



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 24 (02)

ISSN: 2312-8534

2024

Улаанбаатар хот

Чулуут голын хавцлын үүсэлд хагарлын нөлөө

The impact of faults on forming of the Chuluut Canyon, Central Mongolia

©Энхболд Алтанболд¹, Болд Бат^{2*}, Хөхөөдэй Уламбадрах², Ядамсүрэн Гансүх³, Ён Бэ Сон⁴, Тэсүк Ким⁴, Даваасүрэн Даваадорж¹

Altanbold Enkhbold¹, Bat Bold^{2*}, Ulambadrakh Khukhuudei², Gansukh Yadamsuren³, Yeong Bae Seong⁴, Taesuk Kim⁴, Davaadorj Davaasuren¹

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

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

³Экологийн тэнхим, Агроэкологийн Сургууль, Хөдөө Аж Ахуйн Их Сургууль, Улаанбаатар 17024, Монгол Улс

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

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

²Department of Geology and Geophysics, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Ulaanbaatar 210646, Mongolia

³Department of Ecology, School of Agroecology, Mongolian University of Life Sciences, Ulaanbaatar 17024, Mongolia

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

*Харилцагч зохиогч: bat.b@num.edu.mn

*Corresponding author: bat.b@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2024.07.04

Засварласан: 2024.11.13

Зөвшөөрөгдсөн: 2024.11.20

Хураангуй

Урсгал усны геоморфологийн судалгаанд хавцал үүсэх асуудал сонирхол татах бөгөөд Монголд энэ талаарх судалгаа хийгдэж байсангүй. Бид энэ судалгаанд аялал жуулчлалын томоохон түшиц газар болох Чулуут голын хавцлын хэлбэр, зүй тогтлыг геоморфологийн аргазүйд тулгуурлан тодорхойлов. Хавцлыг үүсгэж буй лаавын тавцангийн тойм шинжилгээг морфологи хөгжилтэй уялдуулан тодорхойлов. Судалгаанд морфометрийн болон сансрын зургийн шинжилгээг хээрийн судалгааны материалтай тулган баталгаажуулсан. Судалгааны талбайн царцдасын зузаан ~45 км бөгөөд хожуу миоценээс плейстоцены үед лаавын тавцанг үүсгэжээ. Чулуут голын голдирол, хавцлын зүй тогтол нь баруун урдаас зүүн хойд чигт үүссэн үндсэн (Чулуут) хагарал, түүнийг урдаас хойд чиглэлд огтолсон ортоганал хагарлуудад захирагдаж байв. Судалгааны талбайд хамрагдсан Чулуут хавцлын урт 32 км орчим, талбай 9.3 км². Хавцал дунджаар 230 метр өргөн, 58.4 метр гүн, хавцлын эзэлхүүн 1.03 км³, дундаж налуу 45° байв. Чулуут хагарлын нөлөөгөөр гадаргад шугаман структур үүсэх, уулархаг гадаргад нугачаа атираа, эх чулуулагт хагарлын мөргөцгүүд үүссэн байв. Энэ нь хавцал үүсгэх үндсэн хүчин зүйл бөгөөд голын голдирол огцом тохойрох болон зарим хэсэгт шулуун чиглэлд урсах нь хагаралтай шууд холбоотой нь тогтоогогдож байна. Энэ хагарал өмнө нь геологи, геоморфологийн зураглал, бусад судалгаанд тодорхойлогдож байгаагүй бөгөөд энэ судалгааны үр дүнгээр анх удаа тогтоож байгаагаараа онцлог юм.

Түлхүүр үгс: Чулуут гол, лаавын тавцан, хагарал, хавцал, морфометрийн шинжилгээ

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Э.Алтанболд, Б.Бат, Х.Уламбадрах: Онолын үндэслэл, аргазүй боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт, хээрийн судалгаа, үндсэн бичвэр, өгүүллийн эх бэлтгэл; Я.Гансүх, Д.Даваадорж: Мэдээлэл, зураглал боловсруулалт, үр дүнгийн хяналт; Ён Бэ Сон, болон Тэсүк Ким: Хээрийн судалгаа, үр дүнгийн хяналт

Abstract

Canyon formation is of significant interest in geomorphological studies of flowing waters, yet no studies have been conducted on this subject in Mongolia. Geomorphological methods were used to determine the shape and regularity of the Chuluut River Canyon, which is a major tourist destination. The development of the lava plateau forming the canyon was also assessed through morphological analysis. The study combined the analysis of morphometric and satellite images with field research data. The crust of the study area is ~45 km thick, with a lava plateau formed during the period from the late Miocene to the Pleistocene. The Chuluut River's orientation and the canyon formation were controlled by the main (Chuluut) fault, which extends from the southwest to the northeast, and orthogonal faults, intersecting it from the south to the north. The length of the Chuluut Canyon is about 32 km, the area is 9.3 km², the average width of the canyon is 230 meters, the depth is 58.4 meters, the volume of the canyon is 1.03 km³, and the average slope is 45°. As a result of fault activity, linear structures formed on the surface, folds developed on the mountain slopes, and faults appeared in the bedrock. These factors are the primary contributors to the canyon formation, influencing sharp bends in the river, with some stretches of the river flowing in a straight direction due to the fault. This fault had not previously been identified on geological or geomorphological maps or in other studies and it has been newly documented in this research.

Keywords: Chuluut River, lava plateau, fault, canyon, morphometric analysis

Оршил

Геоморфологийн онцлог гадаргын хэлбэрийн тоонд голын хавцал ордог (Cook et al., 2009; Schildgen et al., 2009; Flowers, Farley, 2012; Glade et al., 2019). Дэлхий дээр хавцал даган урссан гол мөрөн нэлээдгүй бий бөгөөд тэдгээрийг дагуулан улс орнууд рекреацийн газарзүй, байгалийн аялал жуулчлалын томоохон түшиц газар болгон хөгжүүлсээр байна. Гол мөрдийн хавцлын гарал үүсэл, морфологийн хөгжил, морфотектоник хувьслын талаарх судалгаа нэлээд хэвлэгдсэн байдаг (Dingus, Galloway, 1990; Lastras et al., 2011; Sexton, 2011; Ding et al., 2023; Karlstrom et al., 2014). Эдгээр судалгаануудын үндсэн чиглэл нь хавцлын үүсэл, палеогазарзүйн хувьсал, өөрчлөлт, хавцлын хэлбэр ба идэгдлийн динамик үйл явц, хавцлын чулуулгийн найрлага, усзүйн сүлжээний нөлөөллийг дэлхийн өнцөг булан бүрт байгаа голуудын хавцал дээр жишээ авч судалсан байдаг. Харин Монгол орны гол мөрдийн хавцлын үүсэл хөгжлийн болон морфотектоникийн нөлөөллийн талаарх судалгаа байхгүй байсаар байна. Шинэ судалгааны асуудлыг судлан гаргаж ирэх, шинжлэх ухааны эргэлтэд оруулах, Монгол орны геоморфологийн чиглэлийн судалгаанд хувь нэмэр оруулахад голын хөндийн хавцлын морфологийн судалгаа зайлшгүй хийх шаардлагатай юм.

Э.М.Мурзаев (1952) Монгол орны гол мөрний одоогийн горимын онцлогийг тодорхойлохдоо ихэнхи гол мөрөн уулын урсгалын шинж давамгайлдаг учраас голдирлоо голдуу гүнзгийлэн иддэг ба идэгдлийн хурдас голын хөндийн нам тохойрсон хэсэгт их хэмжээгээр хуримтлагддаг гэж тодорхойлжээ. Түүнчлэн Монгол орны голын хөндийн дэнжийн хөгжил, насны талаар Кожевников нар (1968), Мурзаев нар (1971), Жигж (1977), Мөнхөө (1979) судалж байжээ. Харин тектоник нөлөөллийн талаас нь Монгол орны Хангайн нуруунаас эх авч урсаж буй томоохон гол мөрдийн голдирлуудын үндсэн чиглэл нь зүүн урдаас баруун хойш Байгаль нуур руу чиглэх ба томоохон хагарлын зүй тогтолд захирагддаг болохыг тодорхойлсон нь бий (Базаров, 1968; Мөнхөө, 1979). Түүний тодорхойлсноор Сэлэнгэ, Орхон голын томоохон цутгалууд болох Чулуут, Хануй, Хойд тамир, Урд тамир голууд нь Хангайн нурууны араас эх авч түүний хаяа өндөрлөгүүдийг огтлон урссан нь хагарлын зүй тогтолтой тохирдог болохыг тэмдэглэсэн (Мөнхөө, 1979) боловч голын хавцлын хөгжилд хагарал хэрхэн нөлөөлж байгааг тодорхойлоогүй байдаг.

