



МОНГОЛ УЛСЫН ИХ СУРГУУЛЬ
ШИНЖЛЭХ УХААНЫ СУРГУУЛЬ
ГАЗАРЗҮЙН ТЭНХИМ

Газарзүйн асуудлууд

Geographical Issues

Volume 22 (2)

ISSN: 2312-8534

2022

Улаанбаатар хот 2022

Эгийн голын хөндийн суурьшлын бүсийн инженер геоморфологийн тулгамдсан асуудал: Эрдэнэбулган сумын төвийн халианы жишээн дээр
Problems of engineering geomorphology in the settlement zone of the Eg River valley: A case study of Aufeis in Erdenebulgan Soum, Khuvsgul Province, Mongolia

©Г. Амарбат¹, Э. Алтанболд^{2*}, Х. Уламбадрах¹, Я. Гансүх³, Г. Бямбахүү², Г. Юмчмаа²
G. Amarbat¹, E. Altanbold^{2*}, Kh. Ulambadrakh¹, Ya. Gansukh³, G. Byambakhuu², G. Yumchmaa

¹Геологи, Геофизикийн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

²Газарзүйн тэнхим, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Монгол Улсын Их Сургууль, Монгол Улс

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

¹Department of Geology and Geophysics, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

²Department of Geography, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia, Mongolia

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

*Харилцагч зохиогч: altanbold@num.edu.mn

*Corresponding author: altanbold@num.edu.mn

Хүлээн авсан: 2022.09.19
Засварласан: 2022.10.15
Зөвшөөрөгдсөн: 2022.10.27

Хураангуй

Монгол орны үргэлжилсэн, тасалданги болон алаг цоог тархалттай цэвдэгт бүс нутагт оршдог сум, суурин газруудад хүйтний улиралд халиа үүсч байгаа нь суурьшлын бүсэд зайлшгүй шийдвэрлэх шаардлагатай тулгамдсан асуудлын нэг болоод байна. Энэ судалгаанд Эгийн голын хөндийд орших Хөвсгөл аймгийн Эрдэнэбулган сумын суурьшлын бүсэд халиа хэрхэн үүсч буй шалтгааныг тодруулав. Судалгаанд геоморфологи, цэвдгийн судалгааны материалд дүн шинжилгээ хийхээс гадна сансрын зургийн өгөгдөлд тулгуурлан цасны нормчлогдсон индекс (NDSI), цасны усны индекс (SWI)-ийн аргуудаар тооцоо хийв. Эгийн голын хөндийд ул хөрсний улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн норматив гүн 2.2-3.7 метрийн хооронд хэлбэлздэг. Хүйтний улирлын хөлдөлтөөс хамаарч хүйтний урт, богино, шулуун эгнээт ан цав, хагарал голын голдирол, татам, дэнж орчимд буюу суурьшлын бүсийн дагуу хүйтний улиралд идэвхитэй явагддаг зүй тогтол илэрч байв. Сүүлийн 10 гаруй жилийн хугацааны халианы талбайн дундаж хэмжээ 5555.8 м², халианы эзэлхүүн дундажаар 5000.2 м³ байв. 2022 онд халианы талбай 6381.3 м² болтлоо огцом нэмэгдсэн нь тухайн жилийн хур тунадасны хэмжээ, хөрсний температурын хэлбэлзэлтэй хамааралтай байх боломжтой. Монгол орны халианы талбай, эзэлхүүний ангилалаар судалгааны талбайд халианы III зэрэглэлд буюу дунд хэмжээтэй ангилалд багтах боловч суурьшлын бүсийн оновчгүй тэлэлт, төлөвлөлтийн буруу зохион байгуулалтаас шалтгаалж халианы тархалтын орон зайд өртөж байна. Сансрын зургийн сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацааны өөрчлөлтөөс үзэхэд Эгийн голын голдирол ишлэсэн нь халианы орон зайн тархалт суурьшлын бүс рүү түрэхэд хүргэсэн байх магадлалтай байна. Хот, суурин газруудын орон зайн байршлын төлөвлөлтөд цэвдгийн гаралтай үзэгдлүүд болон инженер геоморфологийн асуудлуудыг урьдчилан судалж тогтоох, сэргийлэх арга замуудыг тодорхойлоход энэхүү судалгаа жишиг болж өгөх юм.

Түлхүүр үгс: Халиа, Эрдэнэбулган сум, Цэвдэг, Суурьшлын бүс, Эгийн гол, инженер геоморфологи, цасны нормчлогдсон индекс (NDSI), цасны усны индекс (SWI)

Abstract

Aufeis formation in the winter season in settlements located in continuous, discontinuous, and isolated permafrost regions of Mongolia has become one of the urgent problems that must be solved in the settlement areas. In this study, the reasons for the formation of Aufeis in the settlement area of Erdenebulgan Soum, Khuvsgul Province, located in the Eg River valley, were clarified. In addition to the analysis of geomorphology and permafrost survey materials, the research was based on satellite

©Зохиогчийн оруулсан хувь нэмэр: Г.Амарбат: Эх бичвэр, аргазүй боловсруулалт, өгөгдлийн дүн шинжилгээ, хээрийн судалгаа Э.Алтанболд, Х.Уламбадрах: Онолын үндэслэл, үндсэн бичвэрийн үр дүнгийн хяналт, Я.Гансүх, Г.Бямбахүү, Г.Юмчмаа: Өгөгдөл боловсруулалт, бичвэрийн үндсэн засвар, үр дүнгийн хяналт.

image data and calculated using the methods of normalized snow index (NDSI) and snow water index (SWI). In the Eg River valley, the normative depth of seasonal freezing and thawing of subsoil ranges from 2.2-3.7 meters. Depending on the freezing of the winter season, there were long, short, and straight rows of cracks and fractures in the vicinity of river diversions, floodplains, terraces, or along the settlement zone. Over the past 10 years, the average size of the Aufeis area was 5555.8 m², and the average Aufeis volume was 5000.2 m³. In 2022, the Aufeis area increased sharply to 6,381.3 m², which can be related to that year's precipitation and soil temperature fluctuations. According to the area and volume classification of Aufeis in Mongolia, the research area belongs to the III class of medium-sized category, but it is exposed to the space of Aufeis distribution due to the improper expansion of the settlement area and wrong planning. According to the changes in the satellite map over the last 30 years, the diversion of the Eg River has caused the spatial distribution of the Aufeis to move towards the settlement area. This study is important for the planning of the spatial location of towns to determine the methods of pre-research and prevention of permafrost-related phenomena and engineering geomorphological problems.

Keywords: Aufeis, Erdenebulgan Soum, Permafrost, Settlement area, Eg River, Engineering geomorphology, Normalized Difference Snow Index (NDSI), Snow Water Index (SWI)

Оршил

Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагаст орших ихэнх улсын нутаг дэвсгэрт ямар нэгэн хэмжээгээр цэвдэг тархсан байдаг (Brown et al., 1997; Kamp et al., 2022). Монгол Улс цэвдгийн тархалтаараа дэлхийд тавдугаарт ордог (Zhang et al., 2006; Obu et al., 2019; Kamp et al., 2022). Манай орны цэвдгийг тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын (Жамбалжав, 2017; Yamkhin et al., 2022) гэж үндсэн 4 бүслүүрт хуваасан байдаг.

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн умард хэсэгт ихэнхдээ цэвдэг тархсан бөгөөд уулархаг нутгууд, томоохон голын хөндийн дагуу үргэлжилсэн ба тасалданги тархалт зонхилдог (Цогт-Эрдэнэ, 2018; Dashtseren, 2021). Монгол орны газар нутагт тархсан цэвдэг нь өндрийн болон өргөрөгийн зүй тогтолд захирагддаг онцлогтой (Жамбалжав, 2017). Түүнээс гадна орон нутгийн бичил уур амьсгал, хур тунадасны хэмжээ, голын хөндийн ус зүйн сүлжээнээс ихээхэн хамаардаг (Жамбалжав, 2017; Цогт-Эрдэнэ, 2018). Уулархаг нутгуудад томоохон голуудын хөндийн дагуу голчлон үргэлжилсэн цэвдэг, харьцангуй талархаг гадаргатай зонхилж буй голуудын хөндийд тасалданги, алаг цоог цэвдэг тархдаг зүй тогтолтой (Niu et al., 2011; Wang et al., 2019).

