр дүн нь Хорго галт уул идэвхэжсэнээр Тэрх голын хөндийг лаавын урсгал боож Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорыг үүсгэсэн. Энэ нь лаавын тавцангийн хүрмэн чулууны нас болон нуурын хурдасны насны хоорондын хамаарлаар батлагдаж байгааг тодруулсан. Тэрхийн Цагаан нуурын талбай 9000 орчим жилийн өмнө одоогийнхоос 3 дахин том байв. Энэхүү тооцоог нуурын дэнжийн өндөр болон лаавын тавцангийн өндрийн үзүүлэлтэй харьцуулж тогтоосон. Суман голын гол хазарлын дагуу эртний нуурын ус сэтэрч Суман голын хавцлыг үүсгэсэн. Тодруулбал, Тэрхийн цагаан нуурын усны эзлэхүүний өөрчлөлт, Суман голын хавцлын элэгдэл нь урвуу хамааралтай байгааг тогтоосон. Энэхүү судалгаа нь Төв Азийн хамгийн залуу галт уулын нөлөөг нуурын хотгорын хөгжилтэй уялдуулан тодорхойлсноороо чухал ач холбогдолтой юм. Тухайн судалгаа нь морфометрийн шинжилгээнд тулгуурлаж галт уулын лаавын урсгалын нөлөө нь нуурын хотгорын хувьслын үндсэн үе шатуудад хэрхэн нөлөөлсөн болохыг тодорхойлсон. Энэхүү судалгаа нь геологи, геоморфологи, уур амьсгал, хүрээлэн буй орчны өөрчлөлт болон хүний үйл ажиллагааны нөлөөгөөр галт уулын лаавын хаагдаар үүссэн нууранд чухал нөлөө үзүүлж ирсэн болохыг тодруулсан болно.

Түлхүүр үгс: Нуурын хотгор; лаавын тавцан; хагарал; Хангайн нуруу; Тэрхийн Цагаан нуур; Хорго галт уул

Abstract

Data on the origin and morphology of lake depressions in Mongolia is poor and only 2 percent of total studies. The morphological patterns of the lake depressions caused by volcanic activity have not been well studied in Mongolia. The morphometric indicators of Khorgo volcanic lava plateau, its effect on the morphological changes of the lake depression, and the

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Э.Алтанболд ба Х.Уламбадрах: Онолын үндэслэл, аргагүй боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт, хээрийн судалгаа, үндсэн бичвэр, өгүүдлийн эх бэлтгэл; Я.Гансүх: Мэдээлэл боловсруулалт, зураг засах; Г.Бямбабаяр, Г.Юмчмаа, Э.Амаасүрэн: Өгөгдөл боловсруулалт, бичвэрийн хяналт, засвар, Г.Түвшин: Хээрийн судалгаа, зураглалын материал засах.

relationship between them are not studied in detail. The Khorgo volcanic lava is analyzed to clarify how it formed and compare it to the origin of the neighbouring Terkhiin Tsagaan Lake depression. This paper is defined the effect of Khorgo volcanic lava plateau on the origin of the Terkhiin Tsagaan Lake depression, based on morphometric analysis, remote sensing and geological mapping. Also study is checked by field measurements as identifying fault lengths, locations and morphology. Upon the Khorgo volcano activation, the valley of the Terkh River was dammed by a lava plateau. Lava damming formed the Terkhiin Tsagaan Lake depression, blocking the Terkh River valley. Another evidence is the age of the lava plateau and lake sediment. Terkhiin Tsagaan Lake area was three times larger than it is now (9000 years ago), comparing the terraces on the shoreline of the lake. The lake water outflows via the Suman River. The Suman River diversion has created a large canyon along fault. Changes in the water volume of Terkhiin Tsagaan Lake and the erosion of the Suman Gol canyon are inversely related.

This study is concerned that the effect of the youngest volcano in Central Asia is achieved a role in the development of lake depression, and presents a basis for integrating morphometric analysis to define the main phases of volcanic activity and lake depression evolution. Current lake area and volume is under influences of climate and environmental changes and human activities.

Keywords: Lake depression; lava plateau; fault; Khangay Mountain Range; Terkhiin Tsagaan Lake; Khorgo volcano

Оршил

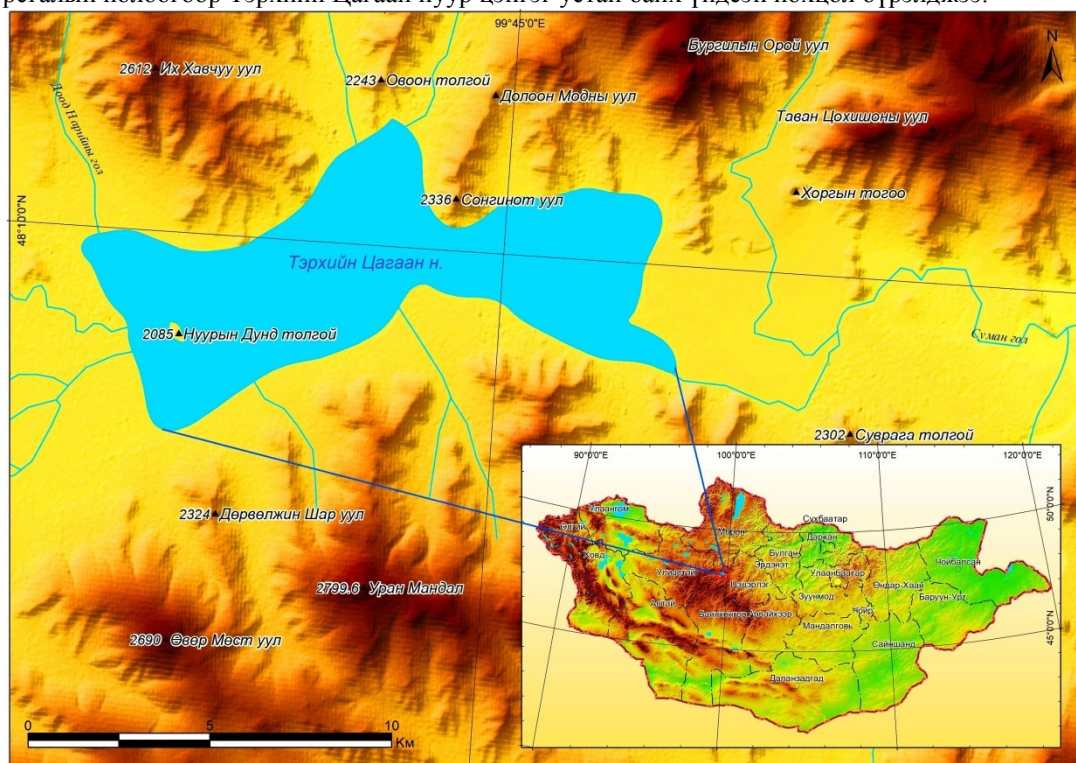
Галт уулын үйл ажиллагаатай холбоотой кратерын, лаавын хаагдлын, кальдерын зэрэг (Hutchinson, 1957; Cohen, 2003; Christenson et al., 2015) нуурын хотгорын морфологийн хэв шинжүүд үүссэн байдаг. Лаавын хаагдлын гаралтай нууруудын талаар нэлээд олон судалгааны ажил бий (Kaufman et al., 2002; Tucker & Scott, 2009; Christenson et al., 2015; Eichhorn et al., 2017). Монголд галт уулын болон хүрээлэн буй орчны өөрчлөлттэй холбоотойгоор нуурын хотгорын морфологийн хөгжилд хэрхэн тусгалаа олсон болохыг нарийвчлан судлаагүй байна. Гэхдээ Төв Монголын Хангайн нурууны вулканизмын талаар нэлээд судалгааны ажил гарчээ (Kopylova et al., 1995; Chuvashova et al., 2007; Ionov, 2007; Yarmolyuk et al., 2008; Harris et al., 2010; Kudryashova et al., 2010; Savatenkov et al., 2010; Hunt et al., 2012).

Тэрхийн Цагаан нуурын талаар хийгдсэн судалгааны ажлуудыг багцалж үзвэл, Цэрэнсодном (1964) “Тэрхийн Цагаан нуурыг судалсан ус зүйн шинжилгээний ажлын үр дүн” сэдэвт ажлаар уг нуурын ус зүйн горим, найрлага, хурдасын зүй тогтол зэргийг анхлан тодорхойлсон. Севастьянов нар (1989) “Особенности возникновения и эволюции вулканоогенного озера Тэрхийн-Цаган-Нур в Центральном Хангае (МНР)” сэдэвт судалгаагаар Тэрхийн Цагаан нуурын үүсэлд галт уулын нөлөөг тодруулан авч үзжээ. Түүнээс хойш Харрисон, Тарасов (1996) нарын “Late Quaternary Lake-Level Record from Northern Eurasia” сэдэвт тойм судалгааны ажил хэвлэгджээ. Хожуу дөрөвдөгчийн цаг үеэс хойших Евроазийн хойд хэсгийн 100 гаруй нуурын усны түвшний хэлбэлзэл, хурдасын судалгааны үр дүнгүүдийг нэгтгэн үзсэн энэ судалгаанд Монгол орны Ачит, Буйр, Хангайн Даваа нуур, Хотон, Тэрхийн Цагаан нуурт хийгдсэн хурдасын судалгааны үр дүнгүүдийг нэгтгэн авч үзсэн байдаг. Даваагалан, Орхонсэлэнгэ (2014) нарын “Тэрхийн Цагаан нуур болон Өгий нуурын хурдас хуримтлалын онцлог” сэдэвт ажлаар нууруудад хуримтлагдсан хурдасын шилжилт, хуримтлалын зүй тогтлыг онцлон авч үзсэн байна. Голоцены цаг үед одоогийн хээрийн бүсийн болон ойт хээрийн бүсийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн зүй тогтлыг дээрх хоёр нуурын хурдаст тулгуурлан судалжээ. Fukushima нар (2015) “Centennial-Scale Environmental Changes in Terhiin Tsagaan Lake, Mongolia Inferred from Lacustrine Sediment: Preliminary Results” судалгаагаар нуурын хурдсанд задлан шинжилгээ хийх замаар хурдас хуримтлалын зүй тогтол, өмнөх судлаачдын нуурын хурдасын нас тогтоосон аргачлалыг сайжруулж Тэрхийн Цагаан нуурын насыг шинэчилж Голоцены цаг үеийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодруулан судалсан байна. Судалгааны материалуудад уг нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологийн хөгжлийг хавсарга байдлаар тэмдэглэсэн боловч нарийвчлан тодорхойлоогүй байна. Дээрх судалгаануудын үр дүнг нэгтгэн үзэхэд нуурын хурдасын задлан шинжилгээ, ус зүйн горим, тухайн бүс нутгийн уур амьсгалын өөрчлөлтийг тодорхойлох талаас нь судалж ирсэн бол уг нуурын хотгорын морфологийн динамик хөгжлийг судалсан үр дүн гараагүй байгаа тул уг асуудлыг хөндлөө.