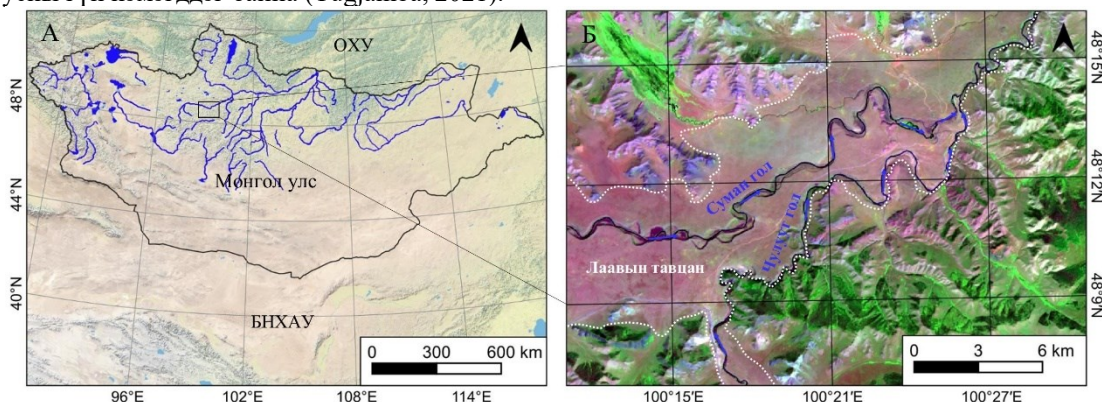
Төв Монголын Хангайн нурууны вулканизм, базальтын гарал үүсэл, мантийн ксенолит, петрографи, геохими, изотоп, геоморфологи, геохронологи болон лаавын тавцангийн талаар нэлээдгүй олон бүтээл хэвлэгдэн гарчээ (Желубовский, 1945; Кепежинскас, 1979; Девяткин, 1981; Корулова et al., 1995; Barry, 1999; Геншафт, Салтыковский, 2000; Barry et al., 2003; Девяткин, 2004; Chuvashova et al., 2007; Ionov, 2007; Barry et al., 2007; Yarmolyuk et al., 2008; Harris et al., 2010; Kudryashova et al., 2010; Savatenkov et al., 2010; Hunt et al., 2012; Enkhbold et al., 2022a; Chuvashova et al., 2022; Kim et al., 2024).

Монгол орны хувьд хавцлын морфологи хэлбэр Чулуут голын дунд урсгалд үүссэн байх тул сонгон авав. Энэ өгүүлэлд Чулуут голын хавцлын гарал үүслийг вулканизмын үйл явц, лаавын тавцангийн үүсэл, голдирлын хөгжилд нөлөөлсөн хагарлын нөлөөг нарийвчлан тодорхойлохыг зорив.

Судалгааны талбай

Монгол орны базальтын тархалтын 17 бүсийг ялгасан (Маринов и др., 1973) бөгөөд Тариат-Чулуутын бүсэд бидний судалгааны талбай оршиж байна. Харин кайнозойн базальтын тархалтаар нь 7 бүсэд хуваасан бөгөөд Хангайн галт уулын бүсэд багтана (Кеппежинскас, 1979).

Чулуут гол нь Хангайн нурууны Гурван Анггархай уулын араас эх авч 415 км урсаж Идэр голын баруун талаас цутгаж Сэлэнгэ мөрөнд нийлдэг (Мурзаев, 1952). Хангайн нурууны хамгийн өндөрлөг хэсгээс эх авч урсдаг учраас усны унал, урсгалын хурд ихтэй гол юм (Мөнхөө, 1979). Усзүйн хувьд Хойд мөсөн далайн ай савд хамаарагдана (Tugjamba, 2021). Тэрхийн Цагаан нуураас эх авч урсах Суман гол нийлж Чулуут гол мэдэгдэхүйц урлаг болж голдирол өргөн, усны гүн нэмэгддэг байна (Tugjamba, 2021).



Зураг 1. Судалгааны талбайн газарзүйн байршил. А. Монгол орны гадаргын ус зүйн сүлжээний ерөнхий байдал, Б. Чулуут-Суман голын лаавын тавцан ба голуудын голдирлын чиглэл.

Энэ судалгаанд хамрагдсан талбай нь Архангай аймгийн Өндөр-Улаан, Тариат сумдын нутагт Хорго галт уулаас зүүн, зүүн өмнөд зүгт хожуу миоценээс плейстоцены настай (Девяткин, 1981; Barry et al., 2003; Девяткин, 2004; Yarmolyuk et al., 2008; Мөнхцэнгэл нар, 2009; Chuvashova et al., 2022) лаавын тавцангийн дундуур Чулуут голын голдирол урсдаг хэсгээс эхэлж Суман, Чулуут голын бэлчир хүртэл 32 км зайд голдирлын дагуух 40-60 орчим метр гүнтэй хавцлын үүсэл, хөгжлийн тоймыг тодорхойлов (Зураг 1).

Судалгааны материал, аргазүй

Үндсэн хагарлын тодруулалт, өндрийн хаяалбар болон бусад оронзайн дүн шинжилгээнд 1:100000 масштабтай М-47-141 номенклатуртай байрзүйн зураг ашиглав. Уг зураг нь Монгол улсын Геодези, зураг зүйн газраас 1945 оны байрзүйн зургийн үндэслэлээр агаарын зураг, 1982 оны хэргийн судалгааны материалыг ашиглан 1984 онд шинэчлэн хэвлэгдсэн.

Хиймэл дагуулын зургийн баталгаажуулалтад Landsat 8 OLI/TIRS хиймэл дагуулын 30 м оронзайн нарийвчлалтай 2024 оны 8-р сарын 18-ны өдрийн (багана:135, мөр:27) зураг ашигласан бөгөөд Үндэсний Геологийн судалгааны төвийн нээлттэй эх сурвалжаас татан авч боловсруулсан (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Суурь зургийн (Зураг 1Б) өнгөний нийлэмж нь дунд болон ойрын нил улаан туяаны суваг, үзэгдэх гэрлийн ногоон сувгийг тус тус ашигласан (R:SWIR, G:NIR, B:GREEN). Собелийн чиглэлт шүүлтүүрийн бодолтод Орфео хэрэглүүрийн багцийн (Orfeo Toolbox) оронзайн зураглалын ирмэгийн тодруулалт (Edge Extraction) аргаар тооцоолсон (Grizonnet et al., 2017)

Чулуут голын унал, лаавын тавцангийн өндрийн утга болон орон зайн сайжруулалт (Собелийн чиглэлт шүүлтүүр) зэргийг тооцоолохдоо Үндэсний Сансар судлалын агентлагийн (NASA) Space Shuttle Endeavour хиймэл дагуулын радарын хэмжилтэд суурилсан 90 м оронзайн нарийвчлалтай гадаргын өндрийн тоон загварыг (DEM) ашигласан (NASA, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global. <https://portal.opentopography.org/>).

Чулуут голын дагуух болон лаавын тавцангийн өндрийн утгыг QGIS программ (QGIS Development Team (2023). QGIS Geographic Information System. Open-Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>), гадаргын зүсэлтийн хэрэглүүрээр (Terrain Profile Plug-in) бодолт хийсэн.

Судалгааны талбайд 2024 оны VII сард геоморфологийн хээрийн хэмжилт хийж судалгааны материалуудыг бүрдүүлсэн. Судалгаанд ашигласан морфометрийн үзүүлэлтүүдийг ‘Google Earth Pro’ сансрын зураг болон байрзүйн зураглалын материалд тулгуурлан тооцоолов.

Морфометрийн шинжилгээ: Морфометрийн шинжилгээний аргаар тухайн нутаг дэвсгэр дээрх рельефийн янз бүрийн хэлбэрүүдийг хэмжих, харьцуулах шалгуур үзүүлэлтээр тодорхойлох замаар байрзүйн, сансрын зурагт тайлал хийж рельефийн элементийн зүй тогтлыг тодорхойлж (Философов, 1967; Болд, 1987; Jacques et al., 2014; Enkhbold et al., 2022ab; Enkhbold et al., 2024b) рельефийн гарал үүсэл, динамик хөгжлийн онцлогийг илрүүлдэг.

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. Тоон өгөгдөл бүхий материалыг тодорхой математик тооцоо хийж судалгааны зорилгод нийцэх зураглалыг гүйцэтгэж үр дүн гардаг. Энэ судалгаанд морфометрийн хэмжилтийн үр дүнг зураглалын материалын суурь болгон ашиглав (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Чулуут голын хөндийн лаавын тавцан, голын голдирлын морфометрийн үзүүлэлт

№	Морфометрийн үзүүлэлт	Хэмжих нэгж	Хэмжилтийн утга
Лаавын тавцан			
1	Урт	км	22.8
2	Өргөн	км (Хамгийн их)	3.5
		км (Дундаж)	2.35
		км (Хамгийн бага)	1.2
3	Талбай	км ²	41.8
4	Периметр	км ²	58.5
5	Өндөршил	Д.т.д (Хамгийн их)	1914
		Д.т.д (Дундаж)	1832
		Д.т.д (Хамгийн бага)	1711
Голын голдирол			
6	Урт	км	32.19
7	Дундаж өргөн	м	80.2
8	Усны дундаж гүн	м	0.8
9	Голын унал	м	140
10	Урсгалын дундаж хурд	м/с	2
Чулуутын хавцлын үзүүлэлт			
11	Урт	км	32.19
12	Өргөн	м (Хамгийн их)	322.7
		м (Дундаж)	230.1
		м (Хамгийн бага)	137.3
13	Талбай	км ²	9.31
14	Периметр	км	64.54
15	Гүн	м (Хамгийн их)	95.7
		м (Дундаж)	58.4
		м (Хамгийн бага)	3.7
16	Эзлэхүүн	км ³	1.03
17	Хавцлын налуу	Градус (Хамгийн их)	63.5
		Градус (Дундаж)	44.9
		Градус (Хамгийн бага)	25.3

Морфометрийн үзүүлэлтүүдийг ‘Google Earth Pro’ программ хангамжийн ‘Ruler’ цэсийн line, patch болон polygon командын тохиргоо, хээрийн хэмжилт, байрзүйн зургийн материалаас

тооцсон. Эзлэхүүний хэмжээг геометрийн шугаман бус биетийн эзлэхүүн тооцох дараах томъёогоор бодов.

$$V = \int_{h_1}^{h_2} S dh \quad (1)$$

Энд V - Геометрийн бус биетийн эзлэхүүн, h_1 ба h_2 - хавцлын гүний хамгийн их, бага өндрийн хэмжээ S - хавцлын талбайн хэмжээ, dh -хавцлын гүний дундаж зөрүү хэмжээ юм.