Монгол орны хэмжээнд болон Хөвсгөл орчимд хийсэн цэвдгийн судалгаа, цэвдэгтэй холбоотой геотекникийн судалгаа нэлээд хийгдсэн байдаг (Choibalsan, 1998; Sharkhuu, 1999; Dashjamts, 2007; Sharkhuu et al., 2007; Dashtseren et al., 2014; Dashtseren et al., 2017; Dalai et al., 2018; Жамбалжав, 2017; Жамбалжав нар, 2017а; Жамбалжав нар, 2017б; Ishikawa et al., 2018; Walther et al., 2021; Kamp et al., 2022; Yamkhin et al., 2022). Гэхдээ суурьшлын бүсэд тулгамдаж буй инженер геоморфологийн тулгамдсан асуудлыг хөндсөн судалгаа харьцангуй дутмаг байна.

Цэвдэг тархсан бүс нутгуудад орших суурин газруудын томоохон асуудал бол цэвдгийн нөлөөгөөр үүсэх гадаргын өөрчлөлтүүд юм (Dashjamts, 2007). Цэвдгийн нөлөөгөөр барилга байгууламж эвдрэх, нурах, гүүр, замын элэгдэл, эвдрэл, халиа үүсэх зэрэг нь үндсэн асуудлууд юм (Саруулзаяа нар, 2020; Цогт-Эрдэнэ нар, 2021). Халиа үүсэх нь эдийн засгийн болон байгаль орчинд сөрөг нөлөөллийг үүсгэсээр иржээ (Walther et al., 2021). Хот, суурин газарт халиа үүсч буй асуудлуудыг хөндсөн хэд хэдэн судалгааны ажлууд хэвлэгджээ. Эдгээр судалгаанууд нь Улаанбаатар хот орчимд төвлөрч хийгдсэн байна (Амарбаясгалан нар, 2016; Уламбаяр нар, 2019; Тэмүүжин нар, 2020; Walther et al., 2021). Харин Монгол орны хөдөө, орон нутгийн хэмжээнд тулгарч буй халианы сөрөг нөлөөлөл, түүний гарал үүсэл, зүй тогтлыг тодруулсан судалгаа харьцангуй ховор байна.

Хөвсгөл орчимд Монгол орны цэвдэгт талбайн 21.0% ноогдох ба үргэлжилсэн тархалттай цэвдэг 40604 км², тасалданги тархалттай 28408 км², алаг цоог тархалттай 22277 км², тохиолдлын тархалттай 5745 км² талбайг тус тус эзэлдэг (Жамбалжав нар, 2017а).

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн судалгааг 1950-1960 онд ЗХУ-ын В.Ф.Жуков, 1960-1970 онд С.И.Заболотник, Д.Төмөрбаатар нар анхлан судалжээ. Монгол орныг улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн мужлалд хувааж аймаг, сумын төвийн суурин газрын хэмжээнд хөрсний бүтцээр нь ялган гаргасан байдаг (Жамбалжав нар, 2017б).

Хөвсгөл аймгийн нутаг дэвсгэрийн ихэнх хэсгийг үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай цэвдгийн бүсэд багтдаг. Энэ судалгаанд Эгийн голын хөндийд орших Эрдэнэбулган сумын суурьшлын бүсэд тохиолдож буй халиа үүсч буй цэвдгийн нөхцөл, инженер геоморфологийн нөхцөл, гарал үүсэл, улирлын цаг хугацааны зүй тогтлын хамаарлыг тодруулсан болно.

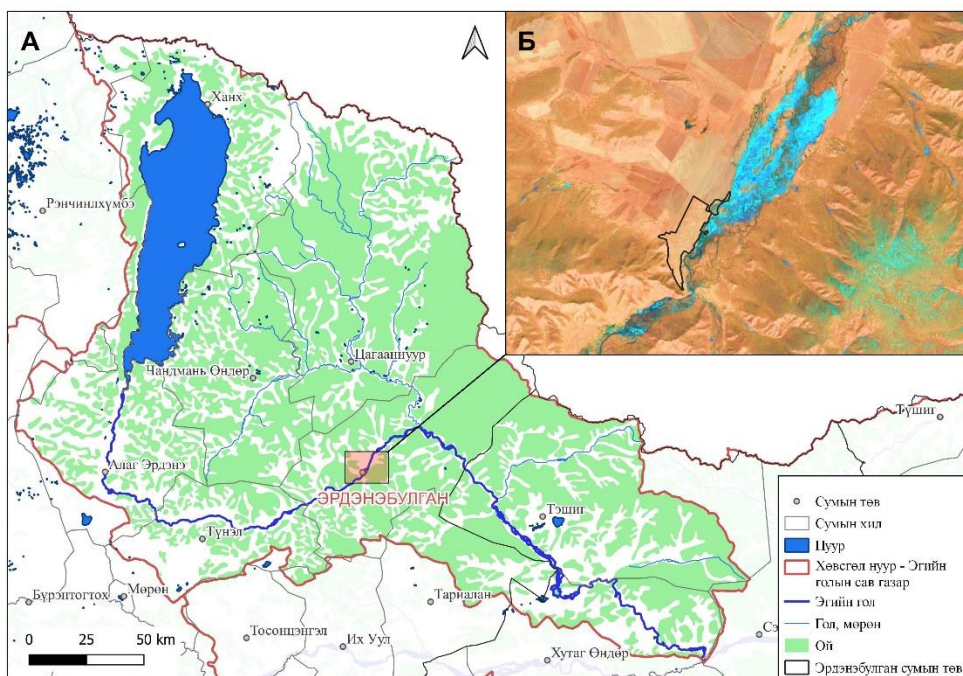
Судалгааны талбай

Хөвсгөл аймгийн Эрдэнэбулган сум нь нутгийн зүүн захад, зүүн хойноосоо баруун урагш сунаж тогтсон газарзүйн байршилтай, нутаг дэвсгэрийн хэмжээ 4,960 км², хүн амын тоо 2700 орчим (ҮСХ, 2021). Монгол улсын Засаг захиргаа нутаг дэвсгэрийн нэгжийн шинэчилсэн зохион байгуулалтаар 1931 онд Эрдэнэбулган сум байгуулагдсан (Шагдар, 2007). Сумын төв нь Эгийн голын хөндийд Улаанбаатар хотоос 710 орчим км, Мөрөн хотоос 260 км зайтай, ХӨ 50° 06' 50", ЗУ 101° 35' 05" газарзүйн солбилцолд оршдог (Зураг 1).

Хойд талаараа Цагаан-Үүр сумтай, баруун, баруун өмнөд талаараа Түнэл, Чандмань-Өндөр сумуудтай, урд талаараа Их-Уул, Тариалан сумуудтай, зүүн, зүүн урд талаараа Булган аймгийн Тэшиг сумтай, зүүн хойд талаараа ОХУ-тай тус тус хил залган оршдог. Газрын гадарга нь ихэнхдээ Д.Т.Д 1200-1800 м өндөрлөг бөгөөд Хөвсгөл орчмын бэсрэг уулс, Бадар, Дуургын нуруудын хоорондох Эг-Үүрийн голын дагуух нутаг дэвсгэр багтана. Газар нутгийн 89 орчим хувь нь ой модоор бүрхэгдсэн. Уулархаг газрын гадарга нутгийн ихэнхи хэсгийг эзлэх ба томоохон голын хөндийн дагуу харьцангуй нам гадарга зонхилно. Нутгийн хамгийн өндөр цэг Хөөгийн Асга уул Д.Т.Д 2024 м, хамгийн нам цэг нь сумын төв орчимд 1151 метр.

Эгийн гол нь Хөвсгөл нуураас эх авч урт нь 475 км урсаад Сэлэнгэ мөрөнд цутгана. Ус хураах савын талбай 40454 км² юм (Шагдар, 2007). Эгийн голын хөндийд хаврын шар усны үер IV сарын сүүлчээс эхлэн V сарын эхний хэсэгт ажиглагдаж усны түвшин огцом нэмэгддэг зүй тогтолтой. Эгийн голын Эрдэнэбулганы усны харуул 1973 онд байгуулагдсан бөгөөд усны өнгөрөлт 18.5 м³/сек хэмжээтэй, урсацын хурд 0.8-1.94 м/сек хүрдэг (Даваа, 2015; Dorjsuren et al., 2018). Эгийн гол намрын зайр X сарын хоёрдугаар хагаст эхэлж 6-20 хоногийн дотор бүрэн хөлддөг. Хаврын цөн IV-V сард цөөн хоног үргэлжилдэг. Өвлийн улиралд 150-190 хоног мөсөөр хучигдаж мөсний дундаж зузаан 0.8-1.0 м орчим байдаг. Энэ үед их хэмжээний халиа ул хөрсний ан цав, хагарлын дагуу үүсч их хэмжээний талбайг хамардаг (Жамбалжав нар, 2017а). Усны эрдэсжилт нь 150-200 мг/л, гидрокарбонатын усанд багтана. Голын хөндийн дагуу гүний урсцын эрчим ихтэй (Kelderman, Batima, 2006; Dorjsuren et al., 2022).