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорыг Хорго галт уулын лаавын урсгал Суман гол руу цүлхийн хааж, улмаар Тэрхийн Цагаан нуурыг үүсгэсэн (Цэгмид, 1969; Цэрэнсодном, 1971; Мөнхөө, 1979; Севастьянов и др, 1989; Fukushima et al., 2015; Altanbold et al., 2020) гэж судлаачид тэмдэглэсэн. Энэ өгүүлэлд бид Хорго галт уулын лаавын урсгалын чиглэл, лаавын тавцангийн морфометрийн үзүүлэлтийг тооцоолж нуурын хотгорын морфологи хөгжилд хэрхэн тусгалаа олж нуурын талбайн дүрс зүйн өөрчлөлтөд хэрхэн нөлөө үзүүлсэн болохыг нарийвчлан тооцож үзлээ.

Судалгааны талбай

Монгол орны нууруудаас хотгорын гарал үүсэл, морфологийн хэв шинжээрээ онцлог нуурын нэг нь Архангай аймгийн Тариат сумын нутагт Хорго уулын баруун өмнөд талд ($48^{\circ}09'N$, $99^{\circ}40'E$) д.т.дээш 2054 метрийн өндөрт орших цэнгэг уст Тэрхийн Цагаан нуур юм. Нуурын хамгийн их гүн нь 19.7 метр, дунджаар 6.3 метр гүнтэй бол нуурын талбайн хэмжилтээр 50-62 км²-ын хооронд хэлбэлздэг байна. Тэрхийн Цагаан нуурын хамгийн их урт 16 км, өргөн 6 км хүрэх бол эргийн шугамын урт 66 км, усны эзлэхүүн 0.35 км³ байна (Цэрэнсодном, 2000; Fukushima et al., 2015; Даваа, 2018). Хангайн нуруунаас эх авч урсах Хойд болон Урд Тэрхийн гол тэргүүтэй 10 гаруй цутгалтай. Нуураас эх аван гадагш Суман гол урсана. Уг гол нь цаашлаад 50 орчим километр урсаад Чулуутын голд цутгадаг байна. Энэ нуурын цутгалын болон гадагш урсгалын нөлөөгөөр Тэрхийн Цагаан нуур цэнгэг устай байх үндсэн нөхцөл бүрэлджээ.



Зураг 1. Тэрхийн Цагаан нуурын газарзүйн байршил.

Нуурын хотгорын геоморфологийн хэв шинж нь баруун талаараа нуур-дельтын тал, голын гаралтай аллювын тал, нуурын хойд хэсгээр дундаж өндөр уулс түүний бэлээр пролюв-делювын тал хөгжсөн, Нуурын өмнөд хэсэгт дундаж өндөр уулсаар бүхэлдээ хүрээлэгдэж түүний хормой бэлийн дагуу пролюв-делювын талууд нуур руу түрсэн хэв шинжтэй. Харин нуурын зүүн талд хүрмэн чулуун лаавын тавцан байна.

Судалгааны материал, аргазүй

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын 1:100,000 масштабын байр зүйн зураглалын материал, нуурын батиметрийн зураг (Цэрэнсодном, 1971 & 2000), сансрын Landsat OLI болон TM (30 м) зургууд, Digital Globe (0.67 м) хиймэл дагуулын зураг ашигласан. Тэрхийн Цагаан нуур орчимд 2021 оны VIII сард геоморфологийн хээрийн хэмжилт, судалгаа хийж судалгааны материалууд бүрдүүлсэн. Судалгаанд ашиглах нуурын хотгорын морфометрийн үзүүлэлтүүдийг сансрын Google Earth Pro болон байр зүйн зураглалын материал ашиглав.

Морфометрийн шинжилгээний арга: Морфометрийн шинжилгээний аргаар тухайн нутаг дэвсгэр дээрх рельефийн янз бүрийн хэлбэрүүдийг хэмжих, харьцуулах замаар топографийн, сансрын зурагт тайлал хийж рельефийн элементийн тоон үзүүлэлтийг тодорхойлж (Философов, 1967; Болд, 1987) рельефийн гарал үүсэл, динамик хөгжлийн онцлогийг илрүүлнэ.

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. Топографийн зурагт хагарлын зүй тогтлыг илрүүлж шинжилгээ хийнэ. Морфометрийн шинжилгээ нь хээрийн морфометрийн болон зураглалын материалуудад хэмжилтүүдийг гүйцэтгэж тухайн гадаргын тоон үзүүлэлт бүхий өгөгдлийн санг бүрдүүлдгээрээ чухал ач холбогдолтой арга юм. Тоон өгөгдөл бүхий материалыг тодорхой математик тооцоо хийж судалгааны зорилгод нийцэх зураглалыг гүйцэтгэж үр дүн гардаг. Энэ судалгаанд бусад судалгааны материалуудтай жиших, зарим газрын хээрийн хэмжилтийг морфометрийн хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулах замаар зураглалын материалд үр дүн гаргав (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Тэрхийн Цагаан нуур, лаавын тавцан, Суман голын хавцлын морфометрийн үзүүлэлт

№	Морфометрийн үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Хэмжилтийн утга	Тайлбар
Тэрхийн Цагаан нуурын хотгор				Морфометрийн үзүүлэлтүүдийг Google Earth Pro программ хангамжийн ‘Ruler’ цэсийн line, patch болон polygon командын тохиргоо, хээрийн хэмжилт, топографийн зургийн материалаас тооцсон. Эзлэхүүний хэмжээг геометрийн шугаман бүс биетийн эзлэхүүн тооцох дараах томъёогоор тооцов.
1	Урт	км	22.92	
2	Өргөн	км ²	7.39	
3	Талбай	км ²	264.0	
4	Периметр	км ²	68.0	
5	Өндөршил	Д.т.д	2035	
6	Рельефийн энерги	м	553	
Лаавын тавцан				
7	Өндөршил	Д.т.д	2066-2068	
8	Одоогийн талбай	км ²	30.40	
9	Одоогийн эзлэхүүн	км ³	11.13	
10	Өмнөх талбай (Галт уулын идэвхжилийн үеийн)	км ²	32.55	
11	Өмнөх эзлэхүүн (Галт уулын идэвхжилийн үеийн)	км ³	12.04	
Суман голын хавцал				
12	Урт	км	8.22	
13	Өргөн	м	22.1-54.6	
14	Талбай	км ²	2.15	
15	Периметр	км	17.3	
16	Гүн	м	22.1-51.2	
17	Дундаж гүн	м	36.6	
18	Эзлэхүүн	км ³	0.91	

$$V = \int_{h_1}^{h_2} S dh$$

Гипсометрийн зүсэлт гадаргын гарал үүсэл, хэлбэр, хэмжээг илүү тодруулж өгдөг онцлогтой (Strahler, 1952), өөрөөр хэлбэл тухайн гадаргын хотгор, гүдгэрийн үндсэн хэв шинж, гадаргын өндөршлийн зүй тогтол, гадаргын налууг тодорхойлох үндсэн арга юм (Willgoose & Hancock, 1998). Бид энэ судалгааны хүрээнд Google Earth Pro программ хангамжийн 'Ruler' цэсийн patch цэсийн тусламжтайгаар Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын зүсэлтийг хийж түүнд тулгуурлан геологийн зүсэлтийг тодруулж гаргасан.

Нуурын талбайн өөрчлөлт болон бусад тооцоог регрессийн тэгшитгэл болон NDWI арга ашиглан тооцоолсон.