Гипсометрийн зүсэлтээр Чулуут голын хавцлын гадаргын хэлбэр, хэмжээг тодруулж голдирлын чиглэл, өндөршлийн зүй тогтол, хавцлын налууг тодорхойлов. Энэ судалгааны хүрээнд ‘Google Earth Pro’ программ хангамжийн ‘Ruler’ цэсийн patch цэсийн тусламжтайгаар зүсэлтүүдийг гаргасан.

Орон зайн сайжруулалт (Собелийн чиглэлт шүүлтүүр)-ын арга: Орон зайн сайжруулалтын аргаар гадаргад илэрч буй тектоникийн хагарлыг илрүүлэхэд төрөл бүрийн сансрын эх зурагт дараах тэгшитгэлийн дагуу тооцоо хийж үр дүнгээ гарган авсан. Үүнд:

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

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

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

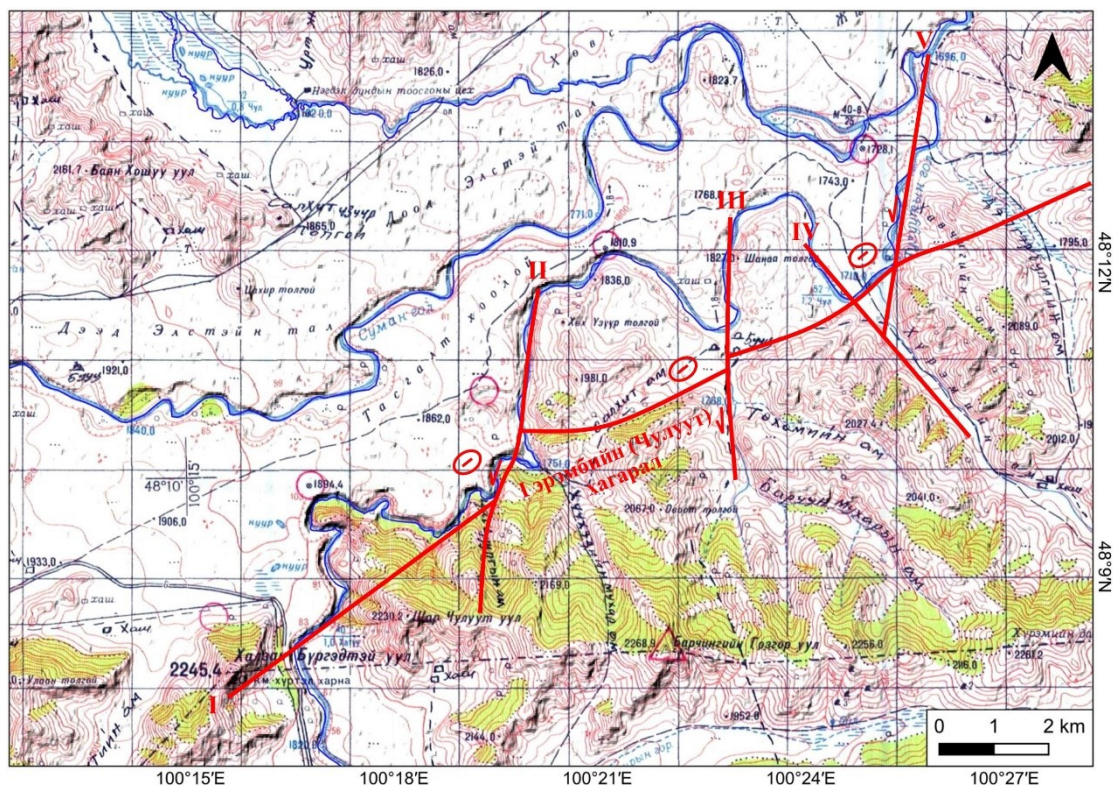
Энд (j, k) нь сансрын зураг дээрх пиксел бүр F_{jk} -ийн нарийвчилсан утгууд болно. G_{xy} нь хэвтээ ба босоо чиглэлийн чиглэлт шүүлтүүрийг илэрхийлнэ. Энэ нь дараах матрицын утгуудыг ашиглан сансрын зурагт хагарал буюу шулуун бүтцийг тодорхойлдог.

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

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 шугаман биетүүдийг орон зайн хувьд сайжруулдаг (Амарсайхан, Ганзориг, 2010; Nixon, Aguado, 2019). Энэ судалгаанд сансрын Landsat OLI (30 м) хиймэл дагуулын сансрын зураг ашиглан ENVI 5.3 зайнаас тандан судлалын программ хангамж дээр ‘Convolution and Morphology’ цэсийн ‘Directional filter’ командаар хагарлыг тодруулан зураглаж рельефийн тайлал хийв.

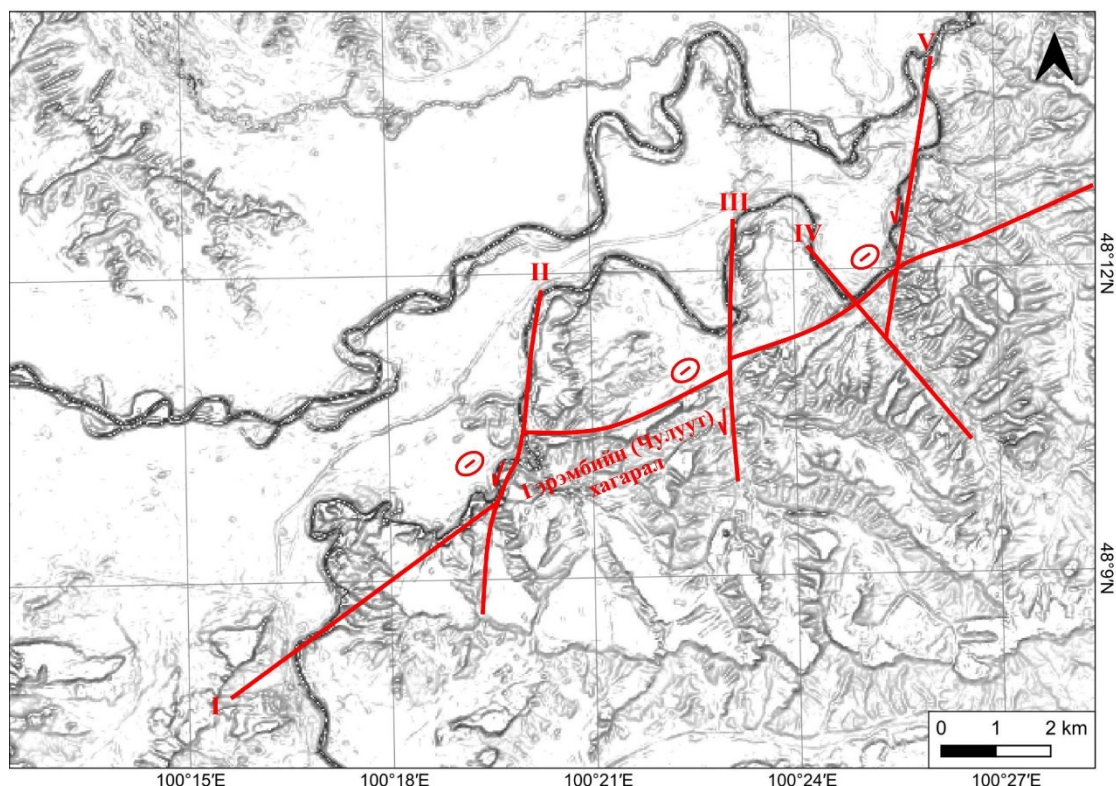
Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Чулуут хагарлын морфометрийн болон сансрын зургийн тайлал: Гадаргад илрэх морфометрийн үзүүлэлтүүд түүнд илэрч буй аномаль шинж тэмдгүүд, тэдгээрийн орон зайн байрлалын зүй тогтол, бусад нэгэн төрлийн гадаргаас ялгагдах онцлогууд нь хагарлыг илэрхийлдэг (Болд, 1987; Enkhbold et al., 2022ab). Чулуут голын хөндийд үүссэн хагарлыг 1: 100000 масштабын байрзүйн болон сансрын зураглалд тулгуурлан тайлал хийв (Зураг 2).



Зураг 2. Байрзүйн зураглалд хийсэн хагарлын тайлал

Судалгааны талбайд өргөргийн дагуух чиглэлд тогтоогдож буй I эрэмбийн буюу Чулуут хагарлын хувьд рельефийн босоо шугамын дагуух хаялбар хоорондын өндөрт гажилтууд үүссэн бөгөөд гажилтууд нэг шулууныг дагаж давтагдах зүй тогтолтой байна. Түүнчлэн байрзүйн зурагт хаялбарууд нь Чулуут хагарлын дагуу баруун урдаас зүүн хойд чигт өргөргийн дагуу шугаман структурыг үүсгэсэн нь үндсэн I эрэмбийн хагарлыг илэрхийлж байв. Үндсэн хагарлыг огтолж уртрагийн дагуу урдаас хойд чигт II-V эрэмбийн хагарлууд үүссэн нь голын голдирол, хавцлын хөгжилд шууд тусгалаа олжээ (Зураг 2). Байрзүйн зурагт хийсэн тайллыг сансрын зурагт дараах байдлаар баталгаажуулав (Зураг 3).