Эгийн голын геоморфологи нь уулс хоорондын хөндийн дагуу баруун хойноос зүүн, зүүн урагш чиглэлтэй бөгөөд голын уналын түвшин 815 м юм (Шагдар, 2007). Голын хөндий аллювын хурдаст талаар хучигдсан, зарим газартаа эх чулуулаг бүхий гадаргыг зүссэн хавцал маягийн хөндий үүсгэдэг (Козлова и др., 1989). Голын хөндий нь эхэн хэсэгтээ дундаж өндөр, адаг хэсэгтээ нам уулсаар хүрээлэгдсэн.



Зураг 1. Хөвсгөл аймгийн Эрдэнэбулган сум, Эгийн голын хөндийн газарзүйн байршил

Судалгааны материал, аргазүй

Энэ судалгаанд Эгийн голын хөндийд орших Хөвсгөл аймгийн Эрдэнэбулган сумын суурьшлын бүсэд халиа хэрхэн үүсч буй шалтгааныг тодруулахаар цэвдгийн тархалтын зураглал болон бусад судлаачдын материал (Sharkhuu et al., 2007; Dashtseren et al., 2014; Амарбаясгалан нар, 2016; Dashtseren et al., 2017; Жамбалжав, 2017; Жамбалжав нар, 2017а; Жамбалжав нар, 2017б; Ishikawa et al., 2018; Уламбаяр нар, 2019; Тэмүүжин нар, 2020; Дашцэрэн нар, 2020; Walther et al., 2021; Yamkhin et al., 2022)-д үндэслэн судалгааны талбайд дүн шинжилгээ хийв. Түүнчлэн цасны нормчлогдсон индекс (NDSI) болон цасны усны индекс (SWI)-ийн аргаар тооцоо хийв. Судалгаанд хамрагдаж буй талбайд “Planet” хиймэл дагуулын 3 метрийн нарийвчлал бүхий хаврын улирлын III-V сарын сансрын зургуудыг <https://www.planet.com/> болон “Landsat” хиймэл дагуулын <https://earthexplorer.usgs.gov/> сансрын зургууд татаж боловсруулалт хийж ашиглав. Хэрийн хэмжилтээр халианы тархалтын талбай, гүн зэргийг тодорхойлж шинжилгээ хийв.

“Normalized Difference Snow Index (NDSI)” болон “Snow Water Index (SWI)”-ийн арга

Хиймэл дагуулын зураглалд боловсруулалт хийхэд тухайн биетийн шинж чанарыг илрүүлэх индексийг тодорхойлох нь чухал юм (Tucker, 1980). Зайнаас тандан судлалын янз бүрийн хиймэл дагуулын мэдээнд тулгуурлан сансрын зурагт цасны нормчлогдсон индексээр өөрчлөлтийг тодорхойлох нь үндсэн аргуудын нэг юм (Choi, Bindschadler, 2004; Masek et al., 2006).

Энэ арга цасан бүрхэвч төдийгүй цастай ижил өнгийн гэрлийн ойлтыг үүсгэгч байгалийн объектуудыг ялгах, ангилахад ашигладаг (Vermote et al., 2016). Планет хиймэл дагуулын сансрын зургийн өгөгдөлд цасны нормчлогдсон индексийг тодорхойлж болох ба дараах тэгштгэлийг ашигладаг. Үүнд:

$$NDSI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (1)$$

Энд NDSI- Цасны нормчлогдсон индексийн утга, Green - Ногоон туяаны урт, SWIR - Богино долгионы хэт улаан туяа юм. Сансрын зурагт NDSI-ийн тооцоолол хийхэд цасан бүрхэвчийн онцлогоос шалтгаалан -1-ээс +1 утгын хооронд индексийн утга хэлбэлздэг. NDSI-ийн өндөр утга (саарал өнгөнөөс цагаан өнгө рүү шилжих)-тай гарах нь цасан бүрхэвчийн хэмжээ ихэсч байгаа өөрчлөлтийг илтгэдэг (Hall, Riggs, 2010). Цасан бүрхүүлтэй талбайн NDSI индексийн босго утга 0.40-өөс их байна (Hall, Riggs, 2010).

Судалгааны талбайд Эгийн голын хөндийд үүсч буй халианы хэлбэр, өнгөний ялгарал зэргээр цаснаас ялгагдах ба талбайн мөсөн бүрхүүл байдлаар илэрдэг онцлогтой (Vermote et al., 2016). Энэхүү онцлог шинжийг тодруулах үүднээс цасны усны индекс буюу “SWI” тооцоог ашиглаж Планет хиймэл дагуулын зураглалаар үр дүнгээ баталгаажуулан зурагласан (Yin et al., 2013; Dixit et al., 2019). Цасны усны индекс “SWI”-ийн тооцоонд дараах тэгштгэлийг ашигладаг. Үүнд:

$$SWI = \frac{Green(NIR - SWIR)}{(Green + NIR)(NIR + SWIR)} \quad (2)$$

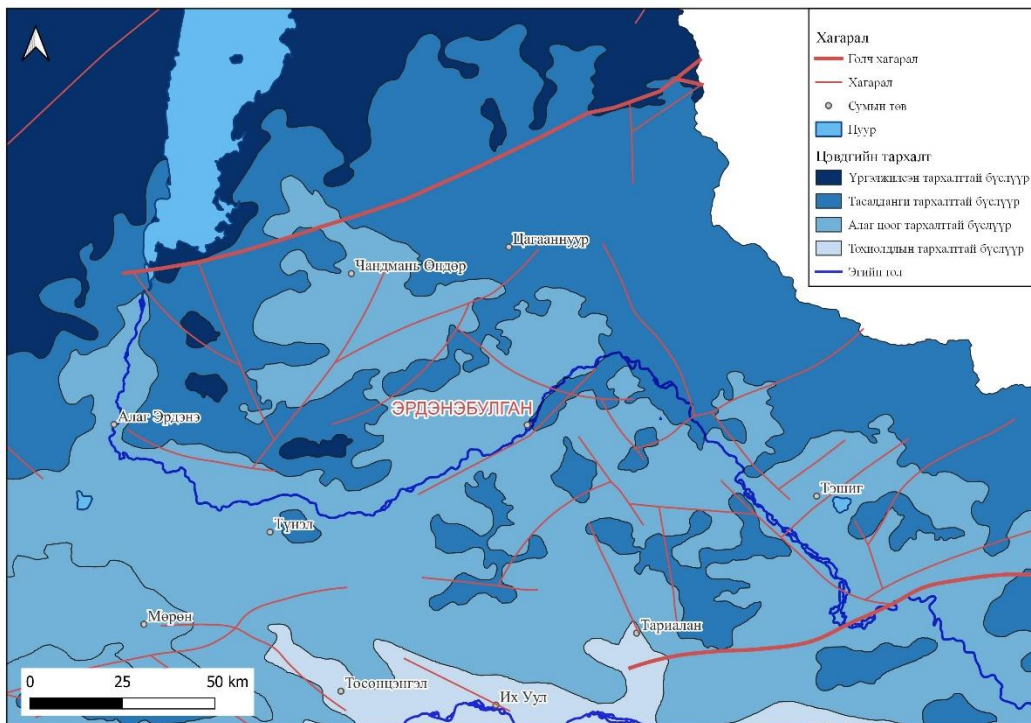
Энд SWI- Цасны усны индексийн утга, Green - Ногоон туяаны урт, SWIR - Богино долгионы хэт улаан туяа, NIR- Ойрын хэт улаан туяа юм. Цасан бүрхүүлтэй талбайн SWI индексийн босго утга 0.21-ээс их байна (Dixit et al., 2019). Энэ босго утга нь NDSI-ийн босго утгаас 2 дахин илүү нарийвчлалтай тооцоолол хийх боломжийг олгодог.

Эдгээр аргуудыг XXI зууны эхэн үеэс эхлэн цасан бүрхэвчийн зураглал, мөстлөг, мөсөн голын зураглал, хөлдсөн нуурын талбайн өөрчлөлтийн зураглал, халиа, тошингийн орон зайн тархалтын зураглалд голчлон ашиглаж байна (Masek et al., 2006; Vermote et al., 2016).

Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Цэвдгийн тархалт, халиа үүсэх нөхцөл: Судалгааны талбайд улирлын цэвдгийн хөлдөлт, гээсэлтийн хэлбэлзэл, өөрчлөлтөөс шалтгааж суурьшлын бүсэд их хэмжээний халиа, тошин үүсдэг. Хүйтний улиралд хөрс хөлдөх үед ул хөрсний ус шахагдан гадаргад гарах үзэгдлийг халиа гэнэ (Төмөрбаатар, 2004). Өвлийн улиралд голын хөндийн өнгөн хөрс гадарга талаасаа хүчтэй хөлдөж эхлэх үед гүнээс тэжээлтэй ус гүний усны даралттай холбоотой хөрс чулуулгийн сүвлэг ан цав, хагарлаар шахагдан газрын гадаргад гарахдаа гадаргын хэвгийг дагаж гүнийхээ

дулааныг алдан 0 градуст хүрч улмаар үе үеэрээ талстжин хөлдөж халиа, тошин үүсгэнэ (Zhao et al., 2010; Амарбаясгалан нар, 2016; Жамбалжав нар, 2017б). Голын хөндийн цэвдэгт үе болон шаварлаг бүхий ус үл нэвтрүүлэгч үе өнгөн ул хөрстэй ойр байвал халиа, тошин идэвхитэй үүсдэг (Амарбаясгалан нар, 2016). Эгийн голын хөндийн цэвдгийн тархалтын зүй тогтол нь тасалданги тархалттай цэвдгийн бүсэд оршиж байна (Зураг 2).

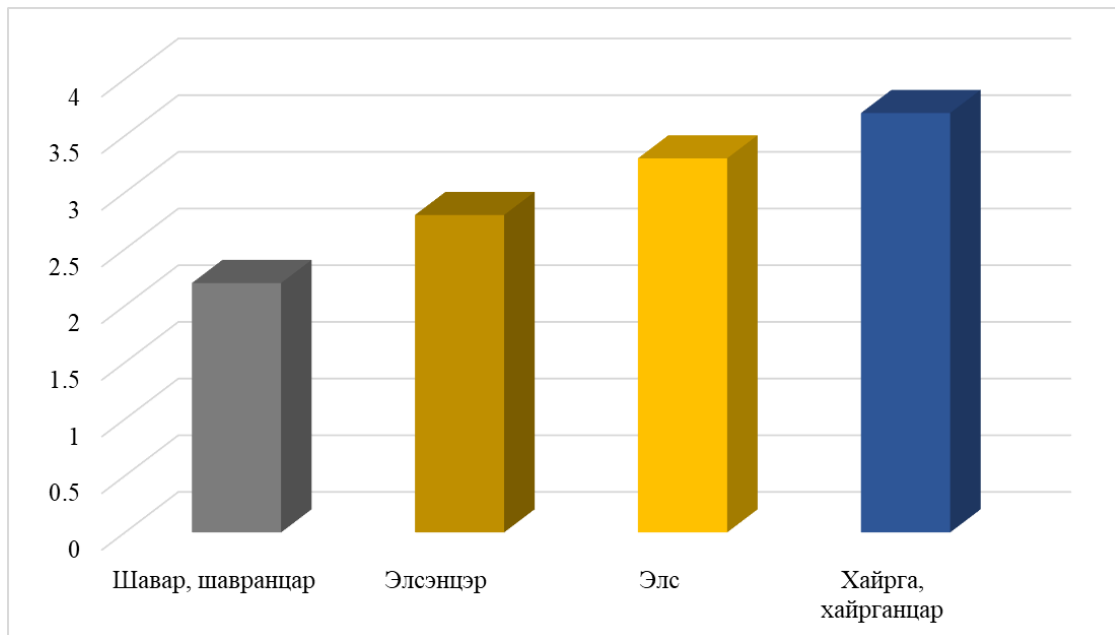


Зураг 2. Эгийн голын хөндийн цэвдгийн тархалт

Эгийн голын хөндийн голын голдрил, ан цавыг дагаж үүсэх ба цэвдгийн тасалданги тархалттай учир улирлаас шалтгаалан ул хөрсний өнгөн хэсэгт хөлдөлт, гэсэлтийн үйл явц явагдаж байдаг.

Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн гол шалгуур үзүүлэлт нь түүний хөлдөлт, гэсэлтийн зузаанаар тодорхойлогдоно (Жамбалжав нар, 2017б). Улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн давхаргын зузаан нь газарзүйн байршил, уур амьсгал, гадаргын нөхцөл, рельефийн онцлог, хөрсний бүтэц, мөс, чийгийн агууламж, голын хөндийн ус зүйн сүлжээ зэргээс хамаардаг (Zhao et al., 2010; Жамбалжав нар, 2017а).

Төв азийн бүс нутаг, Монгол орны хэмжээнд улирлын хөлдөлт, гэсэлтийн зузаан 1–6 м хүрдэг (Zhao et al., 2010; Жамбалжав нар, 2017а). Харин сүүлийн жилүүдэд дэлхийн уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор улирлын гэсэлтийн зузаан 8 м хүрсэн (Dashtseren et al., 2014; Жамбалжав нар, 2016; Жамбалжав нар, 2017а; Yamkhin et al., 2022) нь судлаачдын хэмжилтээр тогтоогджээ. Судалгааны талбайд ул хөрсний улирлын гэсэлтийн норматив гүн 2.2–3.7 метрийн хооронд хэлбэлздэг (Зураг 3). Ул хөрсний улирлын гэсэлтийн гүний хэмжээнээс халиа, тошин үүсэх нь шууд хамааралтай байдаг.



Зураг 3. Эгийн голын хөндийн ул хөрсний улирлын гэсэлтийн норматив гүн (Жамбалжав нар, 2017а)

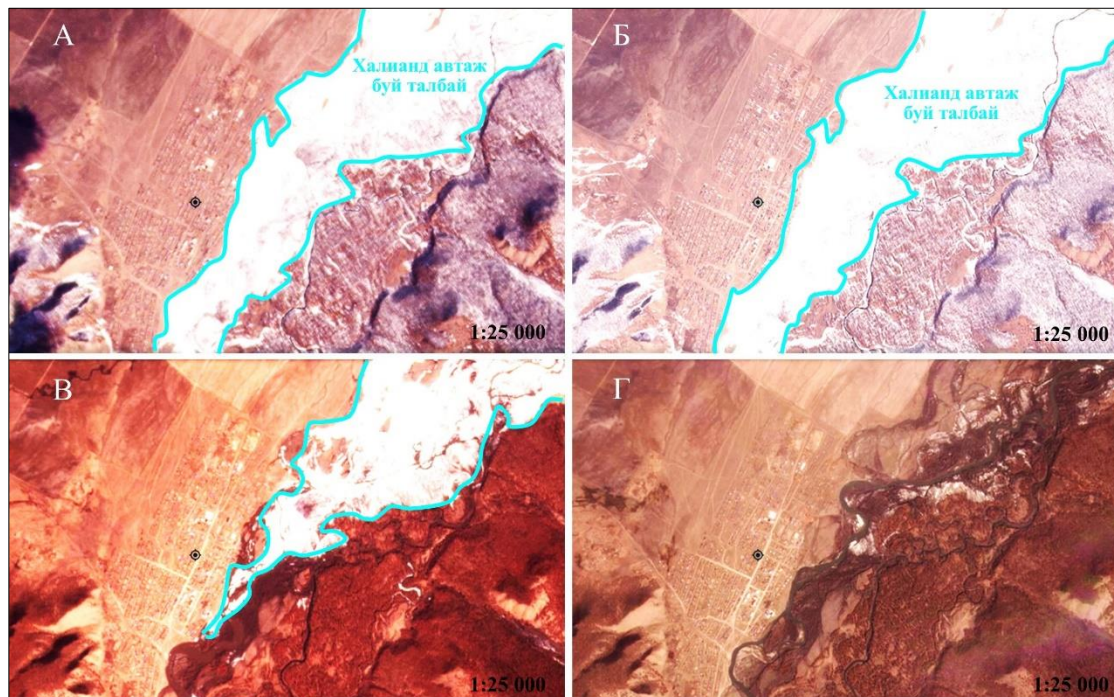
Эгийн голын хөндийн дагуух цэвдэгт хөрс нь шавар, шавранцар, элс, элсэнцэр болон хайрга, хайрганцарын давхаргаас үндсэндээ тогтдог онцлогтой. Чийг ихтэй голын хөндийн шавранцар, элсэнцэр, хүлэрлэг, намгархаг хөрс хөлдөхдөө эзэлхүүнээ тэлэхийн зэрэгцээ зарим хэсэгтээ агшиж ан цав үүсгэдэг (Жамбалжав нар, 2017а). Голын хөндийд улирлын хөлдөлтөөс хамаарч хүйтний урт, богино, шулуун эгнээт ан цав, хагарал голын эрэг дэнж, намгархаг газрыг захлан эмжсэн байдлаар илэрдэг (Жамбалжав, 2017; Жамбалжав нар, 2017б; Цогт-Эрдэнэ, 2018). Энэ зүй тогтол нь Эгийн голын хөндийн суурьшлын бүсийн дагуу хүйтний улиралд идэвхитэй явагдаж байна. Ул хөрсөнд хүйтний ан цав, хагарал нь гадаргаасаа гүн рүүгээ шаантаг хэлбэртэй үүсгэх ба ан цав, хагарлын дундаж гүн нь 0.7-1.5 м хүртэл байна (Жамбалжав нар, 2017а). Голын аллювын хурдаст хөндийн дагуу хүйтний ан цав, хагарал XI-XII саруудад идэвхтэй (Жамбалжав нар, 2017а) явагдах бөгөөд энэ ан цав, хагарлын дагуу ул хөрсний хөлдөж амжаагүй ус шахагдан халиа үүсгэх үндсэн нөхцөл болжээ. Гидрогеологийн тооцоогоор гүний усны урсцын хэмжээ Эрдэнэбулган сум орчимд 1 км² талбайд 3.0-5.0 л/с буюу гүний урсцын эрчим ихтэй бүсэд хамаарагддаг (Козлова и др., 1989).