Сансрын зургийн орон зайн сайжруулалтын арга: Хиймэл дагуулаас авсан дэлхийн гадаргын тодорхой хэсгийн тоон мэдээлэл, түүний дотор сансрын зургийг ашиглан хийх геоморфологийн тайлал нь түүнд дүрслэгдсэн гадаргын хэлбэрийг тайлагдаж болох бүхий л шалгууруудаар тодруулан үр дүнг нэгтгэн дүгнэх арга дээр тулгуурлана (Nixon & Aguado, 2019). 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:

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

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

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

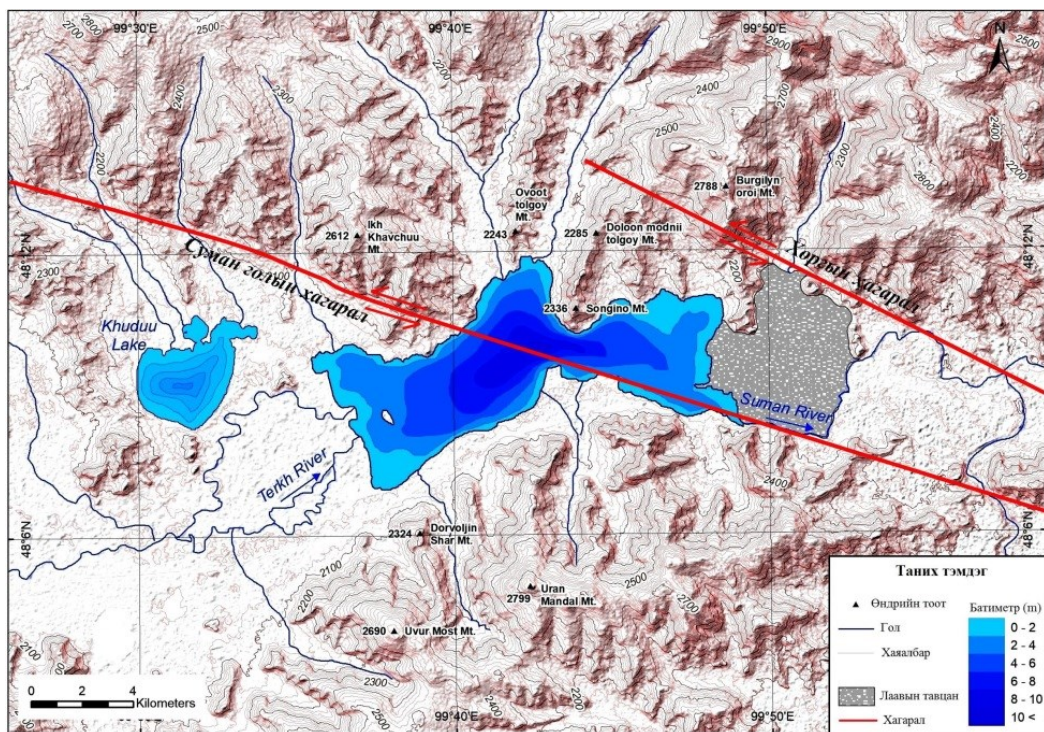
Энд (j, k) нь сансрын зураг дээрх пиксел бүр F_{jk} -ийн нарийвчилсан утгууд болно. G_{xy} нь хэвтээ ба босоо чиглэлийн чиглэлт шүүлтүүрийг илэрхийлнэ. Энэ нь дараах матрицын утгуудыг ашиглан сансрын зурагт хагарал буюу шулуун бүтцийг тодорхойлдог.

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

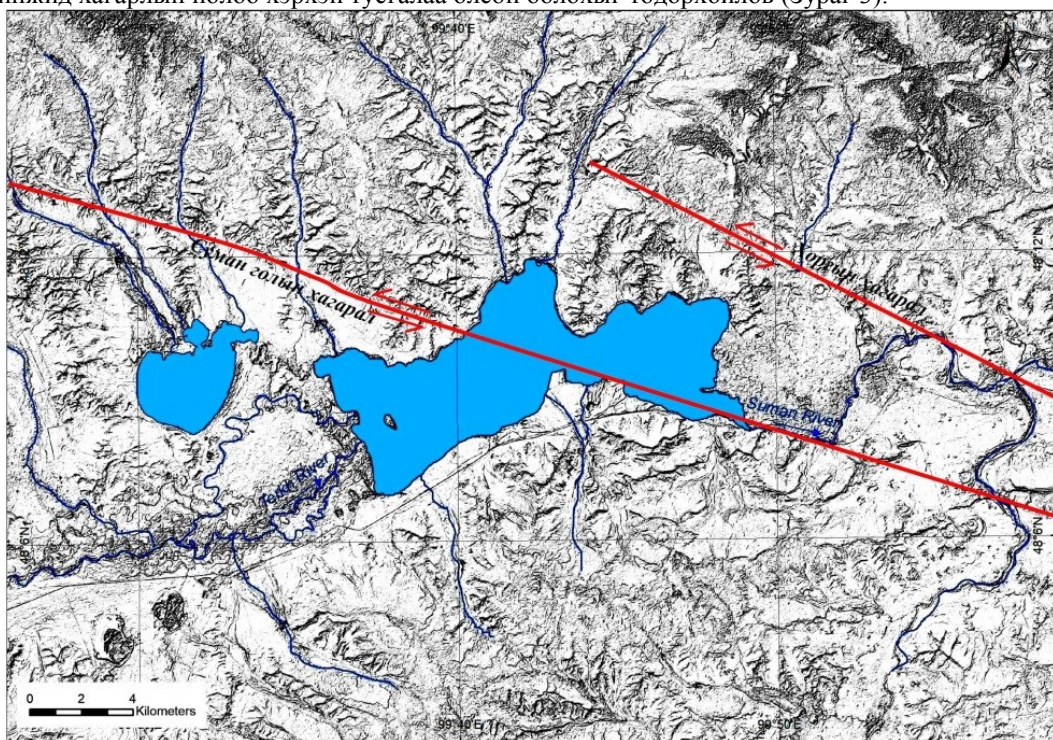
Орон зайн сайжруулалтад пиксел тус бүрийн утгыг эргэн тойрных нь пикселүүдийн тусламжтайгаар өөрчилдөг. Үүний тулд, кернел хэмээн нэрлэгдэх янз бүрийн хэмжээтэй цонхнуудыг сонгоно. Цонх нь зургийн мөр, баганын дагуу явж, тодорхой пиксел дээр ирж зогсох бүрд уг кернелийн төвийн утгыг түүнд багтаж байгаа 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 шугаман биетүүдийг орон зайн хувьд сайжруулдаг (Амарсайхан, Ганзориг, 2010). Энэ судалгаанд сансрын Landsat OLI (30 м) болон Digital Globe (0.67 м) хиймэл дагуулын сансрын зураг ашиглан ENVI 5.3 зайнаас тандан судлалын программ хангамж дээр ‘Convolution & Morphology’ цэсийн ‘Directional filter’ командаар нуурын хотгорын морфологийн хэлбэрүүдийг тодруулан зураглаж рельефийн тайлал хийсэн. Орон зайн сайжруулалтын чиглэлт шүүлтүүр буюу симметрийн байрлалтай матриц болон Собелийн шүүлтүүрийн аргыг ашиглан нууруудын хотгорт илрэх хагарлуудыг тодруулж баталгаажуулсан.

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Тэрхийн Цагаан Нуурын хотгор ба Хорго галт уулын нөлөө: Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын топографийн зургаас үзэхэд нуурын төв хэсэг дэх хамгийн гүн цэгийн хойд талаас Сонгинот уул (2336 м) урагш түрсэн байрлалтай оршиж байгаа нь усны хамгийн гүн цэгийг нуурын төв хэсэгт үүсгэх нөхцлийг бүрдүүлжээ. Нуурын өмнө талд Хангайн гол нурууны салбар Мөстийн нуруу (2600-2800 м) нуурын хотгорын өмнөд эргийг хүрээлж эгц хажуу үүсгэж байна. Топографийн шинжилгээ болон геологийн судалгааны бусад материалтай харьцуулан үзэхэд нуурын өмнө талаар зүүн чигт Суман голын хагарал, лаавын тавцанг үүсгэсэн Хоргын хагарал нуурын дүрс зүйн өөрчлөлт, ус зүйн горимд шууд нөлөөлсөн нь тодорхой байна (Зураг 2).

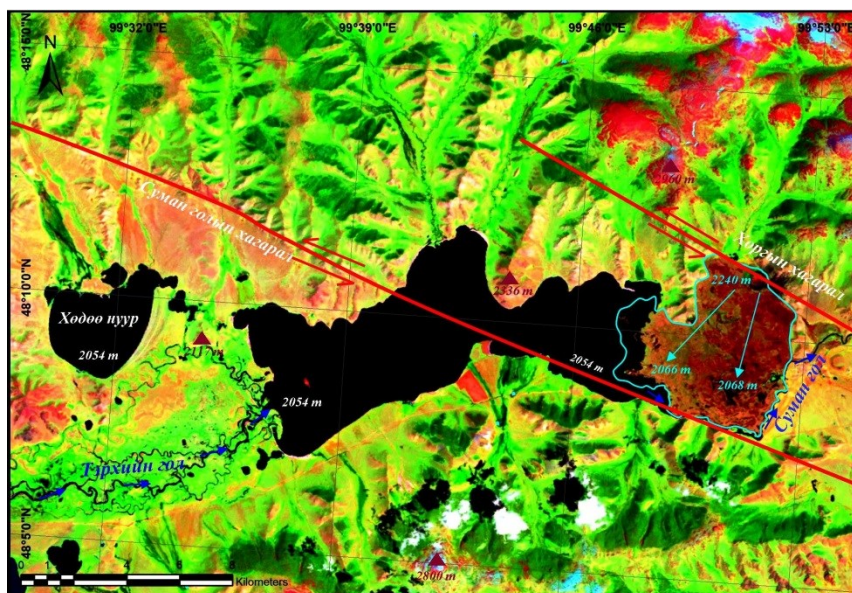


Зураг 2. Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын топографи ба хагарлын холбоо. Судалгааны дараагийн шатанд нуурын хотгорт нөлөөлөгч хагарлын зүй тогтлыг тодруулахын тулд зайнаас тандан судлалын аргаар Тэрхийн Цагаан нуурын орчимд илэрч буй гадаргын хэв шинжид хагарлын нөлөө хэрхэн тусгалаа олсон болохыг тодорхойлов (Зураг 3).



Зураг 3. Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорт орон зайн сайжруулалтын аргаар газрын гадаргад чиглэлт шүүлтүүр хийж хагарлыг зурагласан байдал.