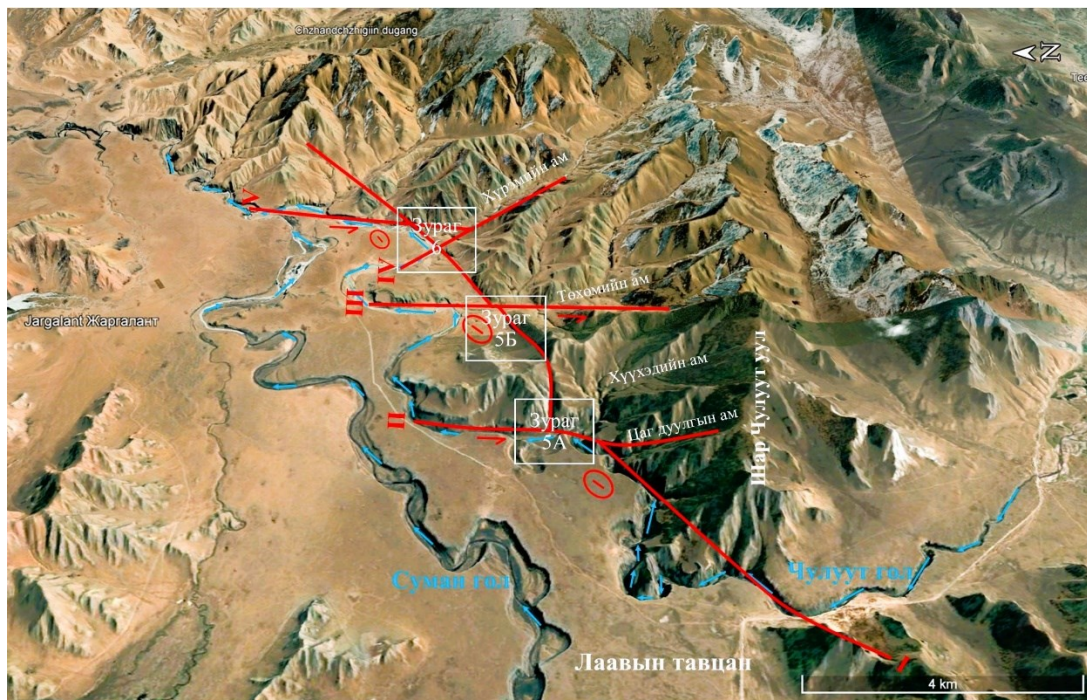


Зураг 3. Сансрын зураглалд хийсэн хагарлын баталгаажуулалт

Байрзүйн зурагт тогтоосон хагарлын шугамаа Зайнаас Тандан Судлалын ENVI 5.3 программ дээр шалгаж орон зайн сайжруулалтын аргаар хагарлын шугамаа тулган тайлал хийж үзэхэд Чулуутын хавцлын дагуу баруун урдаас зүүн хойд чигт үндсэн хагарал, түүнийг огтолсон урдаас хойд чиглэлд хэд хэдэн хагарлын шугам илэрч байв. Чулуутын хагарал нь сансрын зураглалаар баталгаажиж морфометрийн шинжилгээний тайлалтай нийцэж байв.

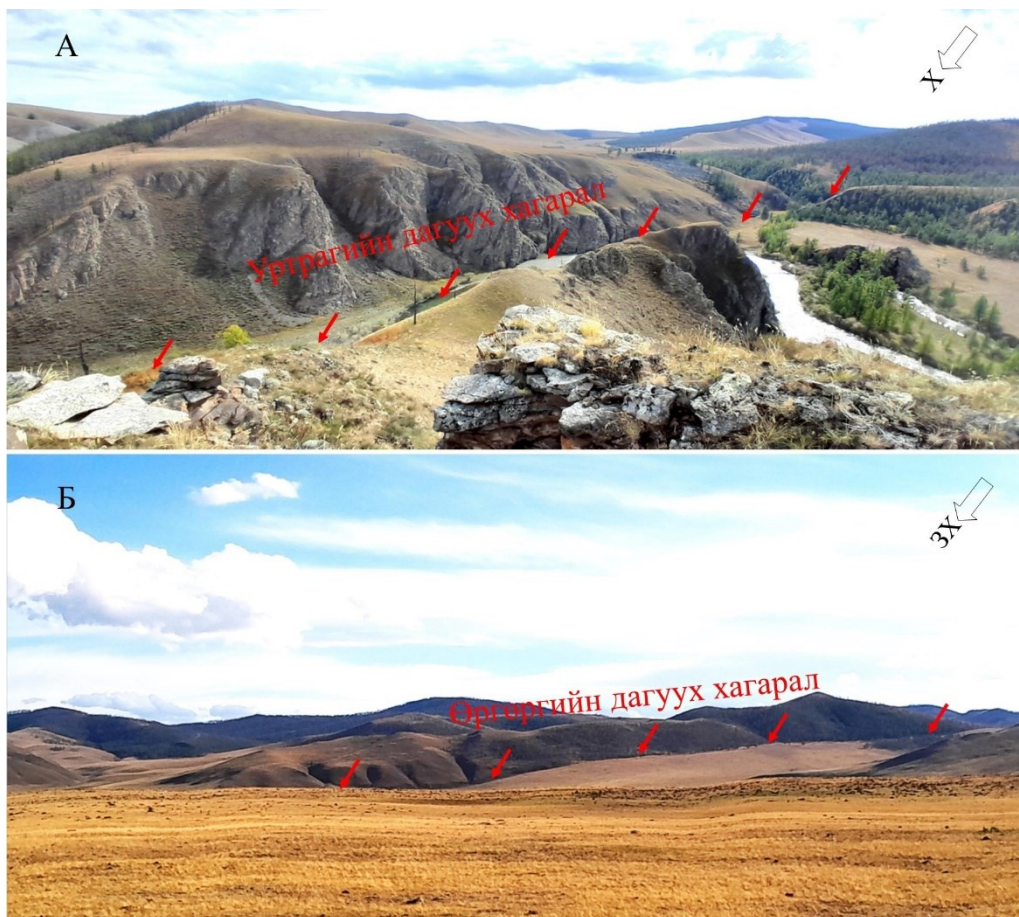
Чулуутын хавцлын морфологийн хөгжилд хагарлын нөлөө: Хагарлын ан цаваар хүчтэй шахагдан бялхах лаав урсамттай шинж чанартай учраас томоохон талбайг хамарсан байдаг онцлогтой (Уламбадрах, 2014). Лаав хэр хурдан хугацаанд хөрөхийг тодорхойлох хамгийн чухал хүчин зүйл бол түүний зузаан юм (Hon et al., 1994; Wiechert et al., 1997; 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). Эндээс тоймлоход Чулуут голын хөндийд хуримтлагдсан лаавын зузаан дунджаар 50 метр орчим юм. Тэгвэл лаавын тавцан хөрч хатуурах хугацааг дунджаар тооцоолвол 25-30 жил болно. Лаавын тавцан хөрч хатуурсны дараа нь энэ бүс нутгийн тектоник хөдөлгөөн, хагарлын нөлөөгөөр ан цавууд үүсч уг ан цавыг дагаж голын голдирол хөгжлийн горимоо олсон болох нь Чулуут голд тусгалаа олжээ. Харин Чулуут голын усны хэмжээ, урсгалын хурд ийм хэмжээний зузаантай лаавын тавцанг эрозийн хүчээр элэгдүүлэх боломжгүй тул хагарлын нөлөөг тодруулах нь чухал юм.

Судалгааны талбайн гурван хэмжээст сансрын зураглалд голын голдирол, хавцлын зүй тогтлыг хагаралтай холбож зураглав (Зураг 4).



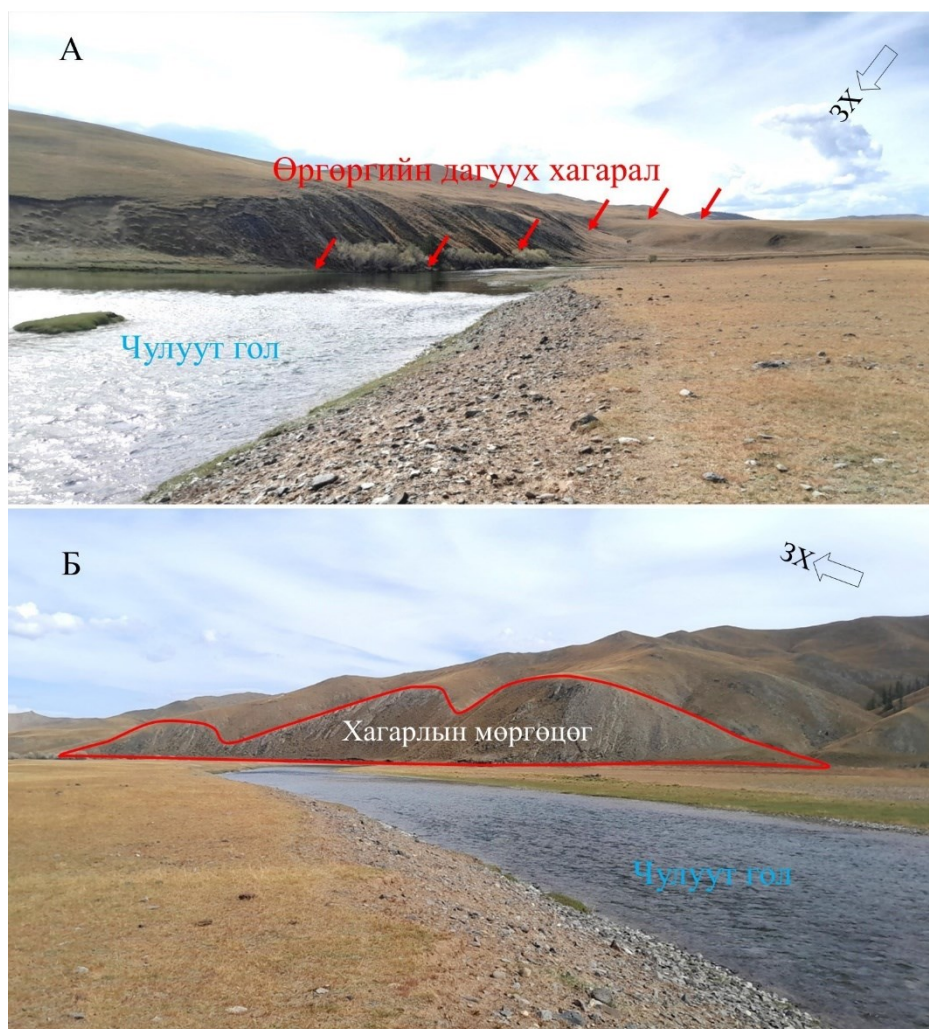
Зураг 4. Чулуут хагарал ба голын голдирол, хавцлын зүй тогтол

