

2023

Геокрио ХХК

Зөвлөх инженер, Др/PhD/  
Я.Жамбалжав,  
Гарын үсэг:



**[СОЛОНГОТЫН ДАВААНЫ ЦЭВДЭГТ  
ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГИЙН СУДАЛГААНЫ  
АЖЛЫН ТАЙЛАН]**

Солонготын давааны 12 км замын трассын дагуух инженер-геологи, инженер-цэвдэг судлал,  
геофизикийн хэмжилтийн үр дүнгээс гарсан тайлан

## **1. Оршил:**

Ангад арвижих ХХК ба Геокрио ХХК хооронд байгуулсан АА-2023/41 тоот гэрээний дагуу 2023 оны 09 сарын 30-аас 10 сарын 8 хооронд хээрийн хэмжилт судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэв. Хээрийн хэмжилт судалгааны ажлыг “Геокрио” ХХК-ийн ахлах инженер, доктор /PhD/ Я.Жамбалжав, Геофизик одон орон судлалын хүрээлэнгийн салбарын ЭША, доктор /PhD/ Ц.Нямбаяр, “Талын хөрс” ХХК-ийн захирал Б.Баатарцогт, өрмийн мастер Б.Тайванжаргал, туслах ажилтан, жолооч Л.Эрдэнэбат нарын бүрэлдэхүүнтэй баг гүйцэтгэв.

Трассын дагуу нийт 8.3 км георадарын хэмжилт хийсэн. Үүнд, 7.2 км дагуу хэмжилт хийсэн, 1.1км хөндлөн зүсэлт хийсэн (Хавсралт зураг 2, геофизикийн тайлан).

500 м алхамтай 24 цооног өрөмдсөн. Үүнээс 8 цооногт цэвдэгт хүртэл өрөмдсөн бөгөөд 4 цооногт температурын хэмжилт хийх зорилгоор тоногдсон (Хавсралт зураг 2).

2023 оны 10 сарын 21-22 ны өдрүүдэд цооног № 02, 11, 13, 15-д 50 см-ын алхамтай температурын хэмжилтийг хийв (Хавсралт зураг 3).

Өрөмдлөг малталтын ажлын явцад цэвдэг хөрснөөс дээж авч зарим нэгэн үзүүлэлтүүдийг газар дээр нь тодорхойлсон бол зарим үзүүлэлтүүдийг лабораторид өгч тодорхойлсон. Дээрх хэмжилт судалгааны ажлын үр дүнгээр энэхүү тайланг бичсэн.

Энэхүү тайланг бичих, хэмжилт судалгаа хийх боломж олгож дэмжиж хамтарч ажилласан Ангад арвижих ХХК-ийн захирал, Н.Батдэмбэрэл, зөвлөх инженер Р.Балжир, мөн тус компаний хамт олонд талархал илэрхийлье.

## **2. Цэвдгийн нөхцөл:**

1:1000,000 масштабтай Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт үзүүлсэнээр төслийн талбай нь цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт оршино (Хавсралт зураг 1). Солонготын давааны энэ хэсэг нь бүх уртын дагуу цэвдэгтэй бөгөөд давааны өвөр хэсэгт цэвдгийн гэсэлтийн суулт үүссэн учир асфальт-бетон хучилтыг хуулсан байв. Км244+780-Км244+940 км-т цэвдгийн гэсэлттэй, цэвдгийн температур нь тэг хэмд ойрхон, идэвхтэй давхаргын (улирлын гэсэлтийн) зузаан 4.5 м орчим байсан бол Км250+000 – Км252+700 км-т цэвдгийн температур нь харьцангуй хүйтэн, идэвхтэй давхаргын зузаан 3.0 м орчим байв.

Давааны өврийн 11-р цооногт цэвдэг нь дээрээсээ тодорхой хэмжээний гэсэлт үүссэн бөгөөд цэвдгийн дээд хил 4.5 м-т илэрсэн. Цэвдгийн дээд хэсэгт гэсэлтүүн үе үүссэн байх боломжтой. Давааны өвөр бэлд 4.5м-ээс цэвдэг илэрч байсан бол 13, 14, 15, 16, 17-р цооногуудад цэвдгийн дээд хил 3 м-т илэрсэн (Хавсралт зураг 4, Хүснэгт 1, Цооногийн бичиглэл).

Дээрх цооногуудад илэрсэн цэвдэг нь цулдмал (массив), бүрхүүл (корковая), жигд бус үелсэн криотекстуртай болно (Хавсралт зураг 5 (фото)).

## **3. Цэвдгийн температур:**

Өрөмдлөг хийснээс хойш 15-18 хоногийн дараа 2023 оны 10 сарын 20-21 хооронд температурын хэмжилтийг АНУ-ын "Onset computer corporation" компанид үйлдвэрлэсэн UX120-006M даталоггер, ТМСх-НD сенсорын хамт ашиглан 0.5м алхамтай хэмжилтийг хийсэн.