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорт илрэх гадаргын хэлбэрүүдийг орон зайн сайжруулалтын аргаар тодорхойлж үзэхэд топографийн шинжилгээний үр дүнгийн тайлалтай нийцэж байгаа болно. Сансрын зургийн тайллаар нуурын хотгорт илрэх хагарлууд, лаавын тавцангийн хэмжээг нарийвчлан тодрууллаа. Эндээс уг нуурын хотгорын хэв шинжид нөлөөлөгч үндсэн хүчин зүйл болох лаавын тавцангийн морфометрийн үзүүлэлтийг сансрын зураглалын материалд тулгуурлан тооцов (Зураг 4).



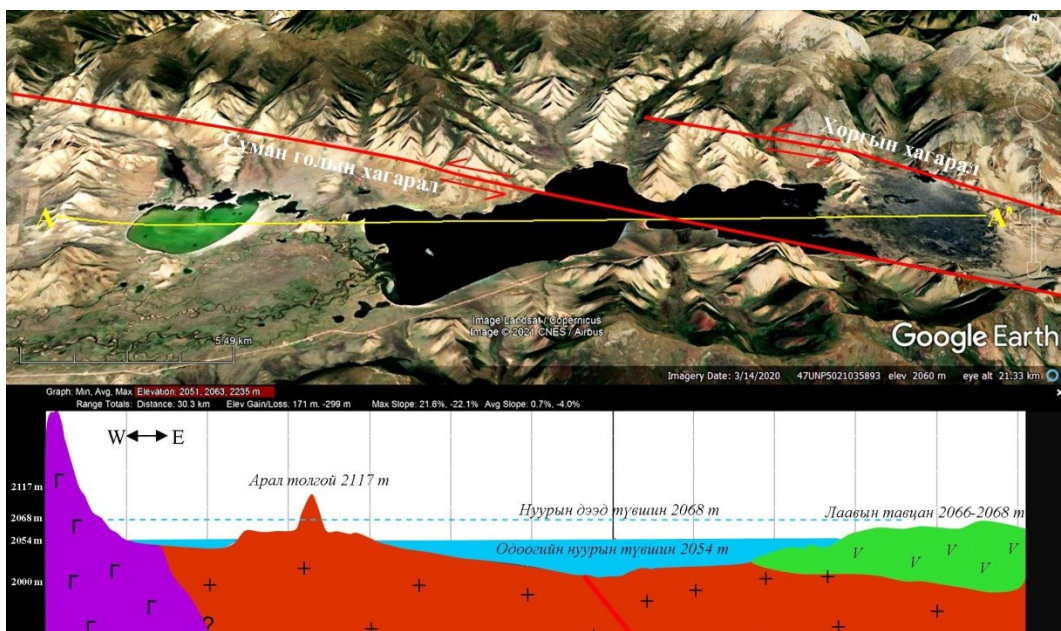
Зураг 4. Тэрхийн Цагаан нуур ба лаавын тавцангийн зүй тогтол.

Лаавын тавцангийн морфометрийн үзүүлэлтийг тооцоход 30.40 км^2 байв. Морфометрийн тооцоогоор $11,13 \text{ км}^3$ эзлэхүүнтэй лаавын урсгалын хаагдлаар Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын өнөөгийн хэв шинж бүрэлдсэн байна. Лаавын хаагдлын нөлөөгөөр үүссэн тавцангийн зузаан Цэрэнсодном (1964)-ын хэмжилтээр 20-50 метр, Мөнхөө (1979)-гийн тооцоогоор 40-50 метрийн зузаантай лаавын тавцан Суман голын хагарлын дагуу гүн хавцал үүссэн байв. Лаавын тавцангийн гадарга нь урсгал хэлбэртэй бөгөөд зүүн хэсгээрээ янз бүрийн хэмжээтэй (1 м хүртэл) пирокласт материалаар хучигдсан байна (Зураг 5).



Зураг 5. Тэрхийн Цагаан нуурын лаавын урсгалаар хаагдсан байдал: А. Зүүн хойноос харагдах бүрэн дүрслэл, Б. Нуурын зүүн өмнөд эрэг, В. Нуурын зүүн хойд эрэг (Гэрэл зургийг Б.Баяр, 2015; Max Cortesi, 2020).

Хорго галт уулаас урссан лаав суурилаг найрлагатай, урсамтгай шинж чанартай учраас хойноос баруун өмнө, өмнө чигт 2240 метрийн өндөрлөгөөс 5-6 км орчим урсаж Мөстийн нурууны ар хэсгийг хааж тогтсон лаавын тавцан үүсгэсэн (Цэгмид, 1969; Мөнхөө, 1979). Хангайн нурууны араас эх авч урсах Тэрхийн голын урсацыг хааж Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфологи, хөгжлийн өнөөгийн дүр төрхийг бүрдүүлэх хүчин зүйл болжээ (Зураг 6).

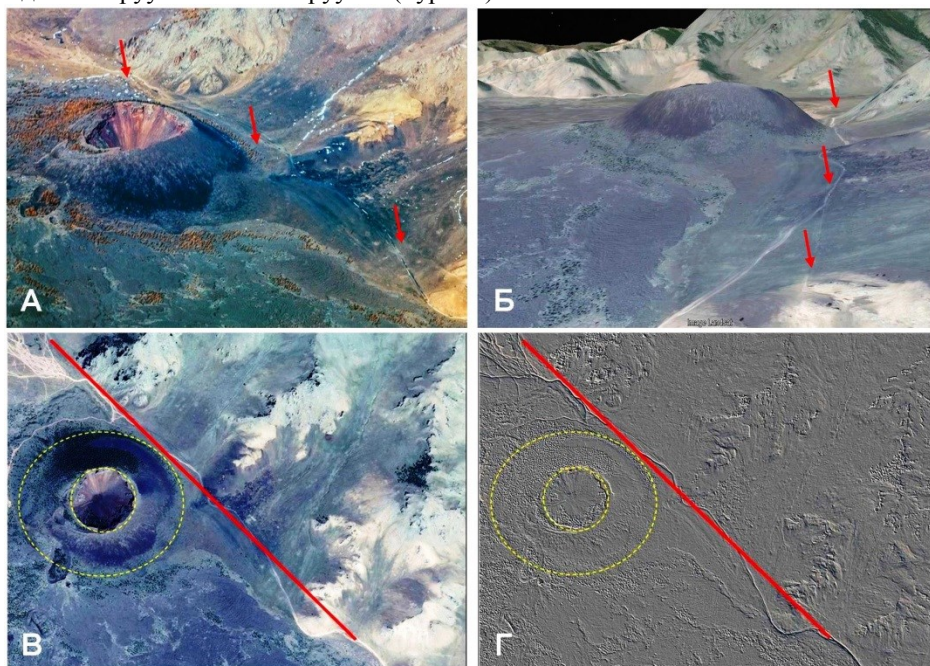


Зураг 6. Хорго-Тэрхийн Цагаан нуур орчмын геологийн зүсэлт
(Гансүх нар (1983)-ын материалыг ашиглав).

Тэрхийн цагаан нуурын 6-10 метрийн гүнээс авсан хурдасын дээжинд хийсэн C^{14} изотоп нас 6890 ± 400 жилийг заасан байдаг (Севастьянов и др., 1989; Цэрэнсодном, 2000; Fukushima et al., 2015). Энэ хугацаа бол лаавын бялхалтаас сүүлд нуур үүссэний дараах хуримтлалын нэг хэсэг, тухайн цаг үеийн уур амьсгалын үзүүлэлтийг илэрхийлнэ. Харин Хорго галт уулын хүрмэн чулуулагт C^{14} изотопоор хийсэн насны судалгааны үр дүнгээс үзэхэд 8740 ± 400 жил (Chuvashova et al., 2007) тогтоогджээ. Төв Монголын Тариат-Чулуутын галт уулын бүс бол хамгийн сүүлийн үеийн галт уулын идэвхжилийн бүс (Chuvashova et al., 2007; Ionov, 2007) гэж үзэж болохоор байна. Насны судалгааг харьцуулан дүгнэхэд лаавын бялхалт ба нуурын хотгорын гарал үүсэл хоорондоо цаг хугацааны хувд нягт уялдаатай болох нь илэрхий байв.

Тариат-Чулуутын галт уулын бүсийн хэмжээнд тархсан суурилаг найрлагатай хүрмэн чулуулгийн геохимийн найрлагаар Кепежинскас ба Лучицкий (1979) нарын боловсруулан гаргасан тооцооллоос үзэхэд $Na_2O + K_2O$ дунджаар 7.7 буюу шохойлог шүлтлэг найрлагатайг зааж байгаа нь эх газрын царцдаст үүссэн болохыг илтгэж буй юм. Хүрмэн чулуулагт агуулагдах SiO_2 -ын хэмжээ 45-50 хувь тул урсамтгай шинж чанартай суурилаг лаав байна. Хүрмэн чулуулгийн геохимийн найрлагад $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ -ын хамаарал чулуулгийн найрлага, нэр төрлийг заадаг тул суурилаг, суурилаг-дундлаг найрлагатай базальт, трахибазальт, тефрит, фонотефрит, трахиандезиттай таарна. Энэ нь Хангайн нурууны царцдас нимгэн байгааг илтгэх юм. Неотектоник хөдөлгөөний идэвхжилийн нөлөөгөөр Хангайн нурууны дагуух олон хагарлууд идэвхжиж хагарлын дагуу Дөрөвдөгчийн болон Голоцены настай галт уулс бялхах томоохон хөшүүрэг болсон байна. Тариатын галт уулын идэвхжилийн үеийн царцдасын зузаан ойролцоогоор 45 км (Stosch et al., 1995; Kopylova et al., 1995; Ionov, 2007) байсан гэж үзсэн. Тариатын гранаттай вебстерит, гранаттай лерцолит 18-20 кбар даралт, $1070-1090^\circ C$ температурын нөхцөлд үүссэн болохыг ксенолитын судалгаагаар тогтоож Хангайн өргөгдөл, түүнтэй холбоотой магматизм нь гүний халуун цэгийн нөлөөгөөр эх газрын нимгэрэлт явагдсантай холбоотой (Harris et al., 2010) гэж үзжээ. Магмын голомтыг дагасан хагарлын ан цаваар хүчтэй шахагдан бялхах лаав урсамтгай шинж чанартай бол томоохон талбайг хамардаг зүй тогтолтой (Crisp & Baloga, 1994; Wiechert et al., 1997). Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорт

үндсэн нөлөөлөгч хүчин зүйл болох Хорго галт уулын хагарлыг тодруулахдаа Digital Globe хиймэл дагуулын (0.67 м) сансрын зураг, агаарын фото зураг, сансрын бусад зураглалын материалд боловсруулалт хийж харуулав (Зураг 7).