Чулуут голын голдирлын анхны чиглэл нь Халзан Бүргэдтэй уул (д.т.д 2245.4 метр) болон Шар Чулуут уул (д.т.д 2230.2 метр)-ын хооронд хойд зүгт чиглэлтэй урсаж байгаад үндсэн хагарлын дагуу огцом зүүн хойд чигт шилжжээ. Энэ нь баруун урдаас зүүн хойд чиглэсэн үндсэн буюу I эрэмбийн Чулуут хагарлын чиглэлтэй нийцэж байв. Энд үндсэн хагарлын дагуу Шар Чулуут уулын хойд хэсэг таслагдаж атираа үүссэн байв. Түүнчлэн үндсэн хагарлын дагуу байрзүйн зурагт хаяалбар хоорондын зай ойр зурагдсан, сансрын зурагт шулуун структурыг үүсгэж байгаа нь хагарлын мөргөцгүүдийг үүсгэжээ. Тодруулбал Чулуут хагарлын дагуу баруун урдаас зүүн хойд чигт голын голдирол, хавцлын өмнөд эрэг нь эх чулуулагт хагарлын мөргөцгүүд үүссэн параллель чигт лаавын тавцангаар хучигдсан байв. Харин үндсэн хагарлыг огтолж Цаг Дуулгын аманд урдаас хойд зүгт чиглэсэн II эрэмбийн хагарал нь эх чулуулгийн зүсэж голын голдирол огцом хойд зүгт чиглэжээ. Энэ хэсэгт голдирлын өөрчлөлт нь хавцлын морфологид тусгалаа олж анхдагч голдирол буюу тохойрсон голдирол хаягдаж үлджээ (Зураг 5А).



Зураг 5. Чулуут хагарлын гадаргад илрэх шинж тэмдэг А. Уртрагын дагуух хагарлын дагуу Чулуут голын голдирол шулуун урсаж буй байдал Б. Өргөргийн дагуух хагарал гадаргад шугаман структур үүсгэсэн байдал

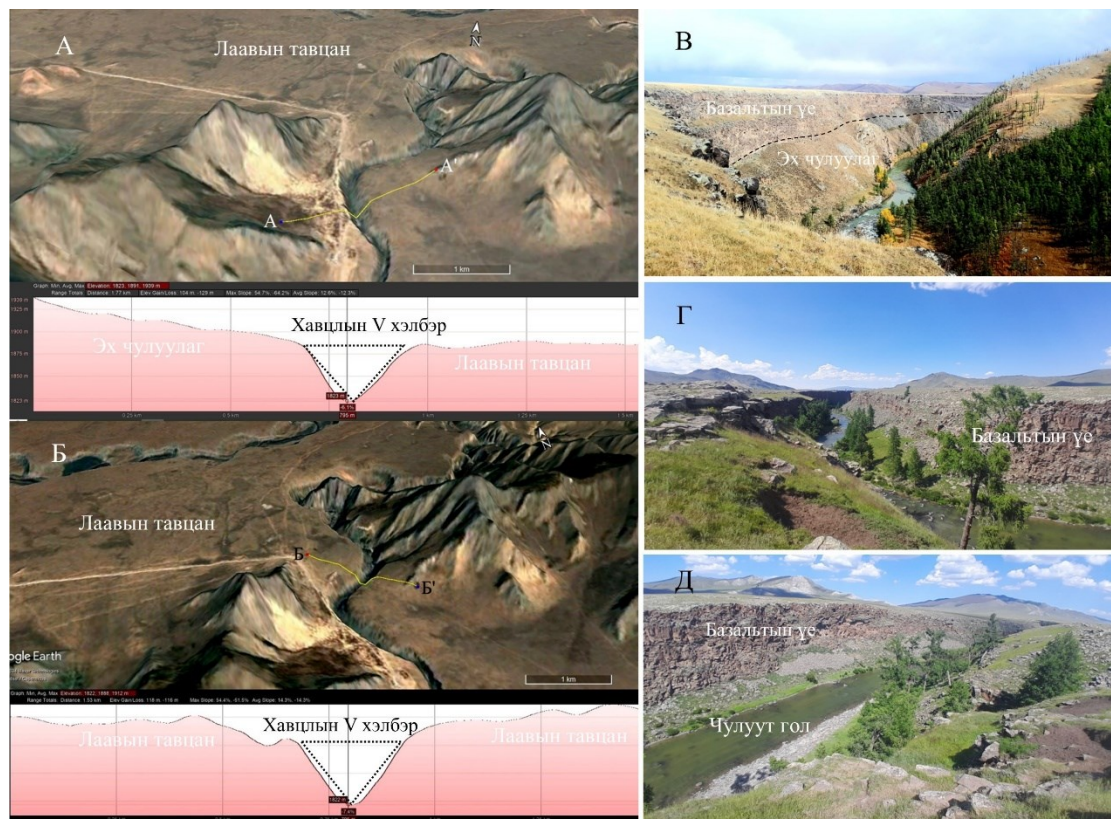
Чулуут хагарал цааш өргөргийн дагуу зүүн хойд зүгт чиглэхдээ Салхитын амыг дайрч рельефт шугаман структурыг үүсгэсэн бөгөөд хагарлын мөргөцөг болон ойн зурвас уг хагарлаар таслагджээ (Зураг 5Б). Харин II-V эрэмбийн уртрагийн дагуух хагарлууд нь голын голдирлын меандрлалт шууд нөлөөлсөн байна (Зураг 2-4). Чулуут хагарлын төгсгөл хэсэг хагарлын мөргөцөг болон гадаргад шулуун структурыг үүсгэжээ. Энэ хэсэгт голын голдирол үндсэн хагарлыг дагаж урссаар Суман голтой нийлдэг (Зураг 6).



Зураг 6. Голын голдирол ба хагарлын хамаарал А. Өргөргийн дагуух хагарал баруун гарын шилжил үүсгэсэн байдал Б. Голын голдирлын чиглэл ба хагарлын мөргөцөг үүсгэсэн байдал

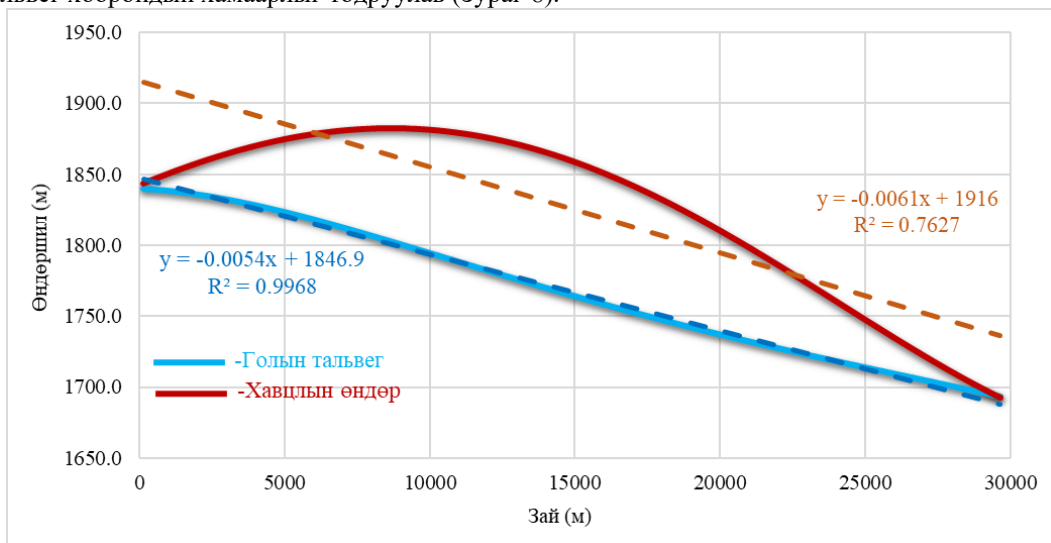
Тогдоогдож буй хагарлуудын заагт үрэлтийн улмаас үүсдэг милонитын шавар Халзан Бүргэдтэй (д.т.д 2245.4 метр) уулын энгэр, Цаг Дуулгын аманд урдаас хойд зүгт чиглэсэн II эрэмбийн хагарал эх чулуулгийн зүссэн хэсэгт үүссэн байв. Энэ хагарал өмнө янз бүрийн геологи, геоморфологийн зураглал, судалгаанд тодорхойлогдож байгаагүй бөгөөд хээрийн болон энэ судалгааны үр дүнгээр анх удаа тогтоож байгаагаараа онцлог юм.