Тасалданги цэвдэг тархсан уулс хоорондын Эгийн голын хөндий нь ширэгт хөрсний хучаастай бөгөөд усны түвшин гүехэн шавар, шавранцар, элс, хайрга, хайрганцар хурдас бүхий намагтай тул халиа жил бүр харилцан адилгүй үүсдэг онцлогтой боловч сүүлийн жилүүдэд дэлхийн уур амьсгалын нөлөөгөөр халианы хэмжээ, эзэлхүүн асар ихээр нэмэгдэж суурьшлын бүсэд ноцтой нөлөөлөх болжээ. Халианы мөсний зузаан нь Хөвсгөл орчимд газрын хотгор, гүдгэрээс хамаарч харилцан адилгүй боловч ерөнхийдөө голын хөндийн тэгш гадаргуу дээр нэлээд их талбайг хамрах шинжтэй байдаг (Sharkhuu et al., 2007). Голын халианы мөсний зузаан 0.8 м-ээс 2.2 м-ийн хооронд хэлбэлзэнэ. Ихэнх голын халианы өргөн 10-40 м, урт нь 50-200 м орчим байдаг (Жамбалжав нар, 2017а). Гэхдээ Эгийн голын хөндийд том хэмжээний халиа 2005 оны V сарын эхээр хэмжихэд голын эхэн хэсгийн өргөн хөндийн татамд халианы мөсний зузаан 1.0-1.5 м, өргөн нь 100-500 м, урт нь 600-800 м орчим байгааг тогтоож байв (Sharkhuu et al., 2007; Жамбалжав нар, 2017а). Харин 2022 оны I сард Эгийн голын хөндийн суурьшлын бүсэд халиа дахин үүсч Эрдэнэбулган сумын 30 гаруй өрхийн 170 орчим хүн, 500 орчим мал халианд автаж байв. Түүнчлэн сумын төвийн 3.7 га талбай бүхий хогийн цэг халианд автаж гол бохирдох үндсэн нөхцлийг бүрдүүлжээ (Зураг 4).



Зураг 4. Эрдэнэбулган сумын суурьшлын бүсэд үүсч буй халианы нөхцөл байдал (Эх сурвалж: www.eguур.mn, Б.Эрдэнэнаран, 2022)

Халианы орон зайн тархалт, сансрын зургийн шинжилгээ: Энэ судалгааны хүрээнд 2022 оны III сард Хөвсгөл аймгийн Эрдэнэбулган сумын Эгийн голын хөндийд үүсч буй халианы тархалтын орон зайн хэмжилтийг хийв. Эгийн голын хөндийн суурьшлын бүс орчимд үүсч буй халианы тархалтын хэмжээг III-V сарын хугацааны Планет хиймэл дагуулын зураглалын материалд дүн шинжилгээ хийсэн. Улирлын агаарын температурын зүй тогтлоос шалтгаалж халианы тархалт нь III-IV сард цаснаас илүү тодорхой ялгагддаг. Энэ сонгож авсан хугацаа нь өвлийн цас хайлж дуусах үед халиа хадгалагдаж үлдэх цаг хугацааны мөчлөгтэй тохирч байгаа тул сонгов (Зураг 5).



Зураг 5. Планет хиймэл дагуулаас авсан Эгийн голын хөндийн суурьшлын бүсийн халианы тархалт А. 2022 оны III сарын 08, Б. 2022 оны III сарын 18, В. 2022 оны IV сарын 18, Г. 2022 оны V сарын 08

Цаг хугацааны хувьд Эгийн голын хөндийн дагуух ул хөрсөнд хүйтний ан цав, хагарал XI-XII саруудад идэвхтэй хөгжих ба энэ үед грунтын усны нөлөөгөөр халианы тархалт дээд хэмжээндээ хүрч нэмэгддэг зүй тогтол илэрч байна. Харин хаврын улирлын агаарын дундаж температурын өсөлтийн хандлагаар III сарын эхэн дунд үед халианы талбай, эзэлхүүний хэмжээ сансрын зурагт илүү тодорч тооцоолол хийх боломжийг бүрдүүлдэг. Сансрын зургийн тооцоогоор халианы талбай IV сарын дундаас буурч V сарын эхээр бүрмөсөн татардаг зүй тогтолтой байна.

Халианы талбайн хэмжээ, эзлэхүүнд тулгуурлан Симаков (1947), Калабин, Толстихин (1947) нар халианы орон зайн тархалтыг олон улсын түвшинд 6 зэрэглэлийн ангилал (Хүснэгт 1)-ыг боловсруулсан байдаг (Жамбалжав нар, 2017б). Харин Монгол орны газрын гадарга, газарзүйн онцлог, цэвдгийн нөхцлийг харгалзан 4 зэрэглэлийн ангилал (Хүснэгт 2)-ыг боловсруулжээ (Лонжид, 1969).

Хүснэгт 1. Халианы талбай, эзлэхүүний олон улсын ангилал (Жамбалжав нар, 2017б)

Халианы зэрэг	Халианы ангилал	Талбай, м ²	Эзэлхүүн, м ³
I	Маш бага	<10 ⁴	<10 ⁴
II	Бага	10 ⁴ - 10 ⁵	10 ⁴ - 10 ⁵
III	Дунд	10 ⁵ - 10 ⁶	10 ⁵ - 10 ⁶
IV	Том	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁷
V	Маш том	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ⁷ - 10 ⁸
VI	Асар том	>10 ⁸	>10 ⁸

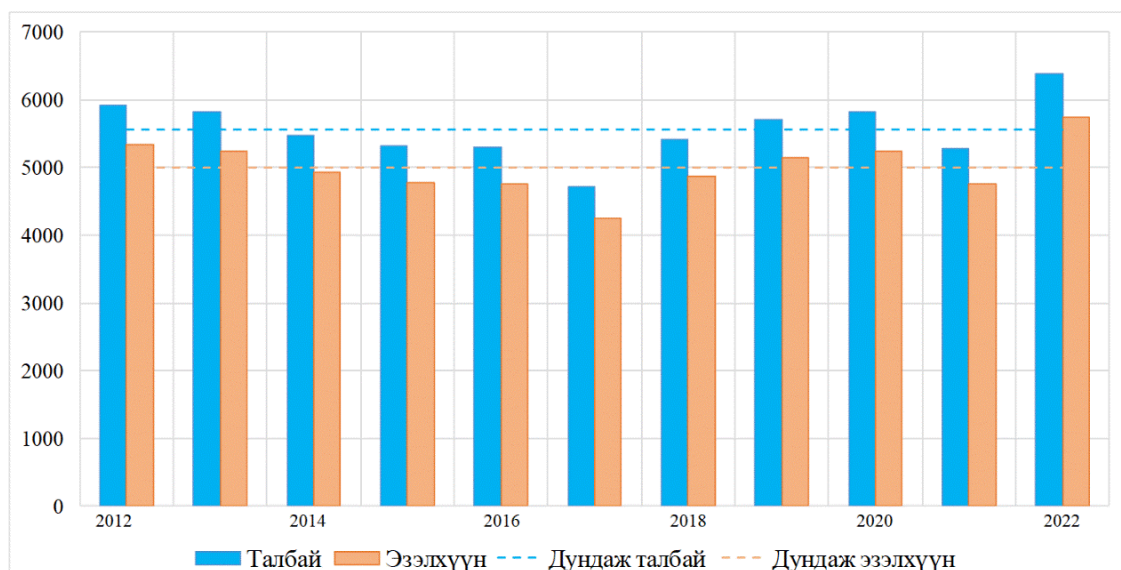
Хүснэгт 2. Монгол орны халианы талбай, эзлэхүүний ангилал (Лонжид, 1969)