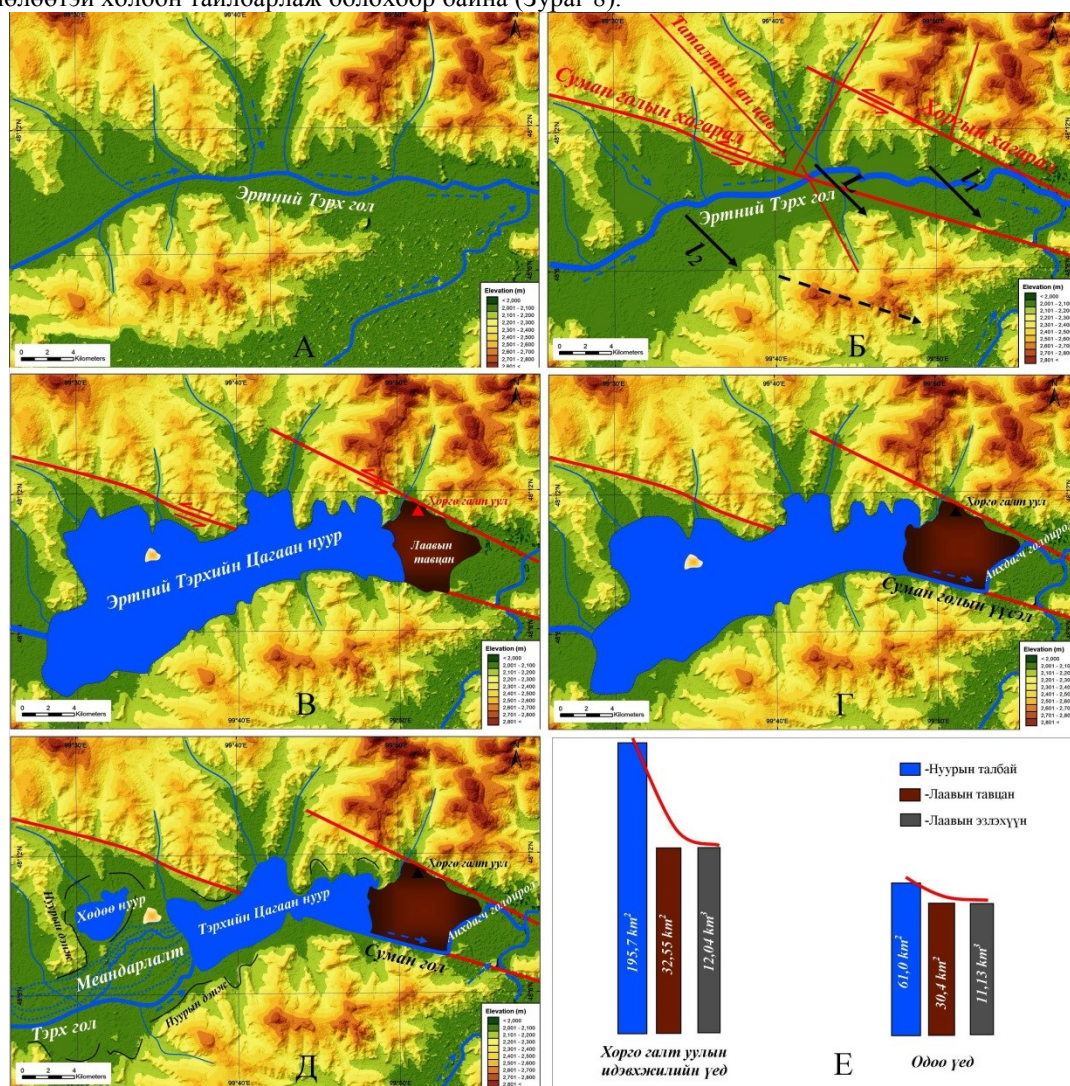
Зураг 7. Хорго галт уулын хагарал: А. Агаарын зурагт харагдах байдал (гэрэл зургийг Ч.Батзаяа, 2016), Б. Хорго уулын 3D хэмжээст сансрын зурагт илрэх байдал, В. Digital Globe хиймэл дагуулын (0.67 м) зурагт боловсруулалт хийсэн байдал, Г. Орон зайн сайжруулалтын аргаар боловсруулалт хийсэн байдал (Altanbold et al., 2020).

Агаарын гэрэл зураг болон сансрын 3D хэмжээст зураглал, зайнаас тандан судлалын ENVI 5.3 программын тусламжтайгаар боловсруулсан зураглалын материалаас үзэхэд, Хорго уулын хойд талаар баруун хойноос зүүн урагш чиглэлтэй хагарал илэрч байна. Хагарал гадаргад мэдэгдэж байгаа урт нь 10 орчим км бол таамаглаж буй урт 20 орчим км байх боломжтой юм (Altanbold et al., 2020).

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфологи хөгжлийн үе шат: Тэрхийн Цагаан нуур нь эхэндээ одоогийнхоос үлэмж их талбайг хамарч байсан тухай (Цэрэнсодном, 1964; Севастьянов и др., 1989) судлаачид тэмдэглэж байжээ. Хорго галт уулын лаавын урсгалаар хаагдаж үүссэн Тэрхийн Цагаан нуур нь одоогийн хэмжээнээсээ хэд дахин том байсан нь гипсометрийн зүсэлтүүдээр нотлогдож байна. Энэ судалгаанд Тэрхийн Цагаан болон Хөдөө нуурын хоорондох гипсометрийн зүсэлтийг хийхэд одоогийн усны түвшин ижил 2054 метрт оршдог онцлогтой байна. Одоогоор хоёр нуурын хооронд 3.5 км зайтай, голын дельтын тал болон толгодоор тусгаарлагджээ. Уг нуурууд нь хоорондоо холбоотой байсан нь нуурын усны түвшний өндөр болон нууруудын эргийн хэв шинжид илрэх дэнжийн геоморфологийн хэлбэрээс тодорхой мэдэгдэнэ. Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын өмнө болон баруун хойд талд нуурын дэнжүүд илүү тод хадгалагдан үлдсэн. Нууруудыг Тэрхийн голын дельтын талаас гадна Арал толгой (2117 м) тусгаарлаж уг толгойн баруун, зүүн бэлийн дагуу усны эрозийн нөлөөгөөр эргийн шулуун хэрчигдэл үүсжээ. Энэхүү хэрчигдлийн өндөр 2068 метрийн өндрийн түвшинд илэрдэг. Энэ толгой нь нуурууд нэгдмэл үед арал байсан нь илэрхий байна. Одоо ч Тэрхийн Цагаан нуурын баруун өмнөд хэсэгт Нуурын дунд толгой (2085 м) нэртэй арал бий.

Хорго галт уулын лаавын тавцангийн өндөр дунджаар 2066 метрийн түвшинд хаалт үүсгэжээ. Судлаачдын материалаас үзэхэд усны эрозийн үйл явцаар Суман голын хавцал идэгдэж үүссэн тухай тэмдэглэсэн (Цэрэнсодном, 2000). Хүрмэн чулуу нь гадарга дээрх хамгийн хатуу магмын гаралтай чулуулгуудын нэг учраас хугацааны хувьд харьцангуй богино буюу сүүлийн 7000 жилд усны эрозийн нөлөөгөөр 22-51 метр гүнтэй, 38 орчим метрийн өргөн хавцал үүсэх боломжгүй юм.

Нуур үүслийн буюу лаавын хаагдлын эхэн үед нуураас хальсан ус Суман голын хагарлыг дагаж урссанаар Суман голын хавцал үүссэн болох нь тодорхойлогдож байна. Суман голын хагарлын дагуу лаавын тавцан хагарч хэмхдэс чулуулаг усаар зөөгдсөн ба хавцлын эхэн хэсэгт 37.8 метр, төгсгөл хэсэгтээ 36.1 метр, хамгийн өргөн хэсэгтээ 154.2 метр хүртэл хавцал өргөн болсон байна. Хавцлын гүн хамгийн багадаа 22.1 метр, дунджаар 36.6 метр, хамгийн их нь 51.2 метр байв. Ер нь томоохон голуудын голдирол хагарлын дагуу урсгалын чиглэл тодорхойлогддог онцлог бий (Кузнецов, 1955; Селиванов, 1972; Мөнхөө, 1979). Энэ шинж Суман голын хавцалд тусгалаа олсон байх боломжтой. Хагарлын нөлөөнөөс гадна лаавын тавцанд усны нөлөөгөөр физик өгөршлийн үр дүнд ан цав, нүх сүвэрхэг байдал илэрхий үүсдэг онцлог одоогийн нуурын зүүн эргийн дагуу тодорхой ажиглагддаг. Эндээс нэгтгэж үзэхэд Тэрхийн Цагаан, Хөдөө нууруудын хотгорт хуримтлагдсан их хэмжээний ус хагарлын нөлөөгөөр зайлуулагдаж дээрх хоёр нуур болон бусад салангид жижиг нуурууд энэ хотгорт үүсэх нөхцөл бүрдсэн байна. Нууруудын хотгороос хальсан ус хагарлын дагуу зүүн чигт Суман голыг үүсгэсэн. Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын гарал үүслийг зүүн гарын шилжил хагарлын нөлөөтэй холбон тайлбарлаж болохоор байна (Зураг 8).