Чулуутын хавцлын гипсометрийн зүсэлтээр илэрхийлснээр рельефийн хэлбэрт үүсч буй морфологид шинжилгээ хийх боломжтой юм (Зураг 7).



Зураг 7. Чулуутын хавцлын V хэлбэр ба хүрмэн чулуун үелэлийн зүй тогтол

Чулуутын хавцлын гипсометрийн зүсэлтэд V маягийн хэлбэртэй, хажуугийн огцом налуу хэлбэр үүсчээ. Энэ нь урсгал усны гаралтай хавцлын сонгодог хэлбэр бөгөөд усны эрозийн нөлөөг давхар илэрхийлж байна (Зураг 7АБ). Чулуут хавцлын эхэн хэсэгт голын голдирол хүрмэн чулуун дундуур зүсэж урссан бол үндсэн хагарлын дагуу эх чулуулгийг давхар зүсэн урссан зүй тогтол илэрч байв (Зураг 7ВГД). Энэ нь хагарал ба усны эрозийн хавсарсан нөлөөг илэрхийлж байна. Судалгааны талбайд голын унал 140 метр хүрдэг бөгөөд хавцлын морфологи, хэмжээнээс хамаарч урсгалын хурд огцом нэмэгддэг зүй тогтолтой байв. Түүнчлэн хавцлын өндөр ба голын тальвег хоорондын хамаарлыг тодруулав (Зураг 8).



Зураг 8. Чулуутын хавцлын өндөр ба голын тальвег хоорондын өндрийн хамаарал

Чулуут голын тальвег нь голын 140 метрийн зөрүү бүхий уналын дагуу урсаж шугаман хамаарал $y = -0.0054x + 1846.9$, $R^2 = 0.9968$ байна. Харин хавцлын зузаан гадаргын хотгор гүдгэрийн хэлбэрээс шалтгаалаад шугаман хамаарал $y = -0.0061x + 1916$, $R^2 = 0.7627$ буюу хөндлөн зүсэлтийн 5-20 км зайд хамгийн их гүн байна. Энэ хэсэгт Чулуут голын голдирол огцом хойш чиглэж урсдаг ба II эрэмбийн уртрагийн дагуух хагаралтай шууд холбоотойгоор үүссэн гүн юм. Эндээс өргөргийн дагуух I эрэмбийн хагарлыг огтолж II эрэмбийн уртрагийн дагуух ортоганал хагарал үүссэнээр газрын гадарга доош суужээ. Газрын гадарга доош суусан хэсэгт лаавын тавцангийн хамгийн зузаан хэсэг хуримтлагдсан нь хавцлыг энэ хэсэгт 95.7 метр хүртэл хамгийн гүн болгоход нөлөөлжээ. Харин III-V эрэмбийн уртрагийн дагуух хагарлуудын нөлөөгөөр гадарга доош суусан боловч их хэмжээний лаавын хуримтлал үүсээгүй байв.

Хангайн нурууны голуудын шугаман урсацын бүрэлдэлт нь геологийн структуруудын байрлалыг даган, тектоникийн хөдөлгөөний чиглэл, горимоос шалтгаалан рельеф үүсэх процесстой бүрэн тохирч явагдсан байдаг (Мөнхөө, 1979; Флоренсов, Коржув, 1982). Хангайн нуруунаас эх авч Байгаль нуурын чиглэлд урсах Чулуут, Хануй, Хойд, Урд тамирын голууд нь плиоцены сүүлч болон дөрөвдөгчийн эхэн, дунд, сүүл үеийн хэд хэдэн тектоник хувьсал өөрчлөлтийн үеийг дамжин өнөөгийн гол мөрдийн сүлжээ бүрэлдэж тогтжээ (Базаров, 1968; Мөнхөө, 1979). Ингэхдээ галт уулын чулуулгийн тархалт бүхий бүсэд томоохон хавцлын морфологи хэлбэрийг үүсгэснээрээ онцлогтой байна.

Хавцлын хөгжил нь тектоникийн нөлөө, уур амьсгал, усзүйн өөрчлөлт, хүндийн хүчний элэгдэл зэргээс хамаарч голын идэгдэл хавцлын ёроолыг улам бүр зүсэх ба хажуугийн чулуулагт нурулт, гулсалт эсвэл хүндийн хүч, өгөршил, хур тунадасны үйл явцаар улам бүр өргөжин тэлж хөгждөг зүй тогтолтой (Cook et al., 2009; Schildgen et al., 2009; Flowers, Farley, 2012; Glade et al., 2019). Голуудын хавцал нь ихэвчлэн үндсэн чулуулагтай эгц хана үүсгэж V хэлбэрийг үүсгэдэг (Glade et al., 2019) бөгөөд Чулуут голын хавцал энэ морфологи, хэв шинжийг бүрэн илэрхийлдэг онцлогтой юм. Цаашид Чулуут голын хавцлын хөгжлийн сэргээн босголтыг тектоникийн болон уур амьсгал, ус зүйн хүчин зүйлсийг нарийвчлан тодорхойлох шаардлагатай юм. Ер нь Монгол орны гол мөрдийн усзүйн систем нь эх газрын гадаргын хэв шинжтэй шууд уялддаг онцлогтой. Чулуут голын хавцлын морфологийн зүй тогтолд хагарлын нөлөөг тайлал хийж тодорхойлсон нь цаашид Монгол орны томоохон гол мөрдийн голдирлын чиглэл, зүй тогтолд хагарлын нөлөөг илрүүлэх, тодорхойлох боломжийг нээж өгч байна.

Чулуут голын хөндийн лаавын гарал үүсэл, геохими, геохронологийн тойм ба хавцлын морфологи, хагарлын хамаарал: Гарал үүслийн хувьд, Тариат-Чулуутын галт уулын бүсийн хэмжээнд тархсан базальт чулуулгийг геохимийн найрлагаар $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ дунджаар 7.7 буюу шохойлог шүтлэг найрлагатай, эх газрын царцдаст үүссэн болохыг тодорхойлж байсан (Кепежинскас, Лучицкий, 1979). Тектоник хөдөлгөөний идэвхшилийн нөлөөгөөр Хангайн нурууны дагуух олон хагарлууд идэвхжиж хагарлын дагуу хожуу миоценээс плейстоцены (Chuvashova et al., 2022) лаав бялхах томоохон хөшүүрэг болж, түүнээс томоохон талбайд лаавын тавцан үүссэн байна (Enkhbold et al., 2022a). Тариат-Чулуутын галт уулын идэвхшилийн үеийн царцдасын зузаан ~45 км болохыг тогтоосон (Zorin et al., 2002; Tsagaan et al., 2024). Төв Азид кайнозойн вулканизм хөгжих болсон шалтгааны талаар 6 загвар дэвшүүлэгдсэн (Khain, 1990; Yarmolyuk, 1991; Windley, Allen, 1993; Petit et al., 2002; Barry et al., 2003; Khukhuudei et al., 2024). Эндээс Тариат-Чулуутын бүсийн вулканизмын магмын гарал үүслийн хувьд мантийн плюмтай холбож тайлбарласан боловч базальтын геохимийн найрлага нь гүний эх үүсвэртэй мантийн урсгалтай тохирдоггүй байна (Windley, Allen, 1993; Petit et al., 2002). Гэхдээ Тариат-Чулуутын бүсэд бага хэмжээний царцдасын тэлэлт явагдсан цаг хугацаанд энэ бүсийн вулканизм идэвхжсэн нь цаг хугацааны хувьд давхцдаг онцлогтой (Мөнхцэнгэл нар, 2009).

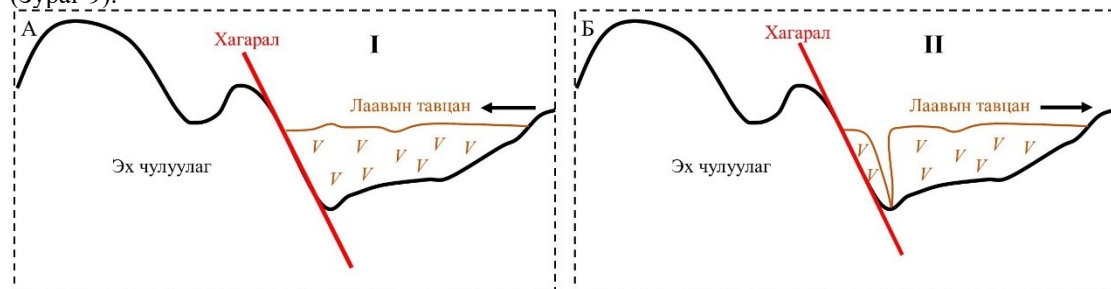
Геохимийн хувьд, Тариат-Чулуутын бүсийн гранаттай вебстерит, гранаттай лерцолит 18-20 кбар даралт, 1070-1090°C температурын нөхцөлд үүссэн болохыг мантийн ксенолитын судалгаагаар тогтоож Хангайн өргөгдөл, түүнтэй холбоотой магматизм нь гүний халуун цэгийн нөлөөгөөр эх газрын нимгэрэл явагдсантай холбоотой (Harris et al., 2010) гэж үзжээ. Базальтын чулуулагт агуулагдах SiO_2 -ын хэмжээ 46.4-51.9% тул урсамттай шинж чанартай суурилаг лаав үүсгэжээ (Barry et al., 2003; Hunt et al., 2012; Ancuta et al., 2018). Чулуут голын хөндийн лаавын тавцангийн $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$ -ын хамаарал нь суурилаг, суурилаг-дундлаг найрлагатай базальт,

трахибазальт, тефрит, фонотефрит, трахиандезитаас бүрджээ (Кепежинскас, Лучицкий, 1979; Harris, 2010; Hunt et al., 2012; Ancuta et al., 2018).