2-р цооногт 2.5м-т +1.03°C, 3.0м-т +0.73°C, 3.5м-т +0.34°C, 4.0м-т +0.03°C, 4.5м-т +0.01°C, 5.0м-т -0.27°C, 5.5м-т -0.28°C, 6.0м-т -0.37°C тус тус байв. Өөрөөр хэлбэл харьцангуй дулаан цэвдэгтэй хэсэг болно.

11-р цооногт 0.0м-т +10(+14)°C, 0.3м-т +0.54°C, 0.8м-т +1.22°C, 1.3м-т +1.48°C, 1.8м-т +1.31°C, 2.3м-т +1.02°C, 2.8м-т +0.61°C тус тус байв. Өөрөөр хэлбэл харьцангуй дулаан цэвдэгтэй бөгөөд дээрээсээ тодорхой гэсэлт явагдаж байгаа хэсэг болно. Энд гэсэлтүүн үе үүсдэг байх боломжтой.

13-р цооногт 0.8м-т +1.21°C, 1.3м-т +0.2°C, 1.8м-т +0.16°C, 2.3м-т +0.12°C, 2.8м-т +0.06°C, 3.3м-т -0.45°C, 3.8м-т -0.64°C, 4.3м-т -0.91°C тус тус байв. Өөрөөр хэлбэл харьцангуй хүйтэн цэвдэгтэй хэсэг болно.

15-р цооногт 0.0м-т +5.6°C, 0.4м-т +0.07°C, 0.9м-т +0.15°C, 1.4м-т +0.21°C, 1.9м-т +0.28°C, 2.4м-т +0.04°C, 2.9м-т +0.04°C, 3.4м-т -0.26°C тус тус байв. Улирлын гэсэлтийн зузаан (идэвхтэй давхарга) 3.0м болно.

Дээрх хэмжилтээр улирлын гэсэлтийн зузаан 2-р цооногт 4.5 м бол 13, 15-р цооногт 3.0 м байна.

2-р цооногийн 3.0м-т +0.73°C, 3.5м-т +0.34°C байсан бол 13-р цооногт эдгээр гүнүүдэд -0.1°C, -0.51°C байхаар байна (Хавсралт зураг 4).

#### **4. Криоген үйл явц, үзэгдэл:**

Солонготын давааны өвөр бэл хэсэгт (Км244+780-Км244+940 хооронд) цэвдгийн гэсэлтийн хотойлт суулт ажиглагдана.

Дунд гүүрнээс давааны орой хэсэг хүртэл чийг, намагтай, зарим хэсэгт хүлэрт намагтай болно. Үүнтэй холбоотойгоор тухайн хэсэгт цэвдэг хөрс чулуулгийн дээд давхарт сегрегацийн мөсөн үе давхарга үүсэх нөхцөлтэй (Хавсралт зураг 5).

Sentinel-2 хиймэл дагуулын 2023 оны 5 сарын 1-ны зурагт халиа тошинг ялгаж үзэхэд замын трассын дагуу хэд хэдэн газарт халиа тошин үүсдэг онцлогтойгоор зогсохгүй зарим халиа нь замын зорчих хэсэг дээр халин гарч мөстөх боломжтой (Хавсралт зураг 6а).

Хавсралт зурагт үзүүлсэнээр замын трассын дагуу хэд хэдэн хэсэгт халиа тошин үүсдэг бөгөөд 3 хэсэгт замын трасстай давхацсан байна. Хоёр нь гүүрэн доор үүссэн халиа бол давааны оройн хэсэгт газрын дээд хэсгээс ирж байгаа гольдролын дагуу өвлийн улиралд халиа үүсэж зарим хур ихтэй жил замын зорчих хэсгийг давж халиалах боломжтой байна (Хавсралт зураг 6б).

Зурвасын дагуу өвөр энгэрт Км245+300 – Км249+100 хооронд, ар хажуугийн Км252+400- Км256+500 хооронд замын хажуу энгэрийн налуу 25 градусаас дээш бөгөөд хажуугийн нуранги үүсэх боломжтой болно (Хавсралт зураг 7, 8).

#### **5. Дүгнэлт:**

1. Хэмжилт судалгаа хийсэн 12 км нь цэвдгийн үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт оршино.
2. Солонготын давааны цэвдэг илэрсэн цооногуудаас авсан дээжүүд нь голчлон цулдмал (массив), толбо (порфировидная), бүрхүүл (корковая), жигд бус үелсэн (слойстая) криотекстуртай бөгөөд ялангуяа хүлэрт намагтай хэсгийн доорх цэвдэг нь жигд бус байршилтай 1-2 см, түүнээс ч их байх боломжтой мөсний судал үеүдтэй.
3. Хөрсний эзэлхүүн жин нь  $1.45-2.02 \text{ г/см}^3$ , нийлбэр чийгшилт нь 10.2-49.72% байгаа нь мөсжилт ихтэй цэвдэг трассын дагуу жигд бус тархалттайг илтгэнэ.
4. Давааны өвөр бэл хормой хэсэгт (Км244+780 – Км244+940) хооронд цэвдгийн гэсэлттэй (Км244+780 – Км245+700) хооронд харьцангуй дулаан цэвдэгтэй хэсэгтэй, (Км247+700 – Км249+600, Км253+400 – Км256+860)

хооронд суурь чулуулаг, бул чулуу гадаргад ойрхон хэсэг бол (Км250+000 – Км252+900) хооронд харьцангуй хүйтэн цэвдэгтэй болно.