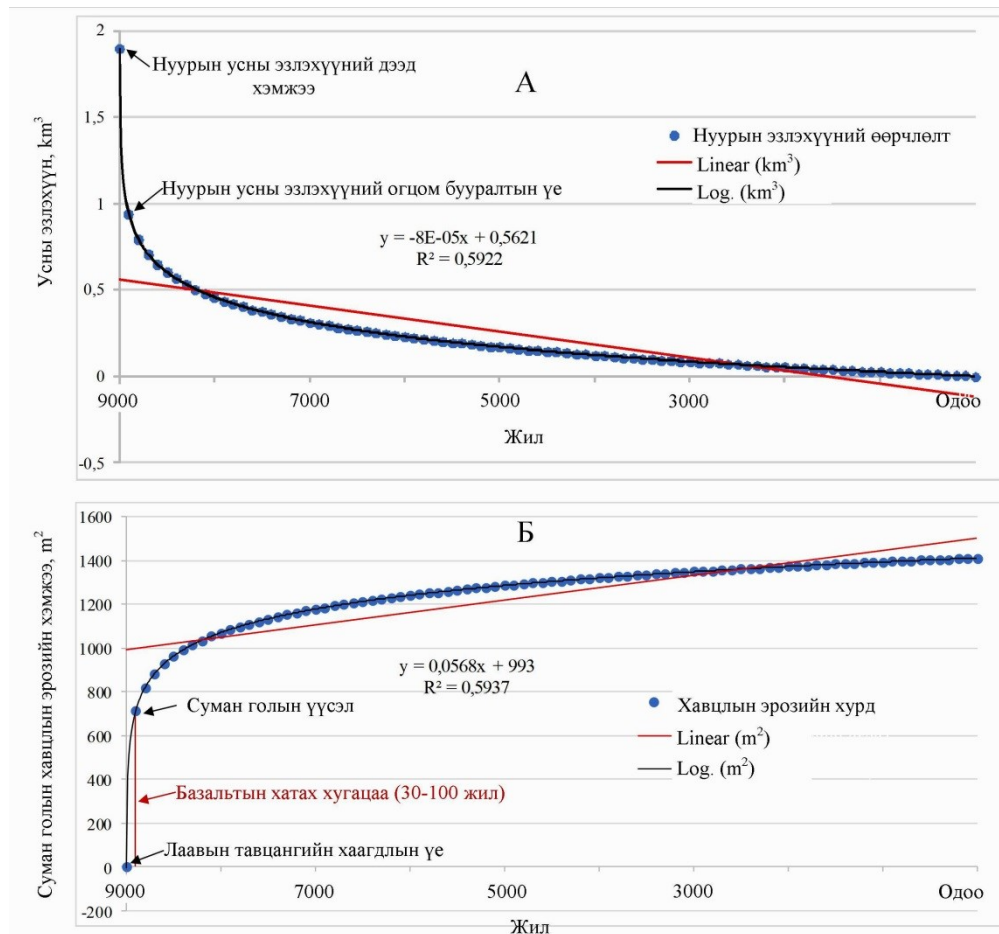


Зураг 8. Тэрхийн цагаан нуурын хотгорын хөгжлийн динамик схем.

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын морфологи хөгжлийн үе шат (Зураг 8)-аас харвал, Тэрх голын анхдагч голдирол өнөөгийн байрлалаас хойд зүгт Сонгинот уулын өмнөд талаар урсаж байжээ (8А). Энд Суман голын зүүн гарын шилжил бүхий хагарал нь Хорго галт уулын хагаралтай

ойролцоо цаг үед үүссэн байх боломжтой. Түүний дараа одоогийн Суман голын хагарлын дагуу өмнө зүгт орших уулс, түүний салбар толгодууд зүүн гарын шилжил бүхий хагарлын нөлөөгөөр баруун хойноос зүүн урагш чигт шилжиж одоогийн байрлалд орсон байна. Шилжилтийн зай $l_1=L-l_2$ харьцаан дээр үндэслэн тооцоход Суман голын хагарлын далайц 4.02-5.28 км байв. Хагарлын далайцын нөлөөгөөр Тэрх голын 4-5 км өргөнтэй хөндий үүсжээ (8Б). Энэ шилжилт хөдөлгөөнөөс шалтгаалж таталт үүсэхэд литосферт царцдасны нимгэрэлт явагдаж үүнтэй холбоотой Хорго галт уул идэвхэжсэн гэж үзэж болохоор байна. Хорго галт уулын базальтын химийн найрлага нь дээд мантийн дээд хэсгээс үүссэн болох нь батлагдсан байдаг (8В). Тэрхийн голын өнөөгийн өргөн хөндий үүссэн нөхцөл нь Хорго, Суман голын хагарлын таталтын нөлөө юм. Тэр үед Тэрх голын усны урсац бүхэлдээ хаагдаж маш богино хугацаанд нуурын талбай асар том болж нуурын хотгорыг дүүргэсэн. Хорго галт уул маш богино хугацаанд идэвхжээд лаавын тавцан үүсгэсэн. Суман голын хагарлын дээгүүр 50 орчим метр зузаантай лаавын тавцан бүрхсэн. Лаав анх бялхах үедээ эзлэхүүн их байдаг бол хатах үед дэгдэмхий бодисуудаа алдаж эзлэхүүн нь багасдаг. Лаавын царцалтын үед Суман голын хагарлын дагуу ан цав үүссэн. Энэхүү хагарлын дагуух ан цавыг дагаж Тэрхийн Цагаан нуурын ус сэтэрч Суман гол үүссэн (8Г). Тэрх голын хөндийн дагуу голын тохойрол ихээр хөгжсөн бол нуурын хотгорыг хүрээлсэн үлдэгдэл дэнжүүд хадгалагдан үлджээ (8Д). Харин хотгорын баруун, баруун өмнөд хэсэгт Тэрхийн болон бусад голуудын флювиаль үйл ажиллагааны нөлөөгөөр нуурын дэнжүүд ялгагдахгүй, аллювын хурдсаар хучигдсан байдаг. Эндээс уг нуурын хотгорыг дүүргэсэн их хэмжээний ус баруун, баруун өмнө чигт бүр их талбайг хамарч байсан байх магадлалтай юм. Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорт ялгагдах нуурын дэнжийн насны судалгаа хийгдээгүй боловч нуурын хурдасын нас, Хорго галт уулын хүрмэн чулуулгийн настай харьцуулахад 7000-9000 жилийн хоорондох хугацааны хэлбэлзэлд хамаарах юм. Энэ хугацаа нь сүүлчийн мөстлөгийн дараах үед их хэмжээний усны урсцын нөлөөгөөр уг хотгор усаар бүрэн дүүрч байсны баталгаа юм. Хотгорын хэмжээнд ялгагдах геоморфологийн хэв шинжүүдээс нуурын татралтын нөлөөгөөр үүссэн дэнж онцгой ач холбогдолтой юм. Дэнжүүдийн өндөр д.т.дээш 2068 орчим метрийн өндөрт тогтсон байдаг. Цаашид уг хотгорын дагуу үүссэн дэнжийн насыг нарийвчлан судлах шаардлагатай.

Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн өөрчлөлт ба хүрээлэн буй орчны нөлөө: Судалгааны хүрээнд хотгорыг дүүргэж байсан усан гадаргын талбай 195.7 км^2 орчим буюу өнөөгийн Тэрхийн Цагаан нуур (61 км^2)-ын талбайгаас даруй 3 дахин, Хөдөө нуур (11 км^2)-аас 20 дахин их хэмжээтэй байжээ. Одоогийн Тэрхийн Цагаан нуурын эзлэхүүн 0.351 км^3 бол эртний нуурын эзлэхүүн 2248 км^3 байсан. Харин лаавын тавцангийн хэмжээ анхдагч хэмжээнээс усны эрозийн нөлөө, хаталтаас шалтгаалж 32.55 км^2 -аас 30.40 км^2 болтлоо буурч, түүнийг дагаад усны эзлэхүүнд хүртэл өөрчлөлт оржээ (8Е). Эндээс нуурын усны эзлэхүүний өөрчлөлт ба Суман голын хавцлын эрозийн эрчмийг тооцож үзэв (Зураг 9).