Халианы зэрэг	Халианы ангилал	Талбай, м ²	Эзэлхүүн, м ³
I	Бага	<10 ²	<10 ²
II	Багавтар	10 ² -10 ³	10 ² -10 ³
III	Дунд	10 ³ -10 ⁴	10 ³ -10 ⁴
IV	Том	>10 ⁴	>10 ⁴

Судалгааны талбайд сансрын зурагт суурилсан тооцоог сүүлийн 10 жилийн халианы талбайн хэмжээг тооцож үзэв (Хүснэгт 3, Зураг 6).

Хүснэгт 3. Эгийн голын суурьшлын бүсийн халианы талбайн өөрчлөлт (2012-2022)

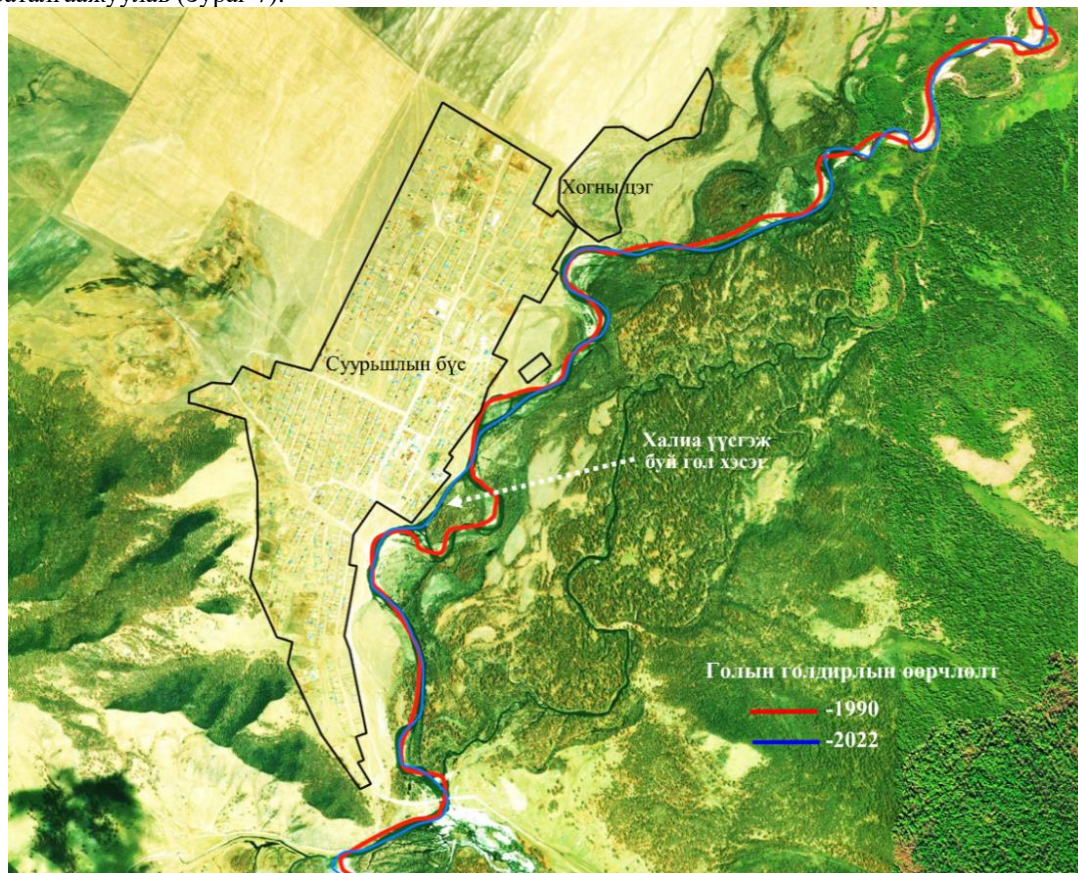
Он	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Талбай, м ²	5923.4	5819.3	5469.1	5311.8	5289.6	4723.3	5406.6	5706.9	5809.3	5272.8	6381.3
Эзэлхүүн, м ³	5331.06	5237.37	4922.19	4780.62	4760.64	4250.97	4865.94	5136.21	5228.37	4745.52	5743.17



Зураг 6. Эгийн голын суурьшлын бүсийн халианы талбайн өөрчлөлт (2012-2022)

Сансрын зургийн тооцоогоор халианы талбайн сүүлийн 10 жилийн хугацааны дундаж хэмжээ 5555.8 м² байв. Харин 2022 онд халианы талбай огцом нэмэгдсэн нь тухайн жилийн улирлын хур тунадасны хэмжээтэй хамааралтай байх боломжтой юм. Судалгааны талбайн халианы талбайн олон улсын ангилалаар I зэрэгт, Монгол орны халианы талбайн ангилалаар III зэрэгт хамаарагдаж байна. Халианы зузаан хээрийн хэмжилтээр 0.6-1.4 метр орчим, дундаж зузаан 0.9 метр байв. Эндээс халианы дундаж эзэлхүүн 5000.2 м³ байв. Эзэлхүүний олон улсын ангилалаар I зэрэгт, Монгол орны ангилалаар III зэрэгт хамаарагдаж байв.

Халиа үүсэхэд нөлөөлөх чухал хүчин зүйл болох голын голдирлын өөрчлөлтийг тодруулж үзэв. Хээрийн хэмжилтээр голын голдирлын өөрчлөлтийг тодруулж сансрын зурагт баталгаажуулав (Зураг 7).



Зураг 7. Эгийн голын голдирлын өөрчлөлт ба суурьшлын бүсийн орон зайн зураглал

Сансрын зургаас үзэхэд голын голдирол өөрчлөгдсөнөөс шалтгаалж голын гаралтай халиа ихээр үүсч суурьшлын бүсэд тодорхой нөлөөлөл үүсгэсэн байж болох магадлалтай байна. Голын халиа хүйтний улиралд аллювын хурдаст давхарга хөлдөж эхлэхэд ул хөрсний чулуулагт агуулагдаж буй их хэмжээний ус даралтад орж шахагдан голын голдирол орчимд үүссэн ан цав, хагарлыг дагаж бялхан гарч халиа үүсгэдэг (Лонжид, 1969). Сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд Эгийн голын голдиролд тодорхой өөрчлөлтүүд илэрсэн нь суурьшлын бүсэд халиа үүсгэх байдлаар нөлөөлөх боломжтой юм. Сансрын зургийн тооцоогоор суурьшлын бүс рүү голдирлын өөрчлөлт 161-293 метр хүртэл түрсэн шинжтэй байна. Цаашид гидрогеологийн нөхцөл, грунтын усны нөөц, гүний урсцын тооцоог хийх шаардлагатай юм.

Суурьшлын бүсийн айлуудын хашаа руу халиа түрэхээс гадна сумын 3.7 га талбай бүхий хогны цэг халианы бараг гол чиглэлд оршиж байна (Зураг 4 ба 6). Энэ нь хогны цэгийг дайрч буй халиа IV-V сард бүрмөсөн хайлсны дараа Эгийн голын ус, хүрээлэн буй орчинд шууд сөрөг нөлөө үзүүлсээр байна. Хогны цэгээс ялгарч буй бохирдлын цар хүрээг нарийвчлан судлах шаардлагатай.

Цаашдын жилүүдэд дэлхийн уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөө, суурьшлын бүсийн тэлэлтээс шалтгаалж халианы орон зайн хэмжээ улам нэмэгдэж, олон өрх айл усанд автах эрсдэл

өндөр байгаа тул халианаас хамгаалах даланг барих, хогны цэгийн байршлыг өөрчлөх, суурьшлын газар зохион байгуулалтын төлөвлөлтийг шинэчлэх зэрэг асуудлыг шийдвэрлэх шаардлагатай юм.