5. (Км249+600 – Км252+700) хооронд уулын тагийн хүлэрт намагтай, түүний дор цэвдэгтэй хэсэг боловч гадаргын өндөр талаар 2 дренажын суваг татсанаар хүлэрт намаг хуурайшиж байгаа нь ажиглагдсан. Уулын тагийн хүлэрт намаг, түүний доорх цэвдэг нь тухайн орчны чухал экосистем бөгөөд түүнээс доош урсах гол горхины усыг үйлдвэрлэгч болдог онцлогтой. Хүлэрт намаг алдарснаар тухайн экосистем доройтох, түүний доорх цэвдэг алдрах, улмаар их хэмжээний хүлэмжийн хий, түүн дотроо метан хий ялгаруулагч болдог.
6. Давааны ар хажуу нь өвөр энгэрээсээ илүү огцом уналттай суурь чулуулаг зарим хэсэгтээ газрын гадарга дээр ил гарсан, зарим хэсэгтээ том том бул чулууны илэрцтэй тул өрөмдлөг хийхэд төвөгтэй байв. Иймд энэ хэсгийн цэвдэг нь суурь чулуулагт, эсвэл бул чулуутай хэсэгт оршиж байгаа тул гэсэлтийн суулт өгөхөөргүй гэж үзэв (Хавсралт зураг 9).
7. Дээрх хэмжилт, судалгааны ажлын үр дүнгээс замын трассын хэсгийг геоморфологи, хөрс, чулуулаг, цэвдгийн нөхцлөөр нь 5 хэсэгт хуваав.

Үүнд:

- 7.1. Нэгдүгээр хэсэг, Цэвдгийн гэсэлттэй хэсэг (Км244+780 – Км244+940)
- 7.2. Хоёрдугаар хэсэг, Дулаан цэвдэгтэй хэсэг (Км244+780 – Км245+700)
- 7.3. Гуравдугаар хэсэг, Суурь чулуу, бул чулуу ойрхон хэсэг (Км247+700 – Км249+600, Км253+400 – Км256+860)
- 7.4. Дөрөвдүгээр хэсэг, Хүлэрт намаг, хүйтэн цэвдэгтэй хэсэг (Км249+600 – Км252+700)
- 7.5. Тавдугаар хэсэг, Давааны ар хэсэг (Км252+000 – Км256+860)
8. Давааны оройн хэсэгт үүсдэг халиа тошин нь замын трасстай огтлолцож байна. Энэ хэсэгт ус өнгөрөөх хоолойтой ч гэсэн өвлийн улиралд уг хоолой нь бөглөрч халиа тошин болох, улмаар замын зорчих хэсэгт хальж гарах боломжтой байна Км253+020, Км253+250

#### **6. Зөвлөмж:**

Дээрх хэмжилт, судалгааны ажлын үр дүнгээс дараах зөвлөмжийг хүргүүлж байна. Замын трассын дагуу хуваасан хэсэг тус бүрд дараах далангийн шийдлүүдийг зөвлөж байна.

1. Нэг, хоёр дугаар хэсэг дээр цэвдгийн гэсэлттэй, дулаан цэвдэгтэй тул түүнийг хөргөх, ахиж гэсэхээс хамгаалах зорилгоор термосифонтой даланг санал болгож байна.
2. Гуравдугаар хэсэгт суурь чулуулаг, бул чулуу гадаргад ойрхон тул чулуун дэвсгэртэй энгийн даланг санал болгож байна.
3. Дөрөвдүгээр хэсэгт хүлэрт намагтай, мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй тул чулуун дүүргэлттэй далангийн шийдлийг санал болгож байна.
4. Тавдугаар хэсэг буюу давааны ар хажуугийн хэсэгт чулуун дэвсгэртэй энгийн далангийн шийдлийг санал болгож байна.

5. Давааны оройн хэсгийн халиа тошин үүсдэг хэсэгт улирлын гэсэлтийн давхаргын доод хэсэгт дулаалгатай хоолой суурилуулах замаар халиаг замын трассаас зайлуулах шаардлагатай.

## 7. Цэвдэгтэй цооногийн бичиглэл:

Судалгаа хийж буй замын зурвасын дагуу нийт 24 цооног өрөмдсөн бол 7 цооногийг цэвдэгт хүртэл өрөмдсөн. Үүнээс 4 цооногийг температур хэмжих зорилгоор тоногловсон.

Цооног № 02, Диаметр: 146мм

Байршил: E99°00'52.02"; N48°14'37.94"

Өндөршил, ДТД: 2264m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.02

Гүн: 6.5м

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-1.20/1.20
2. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор саарал өнгөтэй, бага чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 1.20-3.50/2.30
3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор саарал өнгөтэй, хөлдүү, цулдмал (массив), толбо (порфиоровидная) криотекстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 3.50-6.20/0.70
4. Хожуу Пермээс түрүү Триасын настай, гүний гаралтай, цайвар саарал өнгөтэй, сулавтар өгөршсөн боржин чулуу; 6.20-6.50/0.30

Хөрсний ус илрээгүй.