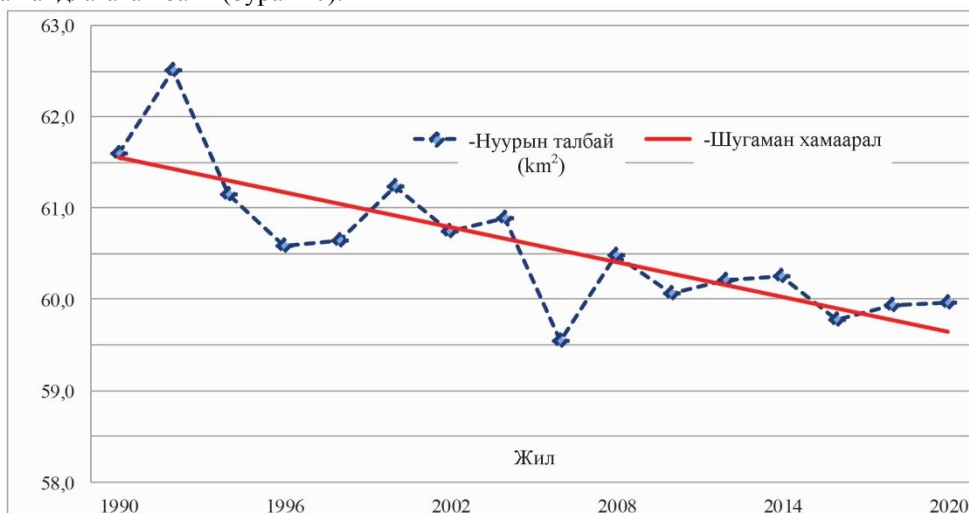
Зураг 9. Тэрхийн цагаан нуурын эзлэхүүний өөрчлөлт ба Суман голын урсцын динамик холбоо:

А. Эртний нуурын усны бууралт, Б. Суман голын хавцлын усны эрозийн эрчим (хугацааны интервал 100 жилээр).

Тэрхийн цагаан нуурын усны эзлэхүүн болон Суман голын хавцлын эрозийн эрчимд хийсэн хугацааны цувааны коэффициент дунджаар $R^2=0.5922$ ба 0.5937 байв. Энэ нь Тэрхийн цагаан нуурын усны эзлэхүүний өөрчлөлт, Суман голын хавцлын эрозийн эрчим нь хоорондоо урвуу хамааралтай байгааг харуулж байна (Зураг 9). Усны эрозийн эрчмийг тооцохын тулд лаавын тавцангийн хөрөлт, агшилт, ан цавын тооцоог хийх нь чухал юм. Гэвч лаавын тавцангийн хөрөлт, агшилтын тооцоог тодорхойлсон зүйл үгүй байна. Лаав хэр хурдан хугацаанд хөрөхийг тодорхойлох хамгийн чухал хүчин зүйл бол түүний зузаан юм (Hon et al., 1994; Pinkerton et al., 2002). Лаав 10 м зузаантай байхад хөрөлтийн хурд 5-6 жил шаардах (Zebker et al., 1996) болохыг тодорхойлж байжээ. Галт уулын дэлбэрэлтийн улмаас лаавын температур нь байгалийн янз бүрийн хүчин зүйлээс хамаарч өөр өөр түвшинд хөрж болно (Hon et al., 1994). Тодруулбал, Хавайн Килауза галт уулын дэлбэрэлтийн үеийн лаавын температур хамгийн ихдээ ойролцоогоор 1140°C хүрчээ. Лаавын тавцангийн дээд хэсэг хөрж хатуурсан боловч гүндээ 1000°C орчим хэмийн халуун хэвээр байжээ (Pinkerton et al., 2002). Harris (2010) нарын тооцоогоор Хорго галт уулын лаавын температур $1040-1090^\circ\text{C}$ хэмтэй, 50 орчим метрийн зузаантай болохыг тооцсон. Zebker (1996) нарын тооцооноос үндэслэвэл Хорго орчмын лаавын тавцан 30 орчим жилд хөрсөн байх магадлалтай байна. Харин эртний нуурын усны эзлэхүүний хэмжээ, Суман голын хавцлын эрозийн хэмжээнд үндэслэн лаавын тавцан хөрсөн хугацааг ойролцоогоор 100 орчим жил болох нь судалгааны үр дүнгээс харагдаж байна (Зураг 9Б).

Одоогоор уг нуурын усны балансын орлогын 97.0 хувийг гадаргын нийт урсац, 3.0 хувийг хур тунадас эзэлж байхад зарлагын 93.5 хувийг Суман голын урсац, 6.5 хувийг усны гадаргын ууршилт эзэлж байна (Даваа, 2018). Энэ үзүүлэлт нь нуурын ус зүйн горимд Суман гол маш

чухал үүрэгтэй байгааг харуулдаг. Харин сүүлийн жилүүдэд нуурын талбайд гарч буй өөрчлөлтийг NDWI аргаар 1990-2010 оны Landsat 4-5 TM, 2014-2020 оны Landsat 8 OLI хиймэл дагуулын сансрын зурагт тооцоо хийв. Үр дүнгээр нуурын талбай сүүлийн жилүүдэд багасаж байгаа хандлагатай байв (Зураг 10).



Зураг 10. Тэрхийн Цагаан нуурын талбайн орчин үеийн өөрчлөлт.

Тэрхийн Цагаан нуурын талбай сүүлийн 30 орчим жилийн хугацаанд багасах хандлагатай байна. Энэ нь Төв Азийн уур амьсгалын дулааралтай холбоотой байж болох юм. Монгол орны хэмжээнд говь, хээрийн бүсэд 1.3-1.9°C-ээр, өндөр уулс болон ойт хээрийн бүсэд 2.0-2.3°C-ээр агаарын жилийн дундаж температур нэмэгджээ (Erdenetuya et al., 2003, Dorjsuren et al., 2018, Borodavko et al., 2018, Sumiya et al., 2020). Түүнчлэн Тэрхийн Цагаан нуур орчмын бүсэд аялал жуулчлал, хүний нөлөөгөөр хүрээлэн буй орчинд тодорхой сөрөг өөрчлөлтүүд илэрсээр байгаа (Ulaankhuu, 2020) нь нуурын талбайн бууралттай шууд холбоотой байж болно. Төв Монголын ойт хээрийн бүсэд орших нуурын ус зүйн горим, нуурын талбайн өөрчлөлт нь хүрээлэн буй орчны нөлөөлөлд илэрхий өртсөөр байгааг харуулж байна.

Талархал

Энэхүү судалгааг МУИС-ийн Өндөр түвшний судалгааны төсөл (P2021-4178)-ийн үр дүнгээс ашиглан гүйцэтгэв.

Дүгнэлт

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгор лаавын хаагдлаар, харин Хорго галт уул идэвхжих болон томоохон нуур тогтох боломжтой хотгор нь хагаралтай холбоотойгоор тус тус үүссэн байна.

Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын өмнө талаар зүүн өмнө чигт Суман голын хагарал, зүүн хойд талд лаавын тавцанг үүсгэсэн Хоргын хагарал нуурын хотгор, нуурын талбайн дүрс зүйн өөрчлөлт, ус зүйн горимд шууд нөлөөлсөн байна.

Суман голын хагарлын дагуу өмнө зүгт орших уулс, түүний салбар толгод зүүн гарын шилжил хагарлын нөлөөгөөр баруун хойноос зүүн урагш чигт шилжиж одоогийн байрлалдаа оржээ. Суман голын хагарлын урт 70 орчим км бол Хоргын хагарал 20 орчим км байв. Энэ шилжилт хөдөлгөөнөөс шалтгаалж таталт үүсэхэд литосферт царцдасын нимгэрэл үүсч үүнтэй холбоотой Хорго галт уул идэвхэжсэн байна. Лаавын бялхалтаар Тэрх голын усны урсац бүхэлдээ хаагдаж маш богино хугацаанд нуурын талбай асар том болж нуурын хотгорыг дүүргэсэн. Лаав царцах үед Суман голын хагарлын дагуу ан цав үүссэн. Энэхүү хагарлын дагуух ан цавыг дагаж эртний Тэрхийн Цагаан нуурын ус сэтэрч эрозийн нөлөөгөөр Суман гол үүссэн байна. Харин одоогийн Тэрхийн Цагаан нуурын хотгорын баруун хэсэгт таталтын нөлөөгөөр 4-5 орчим км өргөнтэй Тэрх голын өргөн хөндий үүсжээ.

Хорго галт уулын болон Тэрхийн Цагаан нуурын насны судалгааг харьцуулан дүгнэхэд лаавын бялхалт ба нуурын хотгорын гарал үүсэл, морфологи хөгжил хоорондоо цаг хугацааны хувд нягт уялдаатай болох нь батлагдаж байна.

Тэрхийн Цагаан нуур нь өнөөгийн хэмжээнээс 3 дахин том байсан ба Хөдөө нууртай хоорондоо холбоотой байсан нь нууруудын эргийн хэв шинжид илрэх дэнжийн геоморфологийн хэлбэрээс тодорхой ялгагдаж байна. Нуурын дэнжийн өндөр д.т.дээш 2068 метрийн түвшинд, Хорго орчмын лаавын тавцангийн дундаж өндөр д.т.дээш 2068 метрийн өндөрт тогтоогдож байв. Өнөөгийн нуурын мандлын түвшнээс 14 метрээр илүү ус тогтож байсан нь тодорхой байна.

Сүүлийн 9000 жилээс хойших хугацаанд усны эзлэхүүний өөрчлөлтийг регрессийн коэффициент, сүүлийн жилүүдийн талбайн өөрчлөлтийг усны нормчлогдсон индексийн аргаар тооцоолоход Тэрхийн цагаан нуурын усны эзлэхүүний өөрчлөлт, Суман голын хавцлын эрозийн хэмжээ хоорондоо урвуу хамааралтай байв. Сүүлийн 30 орчим жилийн хугацаанд нуурын талбайн өөрчлөлт нь орчин үеийн дэлхийн дулаарал, хүний идэвхтэй үйл ажиллагаатай холбоотойгоор багасах хандлагатай байна.