Цэвдгийн бусад үйл явц болон халиа, тошингийн нөлөөг судалж тодруулаагүйн улмаас өмнө нь Баянхонгорын Галуут, Завханы Сонгино, Түдэвтэй, Хөвсгөлийн Цагаан уул, Увсын Хяргас зэрэг сум, суурин газрын хуучин төвийг нүүлгэж эдийн засгийн хувьд ихээхэн хохирол учирч байв (Жамбалжав нар, 2017а). Өмнөх жишээ баримтуудаас үзэхэд Эрдэнэбулган сумыг цэвдгийн үйл явцын нөлөөллөөс шалтгаалж цаашид хэсэгчилсэн байдлаар нүүлгэн шилжүүлэх магадлалтай юм.

Дашцэрэн нар (2020)-ын судлаачид Монгол орны цэвдгийн тархалтыг сумуудын төвтэй давхцуулан тооцоолжээ. Тухайн үр дүнгээр Хөвсгөл аймгийн Цагааннуур, Ренчинлхүмбэ, Ханх, Улаан-Уул, Завхан аймгийн Отгон, Тэлмэн, Түдэвтэй, Баянхонгор аймгийн Гурванбулаг сумын төв тус тус үргэлжилсэн цэвдгийн тархалттай бүслүүрт оршиж байгааг тогтоожээ (Дашцэрэн нар, 2020). Харин тасалданги тархалттай цэвдгийн бүсэд Хөвсгөл, Завхан, Архангай, Баян-Өлгий, Сэлэнгэ гэсэн 5 аймгийн нийт 18 сумын төв орших ба Хөвсгөлийн Эрдэнэбулган сум энэ бүсэд оршдог. Түүнчлэн Хөвсгөл, Завхан, Архангай, Баян-Өлгий, Сэлэнгэ, Ховд, Увс, Баянхонгор, Булган, Төв, Хэнтий гэсэн 11 аймгийн 28 сумын төв алаг цоог цэвдгийн тархалттай бүсэд оршиж байгааг тооцоолжээ (Дашцэрэн нар, 2020).

Цаашид инженер геоморфологийн нөхцлөөр тохиромжгүй, хүн амын эрүүл, аюулгүй орчинд сөргөөр нөлөөлж орчны бохирдол үүсгэхэд нөлөөлж буй халиа, тошингийн судалгааг Монгол орны суурин газруудын хэмжээнд хийж нэгдсэн үнэлгээг тодорхой аргачлалаар гаргах шаардлагатай юм. Сум, хот суурин газруудыг барьж байгуулах төлөвлөлтөд инженер геоморфологийн асуудлуудыг урьдчилан судалж тогтоох нь нэн чухал байна. Энэхүү судалгааны үр дүнгүүд нь цэвдгийн болон инженер геоморфологийн шинж чанараас хамаарч, суурьшлын бүсийн төлөвлөлтийн төсөл боловсруулахад анхаарах чухал жишиг болж өгөх юм.

Дүгнэлт

Тасалданги цэвдэг тархсан уулс хоорондын Эгийн голын хөндийн аллювын хурдаст агуулагдах ул хөрсний усны түвшин гүехэн шавар, шавранцар, элс, хайрганцараас тогтох тул халиа жил бүр харилцан адилгүй орон зайн тархалттай үүсдэг онцлог шинж илэрч байв.

Цаг хугацааны хувьд голын хөндийн голдирлын болон аллювын хурдаст ул хөрсөнд хүйтний ан цав, хагарал XI-XII саруудад идэвхтэй хөгжих ба энэ үед халианы тархалт дээд хэмжээндээ хүрдэг байна. Харин хаврын улирлын агаарын дундаж температурын хандлагаар III сарын эхэн дунд үед халианы талбай, эзэлхүүний хэмжээ сансрын зурагт илүү тодорч тооцоолол хийх боломжийг бүрдүүлж байв. Сансрын зургийн тооцоогоор халианы талбай IV сарын дундаас буурч V сарын эхээр бүрмөсөн татардаг зүй тогтол илэрч байв.

Сансрын зургийн тооцоогоор сүүлийн 10 гаруй жилийн хугацааны халианы талбайн дундаж хэмжээ 5555.8 м², халианы эзэлхүүн дундажаар 5000.2 м³ байв. Харин 2022 онд халианы талбай 6381.3 м² болтлоо огцом нэмэгдсэн нь тухайн жилийн улирлын хур тунадасны хэмжээтэй хамааралтай байх боломжтой.

Монгол орны халианы талбай, эзэлхүүний ангилалаар судалгааны талбайд халианы III зэрэглэлд дунд хэмжээтэй ангилалд багтах боловч суурьшлын бүсийн тэлэлт, төлөвлөлтийн оновчгүй зохион байгуулалтаас шалтгаалж халианы тархалтын орон зайд өртөж байна.

Сансрын зургийн сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацааны өөрчлөлтөөс үзэхэд Эгийн голын голдирол шилжсэн нь халианы орон зайн тархалт суурьшлын бүс рүү түрэхэд хүргэсэн байх магадлалтай байна.

Хот, суурин газруудын орон зайн байршлын төлөвлөлтөд инженер геоморфологийн асуудлуудыг урьдчилан судалж тогтоох нь Монголд нэн чухал байна Энэ судалгаа нь цэвдгийн болон инженер геоморфологийн шинж чанараас хамаарч, суурьшлын бүсийн төлөвлөлтийн төсөл боловсруулахад анхаарах шаардлагатай чухал асуудлыг хөндсөнөөрөө онцлог юм.

Талархал

Энэхүү судалгааг МУИС-ийн Залуу Судлаачийн Грант (P2022-4367) төслийн хүрээнд гүйцэтгэв. Судалгааны ажлыг хянан магадлагаа хийж үнэтэй санал, зөвлөмж өгсөн шүүмжлэгч нарт талархал илэрхийлье.