Цэвдгийн дээд хил 3.50 м

Цооног № 11, Диаметр: 146мм

Байршил: E99°01'07.11"; N48°14'24.58"

Өндөршил, ДТД: 2253m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.04

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-0.30/0.30
2. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, бага чийгтэй, 1.60-3.60 м гүнээс бор хүрэн өнгөтэй, усаар ханасан, гэсэглэн элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс, Цэвдэг хөрсний дээд давхаргад цэвдгийн гэсэлт явагдаж байгаа, 3.0-3.5м гүнд мөсжилт ихтэй цэвдгийн гэсэлт явагдаж усаар ханасан суларсан хэсэгтэй; 0.30-3.60/3.30
3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор саарал, бор хүрэн өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив), толбо (порфировидная) текстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган хөрс; 3.60-4.60/1.00

Бул болон үхэр чулуу таарч цооногийг хаав.

Хөрсний ус илрээгүй.

Цэвдгийн дээд хил 3.60 м.

Цооног № 13, Диаметр: 146мм

Байршил: E98°58'40.47"; N48°16'37.92"

Өндөршил, ДТД: 2473m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.04

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-1.00/1.00
2. Хар шороон хөрс; 1.00-1.40/0.40
3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор хүрэн өнгөтэй, бага чийгтэй, 2.20 м гүнээс чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 1.00-2.50/1.50
4. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор хүрэн өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив), бүрхүүл (корковая), зарим хэсэгтэй 0.5-1см хүртэлх жигд бус үелэг криотекстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс, Мөсжилт ихтэй цэвдэг; 2.50-4.50/2.00

Бул болон үхэр чулуу таарч цооногийг хаав.

Хөрсний ус илрээгүй,  
Цэвдгийн дээд хил 2.50 м,

Цооног № 14, Диаметр: 146мм

Байршил: E98°58'27.52"; N48°16'52.05"

Өндөршил, ДТД: 2502m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.04

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-1.70/1.70
2. Хар шороон хөрс; 1.70-2.00/0.30
3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, бага чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 2.00-2.60/0.60
4. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив) текстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 2.60-3.30/0.70
5. Хожуу Пермээс түрүү Триасын настай, гүний гаралтай, цайвар саарал өнгөтэй, сулавтар өгөршсөн боржин чулуу; 3.30-3.60/0.30

Хөрсний ус илрээгүй.  
Цэвдгийн дээд хил 2.60 м.

Цооног № 15, Диаметр: 146мм

Байршил: E98°58'10.68"; N48°17'05.13"

Өндөршил, ДТД: 2525m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.05

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-2.20/2.20



2. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор хүрэн өнгөтэй, бага чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс;

2.20-2.80/0.60

3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив), бүрхүүл (корковая), зарим хэсэгтэй 0.5-1см хүртэлх жигд бус үелэг криотекстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс, Мөсжилт ихтэй цэвдэг;

2.80-3.40/0.60

4. Хожуу Пермээс түрүү Триасын настай, гүний гаралтай, цайвар саарал өнгөтэй, сулавтар өгөршсөн боржин чулуу;

3.40-3.60/0.20

Хөрсний ус илрээгүй.

Цэвдгийн дээд хил 2.90 м.

Цооног № 16, Диаметр: 146мм

Байршил: E98°57'50.94"; N48°17'15.23"

Өндөршил, ДТД: 2548m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.05

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно;

0.00-2.00/2.00

2. Хар шороон хөрс;

2.00-2.20/0.20

3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, бага чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс;

2.20-2.40/0.20

4. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив), бүрхүүл (корковая), зарим хэсэгтэй 0.8см хүртэлх жигд бус үелэг криотекстуртай элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс, Мөсжилт ихтэй цэвдэг;

2.40-2.80/0.40

5. Хожуу Пермээс түрүү Триасын настай, гүний гаралтай, цайвар саарал өнгөтэй, сулавтар өгөршсөн боржин чулуу;

2.80-3.00/0.20

Хөрсний ус илрээгүй.  
Цэвдгийн дээд хил 2.40 м.

Цооног № 17, Диаметр: 146мм

Байршил: E98°57'30.30"; N48°17'26. 31"

Өндөршил, ДТД: 2555m

Өрөмдсөн огноо: 2023.10.05

1. Сайжруулсан авто замын хайрган хучилт. Асгамал хөрс. Элсэн чигжээстэй хайр, хайрга зонхилно; 0.00-1.80/1.80
2. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, бага чийгтэй элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс; 1.80-2.60/0.80
3. Плейстоцен-Голоцены настай, делюви-пролювийн гаралтай, бор шаргал өнгөтэй, хөлдүү, цул (массив), бүрхүүл (корковая), зарим хэсэгтэй 1.5см хүртэлх жигд бус үелэг элсэн чигжээстэй хайр, хайрган ул хөрс, Мөсжилт ихтэй цэвдэг; 2.60-4.30/1.70

Бул болон үхэр чулуу таарч цооногийг хаав.