Геохронологийн хувьд, кайнозойн базальтын насыг тунамал чулуулагтай харьцах байдлаар нь болон соронзон орны судалгаа, тунамал чулуулагт агуулагдах амьтан, ургамлын үлдвэрийн харьцуулсан судалгаагаар анх тогтоож байжээ (Девяткин, 1981, 2004).

Чулуут голын хөндийн лаавын тавцан 3 үе давхаргад ялгахад бөгөөд К-Аг аргаар базальтын доод хэсгийн үнэмлэхүй нас 12.5-11.2 с.ж., дунд хэсгийн үнэмлэхүй нас 6.3-1.8 с.ж., дээд хэсгийн базальтын үнэмлэхүй нас ойролцоогоор 1 с.ж. заажээ (Девяткин, 1981, 2004; Мөнхцэнгэл нар, 2009; Chuvashova et al., 2022). Харин Логачев нар (1982)-ынхаар Чулуут голын дэнжийн базальтын нас 4 ± 2.5 , 3.8 ± 0.2 , 3.6 ± 0.2 с.ж. болохыг тогтоосон байдаг (Мөнхцэнгэл нар, 2009). Мөн Чулуут голын адаг хэсэгт базальтын нас 7.6-6.0 с.ж., Суман-Чулуут голын бэлчир орчимд базальтын нас 4.55 с.ж., Шар Чулуут уулын хойд хэсгийн хавцал орчимд базальтын нас 0.75-0.36 с.ж. болохыг тогтоосон (Yarmolyuk et al., 2008) бол хавцлын эхэн хэсэгт $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ аргаар 5.9 с.ж болохыг тус тус тогтоожээ (Ancuta et al., 2018). Харин Чулуут голын хөндийн лаавын урсгал бүхий базальтаас авсан дээжинд Аг-Аг аргаар хамгийн залуу хугацааг 0.55 ± 0.02 с.ж болохыг тогтоожээ (Barry et al., 2003). Өмнөх судлаачдын хийсэн насны судалгааны үр дүнгүүд нь базальтын дээж авсан газрын нарийвчилсан газарзүйн байршил, өндөршил, лаавын давхаргын аль үеэс дээж авсан зэрэг нарийн мэдээлэл ихэнхдээ дутмаг байна. Гэхдээ судлаачдын үр дүнг нэгтгэн үзэхэд Чулуут голын хөндийн лаавын тавцангийн суурь хожуу миоценээс хуримтлагдан эхэлж плиоцены үед хамгийн их хэмжээтэй лаавын бялхалтаар хэлбэржин тогтож, плейстоцены цаг үе хүртэл бүрэлдэж өнөөгийн үе давхарга, хэв шинж, зузаан болон хуримтлагдсан болох нь тогтоогдож байна. Цаашид орчин үеийн геохронологийн нас тогтоох аргазүйд тулгуурлан базальтын үе тус бүрийн насны судалгааг нарийвчлан тогтоож шаардлагатай юм.

Чулуутын хавцлын морфологийн үүсэл, хагарлын нөлөөг дараах байдлаар загварчлав (Зураг 9).



Зураг 9. Чулуутын хавцлын морфологи загвар А. Хагарал дагасан хавцлын морфологи загвар Б.

Хүндийн хүч дагасан хавцлын загвар

Чулуут хагарал нь хугацааны хувьд лаавын тавцан болон хавцлаас өмнө нь үүссэн зүй тогтолтой байна. Харин вулканизмын идэвхжилийн дараагаар Чулуут хагарал, түүнийг дагасан II-V эрэмбийн хагарлууд тектоникийн нөлөөгөөр Чулуут хавцлын морфологи үүсэхэд шууд нөлөөлжээ. Чулуут голын хөндийд тархсан лаав нь урсамттай шинж чанартай суурилаг найрлагатай учраас лаавын тавцан үүсгэж голын голдирлыг хаасан. Голдирол хаагдсаны дараагаар хагарлын нөлөөгөөр ан цавууд гадаргад үүсэж уг ан цавыг дагаж голын урсгал чиглэлээ олж хавцлын морфологи үүсэхэд хамгийн чухал нөлөө үзүүлжээ. Цаг хугацааны зүй тогтлыг тодруулахад лаавын хуримтлал хожуу миоценээс эхэлж плиоцен, плейстоцены цаг үе хүртэл бүрэлдсэн (Девяткин, 1981; Barry et al., 2003; Девяткин, 2004; Yarmolyuk et al., 2008; Мөнхцэнгэл нар, 2009; Ancuta et al., 2018; Chuvashova et al., 2022). Харин Чулуут голын голдирол нь плиоцены сүүлчээс эхлэн өнөөг хүртэл шинэ тектоник хөдөлгөөний нөлөө (Базаров, 1968; Кожевников и др., 1970; Мөнхөө, 1979), эртний уур амьсгалын хувьсал өөрчлөлтийн (Lehmkuhl et al., 2004; Rother et al., 2014; Klinge et al., 2022; Enkhbold et al., 2024a; Enkhbold et al., 2024b) үеийг дамжин усзүйн сүлжээ нь бүрэлдэн тогтсон болох нь тогтоогдож байна.

Дүгнэлт

Газрын гадаргын морфологийн онцлог хэлбэр болох Чулуут голын хавцлын гарал үүслийг хагарлын зүй тогтолтой холбож тодорхойлов. Чулуут голын хөндийн дагуу 40-60 метр бүхий лаавын тавцангийн дундуур урсаж буй Чулуут голын хавцал үүсэхэд урсгал усны идэгдлээс илүү энэ бүс нутгийн тектоник хагарал чухал үүрэг гүйцэтгэжээ.

Судалгаанд геоморфологийн морфометрийн болон сансрын зургийн орон зайн сайжруулалтын хосолсон аргазүйд тулгуурлаж хээрийн хэмжилт, зураглалын материалд тулгуурлан тодорхойлов.

Судалгааны талбайд хамрагдсан Чулуут хавцлын урт 32 км орчим, талбай 9.3 км², Хавцал дунджаар 230 метр өргөн, 48.2 метр гүн, хавцлын эзэлхүүн 1.03 км³, дундаж налуу 45° байв.

Чулуут голын хөндийд баруун гарын шилжил бүхий баруун урдаас зүүн хойд зүгт чиглэсэн өргөргийн дагуух үндсэн I эрэмбийн (Чулуут) хагарал, хавцлын дунд хэсэгт урдаас хойд чигт үндсэн хагарлыг огтолсон уртрагийн дагуух II-V эрэмбийн хэд хэдэн ортогонал хагарал үүсчээ. Энэхүү хагарлуудын зүй тогтолд Чулуутын хавцал болон голын үндсэн голдирол чиглэлээ олжээ. Энэ хагарал өмнө янз бүрийн геологи, геоморфологийн зураглал, судалгаанд тодорхойлогдож байгаагүй тул анх удаа хээрийн болон судалгааны үр дүнгээр тогтоож байгаагаараа онцлог юм.

Чулуут хагарлын нөлөөгөөр гадаргад шугаман структур үүсэх, уулархаг гадаргад нугачаа атираа, эх чулуулагт хагарлын мөргөцгүүд үүссэн байв. Энэ нь хавцал үүсгэх үндсэн хүчин зүйл бөгөөд голын голдирол огцом тохойрох болон зарим хэсэгт шулуун чиглэлд урсах нь хагаралтай шууд холбоотой юм.

Голын хөндийн морфологийн гарал үүсэл, хөгжлийн үйл явцад хагарлын зүй тогтол тодорхой нөлөөлдөг болохыг энэ судалгааны үр дүнгээр батлагдаж байна.

Талархал

Энэхүү судалгааг ШУТС-ийн 2024-2026 онд хэрэгжүүлэх “Монгол орны нуурын геоморфологийн шинэ мужлал” сэдэвт суурь судалгааны төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

Ном зүй

1. Амарсайхан, Д., Ганзориг, М. (2010). *Зайнаас Тандан Судлал болон дүрс мэдээнд тоон боловсруулалт хийх зарчмууд*, Улаанбаатар хот, 55-61.
2. Базаров, Д.Б. (1968). История развития сети Западного Забайкалья-В кн. Проблемы геоморфологии и неотектоники орогенных областей Сибири и Дальнего Востока, *Наука*, Новосибирск, с. 23-31
3. Болд, Я. (1987). *Геоморфологийн Үндэс ба судалгаа*. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн газар, 94-97.
4. Геншафт Ю.С., Салтыковский А. Я., (2000). Кайнозойский вулканизм Монголии, *Российский журнал наук о Земле*, Том 2, No2, с.153-183.
5. Девяткин, Е. В. (1981). *Кайнозой Внутренней Азии:(стратиграфия, геохронология, корреляция)*. Наука.
6. Девяткин, Е. В. (2004). Геохронология кайнозойских базальтов Монголии и их связь со структурами новейшего этапа. *Стратиграфия. Геологическая корреляция*, 12(2), 102-114.
7. Желубовский, Ю.С. (1945). Четвертичные вулканы Монголии. *Очерки физической географии Монголии эмхтгэл*. с. 70-74
8. Жигж, С. (1977). Геоморфологическая характеристика бассейна высокогорной реки Цагаан-Туруут. Монгол орны газарзүйн асуудал 16, 20-27.
9. Кепежинкас, В. В. (1979). *Кайнозойские щелочные базальтоиды Монголии и их глубинные включения*. Москва, с. 67-88
10. Кожевников, А.В., Савин, В.Е., Уфлин, А.К. (1970). История Развития Хангайского Нагорья в Мезозое и Кайнозое-В Кн. *Геология Мезозоя и Кайнозоя Западной Монголии*, с.123-136
11. Маринов, Н. А. (Ed.). (1973). *Геология Монгольской народной республики*. Недра.