Ном зүй

- Амарсайхан, Д., Ганзориг, М. (2010). *Зайнаас Тандан Судлал болон дүрс мэдээнд тоон боловсруулалт хийх зарчмууд*, Улаанбаатар хот, 55-61.
- Болд, Я. (1987). *Геоморфологийн Үндэс ба судалгаа*. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 94-97.
- Гансүх, Д., Жамсранжав, Ц., Бөхбат, О., Түндэв, С., (1983). *М-47-XXXIV, Тариат орчмын геологийн 1: 200 000 масштабын зураг*, Мөрөнгийн геологийн экспедиц, Улаанбаатар хот.
- Даваа, Г. (2018). Газар, Сансрын мэдээлэлд тулгуурласан Монгол Орны Нууруудын усны нөөцийн үнэлгээ, Түүнд байнгын хяналт-шинжилгээ хийх боломжийн судалгаа. *Зөвлөх үйлчилгээний ажлын тайлан*. Улаанбаатар хот, 54-58
- Даваагалан, Г., Орхонсэлэнгэ, А. (2014). Тэрхийн Цагаан нуур болон Өгий нуурын хурдас хуримтлалын онцлог, *Монгол Орны Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл*, 1(10), Улаанбаатар хот, 35-39
- Кепежинкас, В. В., & Лучицкий, И. В. (1979). *Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения*. Москва, сс. 67-88
- Кузнецов, Н. Т. (1955). Некоторые данные о новейшей тектонике в Монголии. Вопросы геоморфологии и палеогеографии Азии. *Изв. АН СССР журнал*, Москва, сс. 188-192.
- Мөнхөө, З. (1979). *Дорнод Хангайн структур-геоморфологийн онцлогууд*. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн Газар. 45-49
- Севастьянов, Д. В., Дорофеев, Н. И., & Лийва, А. А. (1989). Особенности возникновения и эволюции вулканогенного озера Тэрхийн-Цаган-Нур в Центральном Хангае (МНР). *Изв. ВГО.*, 121(3). 223-227
- Селиванов, Е. И. (1972). Неотектоника и геоморфология Монгольской народной республики. *Недра журнал*, Москва, сс. 234-239
- Цэгмид, Ш. (1969). *Монгол орны физик газарзүй*. Улаанбаатар хот, Улсын хэвлэлийн газар, 185-203.
- Цэрэнсодном, Ж. (1964). Тэрхийн Цагаан нуурыг судалсан ус зүйн шинжилгээний ажлын дүнгээс. *Монгол Орны Газарзүйн асуудлууд сэтгүүл*, №2, 3-11.
- Цэрэнсодном, Ж. (1971). Монгол орны нуур, Улаанбаатар хот, Улсын хэвлэлийн газар, 92-113
- Цэрэнсодном, Ж. (2000). Монгол орны нуурын каталог (цэс), Улаанбаатар хот, Шувуун Саарал хэвлэлийн үйлдвэр, 134-156
- ШУА-ийн Газарзүйн хүрээлэн (ер.ред О.Төмөртоого), (2014). *Архангай аймгийн атлас*, Архангай аймгийн геологийн 1: 200 000 масштабын зураг, Улаанбаатар хот.
- Altanbold, E., Khukhuudei, U., Dorjgochoo, S., & Ganbold, B. (2020). Morphology of Khorgo Volcano Crater in the Khangai Mountains in Central Mongolia. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 19-35.
- Borodavko, P. S., Volkova, E. S., Melnik, M. A., Litvinov, A. S., & Demberel, O. (2018, November). Climate change impact on high-altitude geomorphological systems. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 211, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- Christenson, B., Németh, K., Rouwet, D., Tassi, F., Vandemeulebrouck, J., & Varekamp, J. C. (2015). Volcanic lakes. In *Volcanic lakes* (pp. 1-20). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Chuvashova, I. S., Rasskazov, S. V., Yasnygina, T. A., Saranina, E. V., & Fefelov, N. N. (2007). Holocene volcanism in central Mongolia and northeast China: asynchronous decompressional and fluid melting of the mantle. *Journal of Volcanology and Seismology*, 1(6), 372-396.
- Cohen, A. S. (2003). *Paleolimnology: the history and evolution of lake systems*. Oxford University Press. 45-67
- Crisp, J., & Baloga, S. (1994). Influence of crystallization and entrainment of cooler material on the emplacement of basaltic aa lava flows. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B6), 11819-11831.
- Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Davaasuren, D., ... & Gedefaw, M. (2018): Observed trends of climate and land cover changes in Lake Baikal basin. *Environmental Earth Sciences*, 77(20), 1-12.
- Eichhorn, L., Pirrung, M., Zolitschka, B., & Büchel, G. (2017). Pleniglacial sedimentation process reconstruction on laminated lacustrine sediments from lava-dammed Paleolake Alf, West Eifel Volcanic Field (Germany). *Quaternary Science Reviews*, 172, 83-95.
- Erdenetuya, M., Khudulmur, S., Bolortsetseg, B., Natsagdorj, L., & Batima, P. (2003): Pasture estimating with climate change over Mongolia using climate and NOAA/NDVI data. In *Proceedings of the KSRS Conference* (pp. 120-122). The Korean Society of Remote Sensing.
- Fukushi, K., Katsuta, N., Jenkins, R. G., Matsubara, K., Takayama, B., Tanaka, Y., ... & Kashiwaya, K. (2015). Centennial-Scale Environmental Changes in Terhiin Tsagaan Lake, Mongolia Inferred from Lacustrine Sediment: Preliminary Results. In *Earth Surface Processes and Environmental Changes in East Asia*. Springer, Tokyo, 25-44.
- Harris, N., Hunt, A., Parkinson, I., Tindle, A., Yondon, M., & Hammond, S. (2010). Tectonic implications of garnet-bearing mantle xenoliths exhumed by Quaternary magmatism in the Hangay dome, central Mongolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 160(1), 67-81.
- Harrison, S. P., Yu, G., & Tarasov, P. E. (1996). Late Quaternary lake-level record from northern Eurasia. *Quaternary research*, 45(2), 138-159.
- Hon, K. E. N., Kauahikaua, J. I. M., Denlinger, R., & Mackay, K. (1994): Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows: Observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin*, 106(3), 351-370.
- Hunt, A. C., Parkinson, I. J., Harris, N. B. W., Barry, T. L., Rogers, N. W., & Yondon, M. (2012). Cenozoic volcanism on the Hangai Dome, Central Mongolia: geochemical evidence for changing melt sources and implications for mechanisms of melting. *Journal of Petrology*, 53(9), 1913-1942.
- Hutchinson, G. E. (1957). *A Treatise on Limnology. Vol 1: Geography, Physics and Chemistry*. John Wiley & Sons. 67-89
- Ionov, D. A. (2007). Compositional variations and heterogeneity in fertile lithospheric mantle: peridotite xenoliths in basalts from Tariat, Mongolia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 154(4), 455-477.
- Kaufman, D. S., O'Brien, G., Mead, J. I., Bright, J., & Umhoefer, P. (2002). Late Quaternary spring-fed deposits of the Grand Canyon and their implication for deep lava-dammed lakes. *Quaternary Research*, 58(3), 329-340.
- Kopylova, M. G., O'Reilly, S. Y., & Genshaft, Y. S. (1995). Thermal state of the lithosphere beneath Central Mongolia: evidence from deep-seated xenoliths from the Shavaryn-Saram volcanic centre in the Tariat depression, Hangai, Mongolia. *Lithos*, 36(3-4), 243-255.
- Kudryashova, E. A., Yarmolyuk, V. V., Kozlovsky, A. M., & Savatenkov, V. M. (2010). Magmatic zoning of Late Cenozoic volcanism in Central Mongolia: Relation with the mantle plume. In *Doklady Earth Sciences* (Vol. 432, No. 1, pp. 565-569). SP MAIK Nauka/Interperiodica.
- Nixon, M., & Aguado, A. (2019). Feature extraction and image processing for computer vision. *Academic Press*. 344-356.
- Pinkerton, H., James, M., & Jones, A. (2002): Surface temperature measurements of active lava flows on Kilauea volcano, Hawai'i. *Journal of volcanology and geothermal research*, 113(1-2), 159-176.
- Savatenkov, V. M., Yarmolyuk, V. V., Kudryashova, E. A., & Kozlovskii, A. M. (2010). Sources and geodynamics of the Late Cenozoic volcanism of Central Mongolia: evidence from isotope-geochemical studies. *Petrology*, 18(3), 278-307.

- Stosch, H. G., Ionov, D. A., Puchtel, I. S., Galer, S. J. G., & Sharpouri, A. (1995). Lower crustal xenoliths from Mongolia and their bearing on the nature of the deep crust beneath central Asia. *Lithos*, 36(3-4), 227-242.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63(11), pp. 1117-1142.
- Sumiya, E., Dorjsuren, B., Yan, D., Dorligjav, S., Wang, H., Enkhbold, A., ... & Girma, A. (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.
- Tucker, D. S., & Scott, K. M. (2009). Structures and facies associated with the flow of subaerial basaltic lava into a deep freshwater lake: the Sulphur Creek lava flow, North Cascades, Washington. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185(4), 311-322.
- Ulaankhuu, K. (2020): The evaluation of environmental and socio-cultural impacts of tourism on the Khorgo-Terkhyn Tsagaan Nuur National Park. *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 45-51.
- Wiechert, U., Ionov, D. A., & Wedepohl, K. H. (1997). Spinel peridotite xenoliths from the Atsagin-Dush volcano, Dariganga lava plateau, Mongolia: a record of partial melting and cryptic metasomatism in the upper mantle. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 126(4), 345-364.
- 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.
- Yarmolyuk, V. V., Kudryashova, E. A., Kozlovsky, A. M., & Lebedev, V. A. (2008, October). Late Cenozoic volcanism of Khangai (Central Mongolia): evidence for recent orogeny in Central Asia. In *Doklady Earth Sciences* (Vol. 422, No. 1, p. 1032). Springer Nature BV.
- Zebker, H. A., Rosen, P., Hensley, S., & Mougini-Mark, P. J. (1996). Analysis of active lava flows on Kilauea volcano, Hawaii, using SIR-C radar correlation measurements. *Geology*, 24(6), 495-498.