Хөрсний ус илрээгүй.  
Цэвдгийн дээд хил 2.60 м.

#### **8. Цооногийн температурын хэмжилт:**

11-р цооног нь хэмжилт судалгааны эхлэл хэсэгт оршино. Уг цооногийг 4.6 м өрөмдсөн боловч дээрээсээ цэвдгийн гэсэлт явагдаж суларсан хөрстэй хэсэгт нуралт өгч 2.8 м хүртэл температур хэмжигч хоолойгоор тоногловсон болно. Температурын хэмжилтээр 2.8 м-т нэмэх градустай байв (Хүснэгт 01, Хавсралт зураг 4).

2-р цооног нь 245+450 км-т оршино. Уг цооногийг 6 м өрөмдөж, температур хэмжих зорилгоор тоногловсон. Өрөмдлөгөөр, 2023 оны 10 сарын 02-ны өдөр 3.5 м-т цэвдэг илэрсэн бол температур хэмжилтээр 2023 оны 10 сарын 22-ны өдөр 4.5 м-ээс доош гүнд хасах температуртай байв (Хүснэгт 01, Хавсралт зураг 4).

13-р цооног нь 250+100 км-т оршино. Уг цооногийг 4.5 м өрөмдөж, температур хэмжигч хоолойгоор 4.3 м хүртэл тоноглов. Өрөмдлөгөөр, 2023 оны 10

сарын 03-ны өдөр 2.5 м-т цэвдэг илэрсэн бол температур хэмжилтээр 2023 оны 10 сарын 22-ны өдөр 2.8 м-ээс доош гүнд хасах температуртай байв (Хүснэгт 01, Хавсралт зураг 4).

15-р цооног нь 251+168 км-т оршино. Уг цооногийг 3.6 м өрөмдөж, температур хэмжигч хоолойгоор 3.4 м хүртэл тоноглов. Өрөмдлөгөөр, 2023 оны 10 сарын 04-ны өдөр 2.9 м-т цэвдэг илэрсэн бол температур хэмжилтээр 2023 оны 10 сарын 22-ны өдөр 2.4 м-ээс тэг градуст ойрхон, 2.9 м-ээс доош гүнд хасах температуртай байв (Хүснэгт 01, Хавсралт зураг 4).

Хүснэгт № 01. Цооногуудын температур

Цо	Гүн, м	темп, С	Цо	Гүн, м	темп, С	Цо	Гүн, м	темп, С	Цо	Гүн, м	темп, С
2.0	2.50	1.034	11.0	0.00	14.3	13.0	0.80	1.213	15.0	0.00	5.6
	3.00	0.732		0.00	10		1.30	0.2		0.40	0.068
	3.50	0.341		0.30	0.541		1.80	0.16		0.90	0.151
	4.00	0.033		0.80	1.222		2.30	0.12		1.40	0.213
	4.50	0.014		1.30	1.481		2.80	0.061		1.90	0.281
	5.00	-0.271		1.80	1.31		3.30	-0.445		2.40	0.044
	5.50	-0.276		2.30	1.025		3.80	-0.637		2.90	0.038
	6.00	-0.374		2.80	0.614		4.30	-0.908		3.40	-0.26

Тайлбар: Цо-цооног, темп, С-температур

### 9. Цэвдэг хөрсний эзлэхүүн жин, нягт, гр/см<sup>3</sup>:

Эзлэхүүн жинг (Нягт) нийт зургаан дээжид тодорхойлсон (Хүснэгт 2). Хүснэгтээс үзэхэд нягт нь 1.45-аас 2.02 г/см<sup>3</sup> хооронд хэлбэлзэнэ.

Хүснэгт №2. Эзлэхүүн жин, нягт

№	Цо	Гүн, м	Эзлэхүүн, см <sup>3</sup>	Жин, гр	Нягт, гр/см <sup>3</sup>
1	2	4-5.6	27.3	39.57	1.45
2	11	4-4.5	95.7	185.22	1.93
3	13	2.5-3	33.075	61.73	1.86
4	13	3-3.5	50.24	102.5	1.48
5	17	2-2.6	50.24	101.84	2.02
6	17	4.2-5	50.24	76.81	1.53

Тайлбар: Цо-цооног, гр-грамм

### 10. Цэвдэг хөрсний чийгшилт:

Янз бүрийн гүний түвшинд, голчлон цэвдэг хөрснөөс чийгийн дээжлэлт хийсэн. Нийт 8 ширхэг дээж авсан бөгөөд чийгшилт нь 10.16-33.79% хооронд хэлбэлзэнэ (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 3. Чийгшилт,