12. Мөнхөө, З. (1979). *Дорнод Хангайн структур-геоморфологийн онцлогууд*. Улаанбаатар хот, Улсын Хэвлэлийн Газар. 36-56.
13. Мөнхцэнгэл, Б., Мажигсүрэн, Ё., Жавхлан, О. (2009). Кайнозойн эффузив чулуулаг. *Монголын геологи ба ашигт малтмал*, Бямба. Ж (ред), III боть, Соёмбо принтинг, Улаанбаатар, 378-406.
14. Мурзаев, Э. М., Маринов., Н.А., Сырнёв., И.П. (1971). Палеография Четвертичного Периода Территории Монголии-Изв. Всесоюзного, *Географ, Общ.* т. 103, Вып. 5.
15. Мурзаев, Э.М (1952). *Монгольская Народная Республика. Физико-Географическое Описание*, Москва, с.156-171.
16. Уламбадрах, Х (2014). Ерөнхий геоморфологи, Улаанбаатар, х.71-88.
17. 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.
18. Флоренсов, Н. А., & Коржув, С. С. (1982). Геоморфология Монгольской Народной республики. *Наука*. 23-67
19. Ancuta, L. D., Zeitler, P. K., Idleman, B. D., & Jordan, B. T. (2018). Whole-rock $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology, geochemistry, and stratigraphy of intraplate Cenozoic volcanic rocks, central Mongolia. *Bulletin*, 130(7-8), 1397-1408.
20. Barry, T. L. (1999). *Origins of Cenozoic basalts in Mongolia: a chemical and isotope study*. University of Leicester (United Kingdom).
21. Barry, T. L., Ivanov, A. V., Rasskazov, S. V., Demonterova, E. I., Dunai, T. J., Davies, G. R., & Harrison, D. (2007). Helium isotopes provide no evidence for deep mantle involvement in widespread Cenozoic volcanism across Central Asia. *Lithos*, 95(3-4), 415-424.
22. Barry, T. L., Saunders, A. D., Kempton, P. D., Windley, B. F., Pringle, M. S., Dorjnamjaa, D., & Saandar, S. (2003). Petrogenesis of Cenozoic basalts from Mongolia: evidence for the role of asthenospheric versus metasomatized lithospheric mantle sources. *Journal of Petrology*, 44(1), 55-91.
23. 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.
24. Cook, K. L., Whipple, K. X., Heimsath, A. M., & Hanks, T. C. (2009). Rapid incision of the Colorado River in Glen Canyon—insights from channel profiles, local incision rates, and modeling of lithologic controls. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(7), 994-1010.
25. Ding, W., Li, J., Li, J., Fang, Y., & Tang, Y. (2013). Morphotectonics and evolutionary controls on the Pearl River canyon system, South China Sea. *Marine Geophysical Research*, 34, 221-238.
26. Dingus, W. F., & Galloway, W. E. (1990). Morphology, Paleogeographic Setting, and Origin of the Middle Wilcox Yoakum Canyon, Texas Coastal Plain (1). *AAPG Bulletin*, 74(7), 1055-1076.
27. Enkhbold, A., Dingjun, L., Ganbold, B., Yadamsuren, G., Tsasanchimeg, B., Dorligjav, S., ... & Boldbayar, R. (2024a). Changes in morphometric parameters of lakes in different ecological zones of Mongolia: implications of climate change. *Climate Research*, 92, 79-95.
28. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Chun, X., Yadamsuren, G., Ganbold, B., & Gerelmaa, T. (2022a). Morphodynamic development of the Terkhii 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.
29. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Kusky, T., Tsermaa, B., & Doljin, D. (2022b). Depression morphology of Bayan Lake, Zavkhan province, Western Mongolia: implications for the origin of lake depression in Mongolia. *Physical Geography*, 43(6), 727-752.
30. Enkhbold, A., Khukhuudei, U., Seong, Y. B., Gonchigjav, Y., Dingjun, L., & Ganbold, B. (2024b). 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.
31. Flowers, R. M., & Farley, K. A. (2012). Apatite $4\text{He}/3\text{He}$ and $(\text{U-Th})/\text{He}$ evidence for an ancient Grand Canyon. *Science*, 338(6114), 1616-1619.

32. Glade, R. C., Shobe, C. M., Anderson, R. S., & Tucker, G. E. (2019). Canyon shape and erosion dynamics governed by channel-hillslope feedbacks. *Geology*, 47(7), 650-654.
33. Grizonnet, M., Michel, J., Poughon, V., Inglada, J., Savinaud, M., & Cresson, R. (2017). Orfeo ToolBox: Open source processing of remote sensing images. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 2, 1-8.
34. 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.
35. 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.
36. 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.
37. 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.
38. 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.
39. Karlstrom, K. E., Lee, J. P., Kelley, S. A., Crow, R. S., Crossey, L. J., Young, R. A., ... & Shuster, D. L. (2014). Formation of the Grand Canyon 5 to 6 million years ago through integration of older palaeocanyons. *Nature Geoscience*, 7(3), 239-244.
40. 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.
41. Khain, V. E. (1990). Origin of the Central Asian mountain belt: Collision or mantle diapirism. *Journal of Geodynamics*, 11(4), 389-394.
42. 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.
43. Kim, T., Seong, Y. B., Sarıkaya, M. A., Jeon, Y., Enkhbold, A., Khukhuudei, U., & Binnie, S. A. (2024). Geochronological (36Cl and OSL) and geomorphic insights into the formation of Terkhiin Tsagaan Lake and Khorgo Volcano in Central Mongolia: Unravelling a pre-Holocene paleolake. *Geomorphology*, 456, 109214.
44. Klinge, M., Schneider, F., Li, Y., Frechen, M., & Sauer, D. (2022). Variations in geomorphological dynamics in the northern Khangai Mountains, Mongolia, since the Late Glacial period. *Geomorphology*, 401, 108113.
45. 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 center in the Tariat depression, Hangai, Mongolia. *Lithos*, 36(3-4), 243-255.
46. 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.
47. Lastras, G., Acosta, J., Muñoz, A., & Canals, M. (2011). Submarine canyon formation and evolution in the Argentine Continental Margin between 44° 30'S and 48° S. *Geomorphology*, 128(3-4), 116-136.
48. 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.
49. Nixon, M., & Aguado, A. (2019). Feature extraction and image processing for computer vision. *Academic Press*. 344-356.
50. Petit, C., Burov, E., & Tiberi, C. (2008). Strength of the lithosphere and strain localization in the Baikal rift. *Earth and Planetary Science Letters*, 269(3-4), 523-529.

51. 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.
52. Rother, H., Lehmkuhl, F., Fink, D., & Nottebaum, V. (2014). Surface exposure dating reveals MIS-3 glacial maximum in the Khangai Mountains of Mongolia. *Quaternary Research*, 82(2), 297-308
53. 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.
54. Schildgen, T. F., Ehlers, T. A., Whipp Jr, D. M., van Soest, M. C., Whipple, K. X., & Hodges, K. V. (2009). Quantifying canyon incision and Andean Plateau surface uplift, southwest Peru: A thermochronometer and numerical modeling approach. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 114(F4).
55. Sexton, J. M. (2012). College students' conceptions of the role of rivers in canyon formation. *Journal of Geoscience Education*, 60(2), 168-178.
56. 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.
57. Tsagaan, B., Chimed, O., Tsermaa, B., & Khukhuudei, Y. (2024). The Crustal Thickness and Vp/Vs Ratio in Mongolia. *Geodynamics & Tectonophysics*, 15(4), 0771.
58. Tugjamba, N. (2021). Hydrography of Mongolia. In: Yembuu, B. (eds) *The Physical Geography of Mongolia. Geography of the Physical Environment*. Springer, Cham.
59. 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.
60. Windley, B. F., & Allen, M. B. (1993). Mongolian plateau: Evidence for a late Cenozoic mantle plume under central Asia. *Geology*, 21(4), 295-298.
61. Yarmolyuk, V. V., Kudryashova, E. A., Kozlovsky, A. M., & Lebedev, V. A. (2008). 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.
62. Zebker, H. A., Rosen, P., Hensley, S., & Mouginiis-Mark, P. J. (1996). Analysis of active lava flows on Kilauea volcano, Hawaii, using SIR-C radar correlation measurements. *Geology*, 24(6), 495-498.
63. Zorin, Y. A., Mordvinova, V. V., Turutanov, E. K., Belichenko, B. G., Artemyev, A. A., Kosarev, G. L., & Gao, S. S. (2002). Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication. *Tectonophysics*, 359(3-4), 307-327.