Ном зүй

1. Амарбаясгалан, Ё., Жамбалжав, Я., Цогт-Эрдэнэ, Г. (2016). Улаанбаатар хот орчмын халиа бүхий чийг намгархаг газрын усны баялгийг үнэлэх боломж, *Хүрэл тогоот, Газарзүй-Геологийн салбарын залуу судлаачдын бүтээлийн эмхэтгэл*, 30-36
2. Даваа, Г. (2015). *Монгол орны гадаргын усны горим, нөөц*. Улаанбаатар хот, х. 83-88
3. Дашцэрэн, А., Саруулзаяа, А., Тэмүүжин, Х., Цогт-Эрдэнэ, Г., ба бусад. (2020). *Цэвдэг, хүйтний үзэгдлийн тархалтын үнэлгээ*, Монгол Улсын хүн амын нутагшилт, суурьшлын хөгжлийн ерөнхий төслийн тайлан, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, 36-49
4. Жамбалжав, Я. (2017). *Монгол орны цэвдэгийн тархалт, өөрчлөлт*. Нэг сэдэвт бүтээл. Улаанбаатар хот, 6-14, 22-59
5. Жамбалжав, Я., Гансүх, Я., Саруулзаяа, А., Шархүү, Н. (2017а) *Монгол орны цэвдгийн өөрчлөлт, Монгол орны уур амьсгалын өөрчлөлт, цөлжилт, цэвдэг I боть*, Монгол орны байгаль орчин, Улаанбаатар хот, 212-213,
6. Жамбалжав, Я., Гансүх, Я., Тэмүүжин, Х., Цогт-Эрдэнэ, Г., Ундрахцэцэг, Ц., Саруулзаяа, А., Амарбаясгалан, Ё., Дашцэрэн, А., Нарангэрэл, Ш. (2016). *Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг*, масштаб 1:1000 000
7. Жамбалжав, Я., Дашцэрэн, А., Гансүх, Я., Тэмүүжин, Х., Цогт-Эрдэнэ, Г., Ундрахцэцэг, Ц., Саруулзаяа, А., Амарбаясгалан, Ё., Нарангэрэл, Ш. (2017б). *Монгол орны цэвдгийн орон зай, цаг хугацааны загварчлал*, Эрдэм шинжилгээний ажлын тайлан (2014-2016), ШУА-ийн Газарзүй Геоэкологийн хүрээлэн, 17, 21-23, 61-68
8. Козлова, Ю.П., Воробьев, В.В., Батсуурь, Д (ред). (1989). *Атлас Озера Хубсугул*, Омской картографической фабрикой ГУГК СССР, 8-25
9. Лонжид, Н. (1969). *Монгол орны цэвдэгт чулуулаг, Улсын хэвлэлийн газар*, Улаанбаатар хот, 55-68
10. Саруулзаяа, А., Отгонбаяр, Б., Мөнхбаатар, Т., Жамбалжав, Я., Цогт-Эрдэнэ, Г., Уламбаяр, Г. (2020). А1101 дугаартай Мөрөн-Хатгал чиглэлийн улсын чанартай авто замын 30 м даланд цэвдгийн гэсэлтээс урьдчилан сэргийлэх зорилгоор хийсэн Геотекстиль-геомембраны туршилт, *Монгол орны газарзүй-геоэкологийн асуудал*, 41, 530-535
11. Төмөрбаатар, Д. (2004). *Монгол орны улирлын ба олон жилийн цэвдэг чулуулаг*, Урлах эрдэм, Улаанбаатар хот, 88-96
12. Тэмүүжин, Х., Дашцэрэн, А., Уламбаяр, Г. (2020). Баянзүрх дүүргийн 19-р хороонд үүсдэг халианы судалгаа, *Хүрэл тогоот, Газарзүй-Геологийн салбарын залуу судлаачдын бүтээлийн эмхэтгэл*, 78-80
13. Уламбаяр, Г., Дашцэрэн, А., Тэмүүжин, Х. (2019). Улаанбаатар хотын халианы асуудалд (Баянзүрх дүүргийн 10-р хорооны жишээн дээр), *Хүрэл тогоот, Газарзүй-Геологийн салбарын залуу судлаачдын бүтээлийн эмхэтгэл*, 79-84
14. Үндэсний статистикийн хороо. (2021). https://www.1212.mn/stat.aspx?LIST_ID=976_L01
15. Цогт-Эрдэнэ, Г. (2018). *Хөндийн цэвдгийн тархалтад хүлэрт намгийн үзүүлэх нөлөө (Хурхын хөндийн жишээн дээр)*. Магистрын судалгааны ажил. Улаанбаатар, 3-10
16. Цогт-Эрдэнэ, Г., Жамбалжав, Я., Уламбаяр, Г. (2021). Ховд- Өлгий чиглэлийн авто замын Бураатын даваа орчим дахь замын далангийн эвдрэлтэй хэсэгт гүйцэтгэсэн цэвдэгт- инженер геологийн судалгааны ажлын үр дүн, *Хүрэл тогоот, Газарзүй-Геологийн салбарын залуу судлаачдын бүтээлийн эмхэтгэл*, 91-98
17. Шагдар, Ш. (2007). *Монголын газарзүйн нэрийн товч толь бичиг*, Улаанбаатар хот, х. 334-338
18. Brown, J., Ferrians Jr, O. J., Heginbottom, J. A., & Melnikov, E. S. (1997). Circum-arctic map of permafrost and ground ice conditions.
19. Choi, H., & Bindschadler, R. (2004). Cloud detection in Landsat imagery of ice sheets using shadow matching technique and automatic normalized difference snow index threshold value decision. *Remote Sensing of Environment*, 91(2), 237-242.
20. Choibalsan, N. (1998). Characteristics of permafrost and foundation design in Mongolia. In *Proceedings of the 7th International Permafrost Conference* (pp. 157-160).
21. Dalai, D., Anand, B., & Enkhbaatar, D. (2018). Permafrost and geotechnical investigations in Nalaikh Depression of Mongolia. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 7(4), 438-455.

22. Dashjamts, D. (2007). Geotechnical problems of construction on permafrost in Mongolia. In *2007 International Forum on Strategic Technology* (pp. 95-103). IEEE.
23. Dashtseren, A. (2021). Permafrost in Mongolia. In *The Physical Geography of Mongolia* (pp. 119-133). Springer, Cham.
24. Dashtseren, A., Ishikawa, M., Iijima, Y., & Jambaljav, Y. (2014). Temperature regimes of the active layer and seasonally frozen ground under a forest-steppe mosaic, Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 25(4), 295-306.
25. Dashtseren, A., Jambaljav, Y., Ishikawa, M., Iijima, Y., Gansukh, Y., Temuujin, K., & Tsogterdene, G. (2017). Monitoring and thermal state of permafrost in Mongolia. *Book of Abstracts ACOP2017*, 40.
26. Dixit, A., Goswami, A., & Jain, S. (2019). Development and evaluation of a new “Snow Water Index (SWI)” for accurate snow cover delineation. *Remote Sensing*, 11(23), 2774.
27. Dorjsuren, B., Batsaikhan, N., Yan, D., Yadambjav, O., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., ... & Qin, T. (2022). Trend Analysis of Hydro-Climatic Variables in Lake Baikal Basin. *Water Resources*, 49(1), 46-57.
28. Dorjsuren, B., Yan, D., Wang, H., Chonokhuu, S., Enkhbold, A., Yiran, X., ... & Abiyu, A. (2018). Observed trends of climate and river discharge in Mongolia’s Selenga sub-basin of the lake Baikal basin. *Water*, 10(10), 1436.
29. Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2010). Normalized-difference snow index (NDSI). *Encyclopedia of snow, ice and glaciers*. 336-337
30. Ishikawa, M., Jamvaljav, Y., Dashtseren, A., Sharkhuu, N., Davaa, G., Iijima, Y., ... & Yoshikawa, K. (2018). Thermal states, responsiveness and degradation of marginal permafrost in Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 29(4), 271-282.
31. Kamp, U., Walther, M., & Dashtseren, A. (2022). Mongolia's cryosphere. *Geomorphology*, 108202.
32. Kelderman, P., & Batima, P. (2006). Water quality assessment of rivers in Mongolia. *Water science and technology*, 53(10), 111-119.
33. Masek, J. G., Vermote, E. F., Saleous, N. E., Wolfe, R., Hall, F. G., Huemmrich, K. F., ... & Lim, T. K. (2006). A Landsat surface reflectance dataset for North America, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(1), 68-72.
34. Niu, L., Ye, B., Li, J., & Sheng, Y. (2011). Effect of permafrost degradation on hydrological processes in typical basins with various permafrost coverage in Western China. *Science China Earth Sciences*, 54(4), 615-624.
35. Obu, J., Westermann, S., Bartsch, A., Berdnikov, N., Christiansen, H. H., Dashtseren, A., ... & Zou, D. (2019). Northern Hemisphere permafrost map based on TTOP modelling for 2000–2016 at 1 km² scale. *Earth-Science Reviews*, 193, 299-316.
36. Sharkhuu, A., Sharkhuu, N., Etzelmüller, B., Heggem, E. S. F., Nelson, F. E., Shiklomanov, N. I., ... & Brown, J. (2007). Permafrost monitoring in the Hovsgol mountain region, Mongolia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 112(F2).
37. Sharkhuu, N. (1999). Occurrence of frost heaving in the Selenge River Basin, Mongolia. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10(2), 187-192.
38. Tucker, C. J. (1980). Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote sensing of Environment*, 10(1), 23-32.
39. Vermote, E., Justice, C., Claverie, M., & Franch, B. (2016). Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, 185, 46-56.
40. Walther, M., Batsaikhan, V., Dashtseren, A., Jambaljav, Y., Temuujin, K., Ulanbayar, G., & Kamp, U. (2021). The Formation of Aueis and Its Impact on Infrastructure around Ulaanbaatar, North-Central Mongolia. *Erforschung biologischer Ressourcen der Mongolei*, 14, 385-398.
41. Wang, X., Chen, R., Han, C., Yang, Y., Liu, J., Liu, Z., & Song, Y. (2019). Changes in river discharge in typical mountain permafrost catchments, northwestern China. *Quaternary International*, 519, 32-41.
42. Yamkhin, J., Yadamsuren, G., Khurelbaatar, T., Gansukh, T. E., Tsogtbaatar, U., Adiya, S., ... & Natsagdorj, (2022). S. Spatial distribution mapping of permafrost in Mongolia using TTOP. *Permafrost and Periglacial Processes*.

43. Yin, D., Cao, X., Chen, X., Shao, Y., & Chen, J. (2013). Comparison of automatic thresholding methods for snow-cover mapping using Landsat TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 34(19), 6529-6538.
44. Zhang, Y., Chen, W., & Riseborough, D. W. (2006). Temporal and spatial changes of permafrost in Canada since the end of the Little Ice Age. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D22).
45. Zhao, L., Wu, Q., Marchenko, S. S., & Sharkhuu, N. (2010). Thermal state of permafrost and active layer in Central Asia during the International Polar Year. *Permafrost and Periglacial Processes*, 21(2), 198-207.