№	Цо	Гүн, м	Бюкс дугаар	Бюкс жин	Чийгтэй хөрстэй бюкс, гр	Хатаасан хөрстэй бюкс	Чийгшилт, 100%
1	15	3.3	98	23.34	78.98	70.54	17.88
2	11	2.5	48	21.86	109.44	101.36	10.16
3	13	4.2	138	23.71	91.21	81.3	17.21
4	11	4.2	160	22.5	73.99	65	21.15
5	11	3.5	20	21.89	83.39	71.02	25.18
6	16	3.4	A78074	26.78	91.13	69.76	49.72
7	02	4.1-6	12	14.65	54.44	44.39	33.79
8	02	4.1-6	17	14.81	55.98	47.36	26.48

#### 11. Цэвдэг хөрсний гэсэлтийн суулт:

Цэвдэг хөрсний гэсэлтийн итгэлцүүрийг 8 ширхэг дээжид БД 50-102-08 ын 9-р томъёогоор тодорхойлсон. Гэсэлтийн итгэлцүүр нь 0.0078 – 0.064 хооронд хэлбэлзэнэ. Өөрөөр хэлбэл, 1 м цэвдэг хөрс гэсэх үед 0.78 – 6.4 см суулт үүссэн (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Гэсэлтийн итгэлцүүр

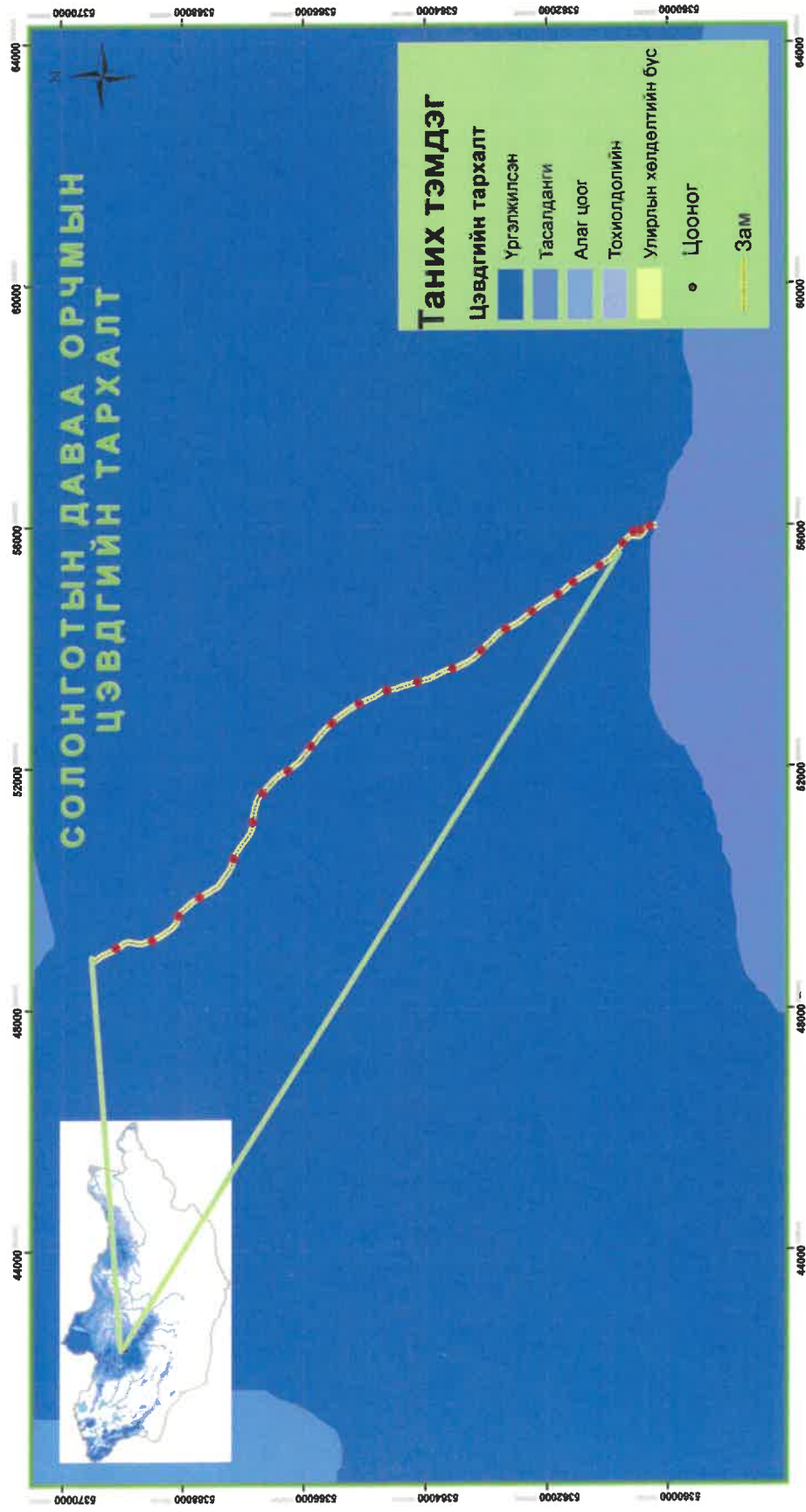
№	Цооног дугаар	Гүн, м	Чийгшилт,	$K_0$ итгэлцүүр	Гэсэлтийн итгэлцүүр
1	02	4-6	33.79	-	
2	02	4-6	26.48	0.45	0.074/7.4%
3	11	4.2	21.15	0.3	0.043/4.3%
4	11	3.5	25.18	0.4	0.064/6.4%
5	11	2.5	10.16	0.09	0.0078/0.78
6	13	4.2	17.21	0.2	0.025/2.5%
7	15	3.3	17.88	0.22	0.028/2.8%
8	16	3.4	49.72	-	

#### 12. Гэсэлтийн чөлөөт суулт:

Цэвдгийн гэсэлтийн чөлөөт суулт буюу илүүдэл мөсжилтийг газар дээр нь 3 дээжид тодорхойлсон. 2-р цооногийн 5 м гүний дээжид чөлөөт суулт тодорхойлоход 1 м цэвдэг хөрс гэсэхэд 28.5 см суулт үүссэн. 13-р цооногийн 3.5 м гүний дээжид чөлөөт суулт тодорхойлоход 1 м цэвдэг хөрс гэсэхэд 28 см суулт

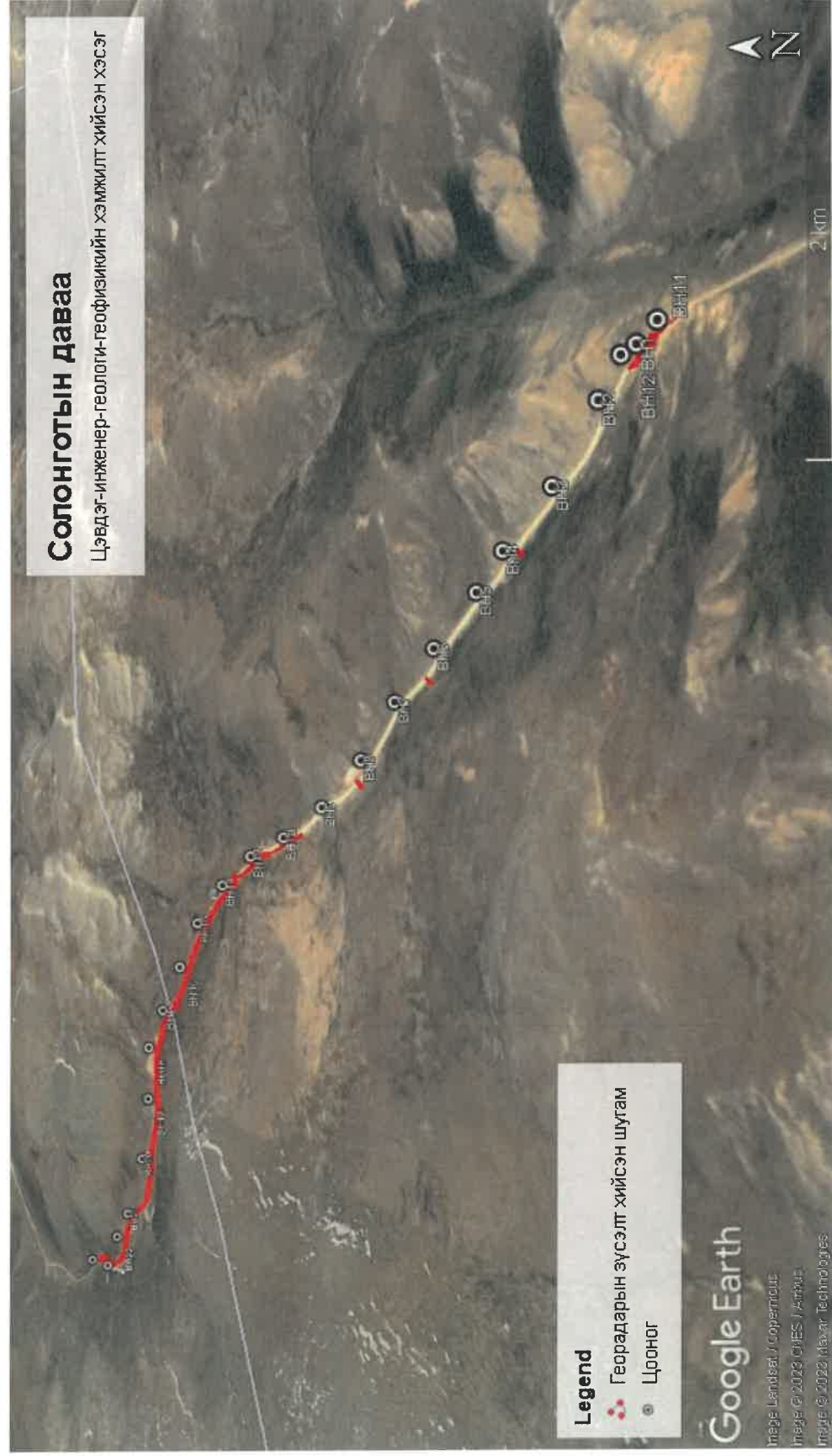
үүссэн. 17-р цооногийн 3.4 м гүний дээжид чөлөөт суулт тодорхойлоход 1 м цэвдэг хөрс гэсэхэд 19.35 см суулт үүссэн (Хавсралт зураг 5).

Хавсралт зураг 1. Солонготын даваа орчмын цэвдгийн тархалтын зураг



Монгол орны цэвдгийг тархалтаар нь үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог, тохиолдлын гэж ангилдаг. Солонготын даваа орчмын хэмжилт судалгаа хийсэн хэсэг нь үргэлжилсэн тархалттай бүслүүрт оршино.

Хавсралт зураг 2. Цроногийн байршил ба георадарын зүсэлтийн шугам



Нийт 24 цэг дээр өрөмдлөг хийсэн. 8.3 км георадарын зүсэлт хийсэн.



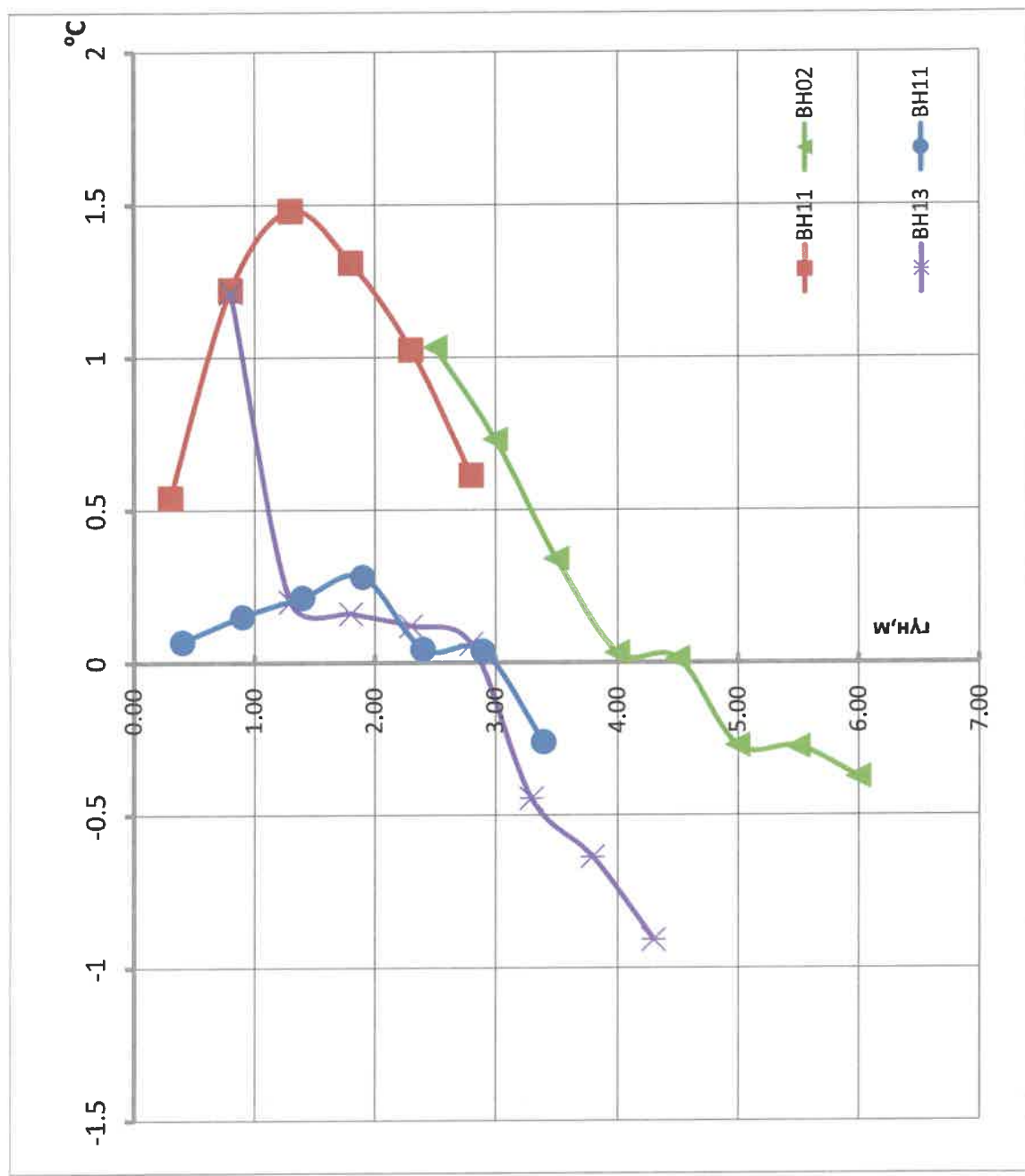
Хавсралт зураг 3. Цооногийн температур хэмжилт



Тусгайлан тоногдосон хоолойд температурын хэмжилтийг 0.5м алхамтай хийв.



Хавсралт зураг 4. Цооногийн температурын муруй



**Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд**

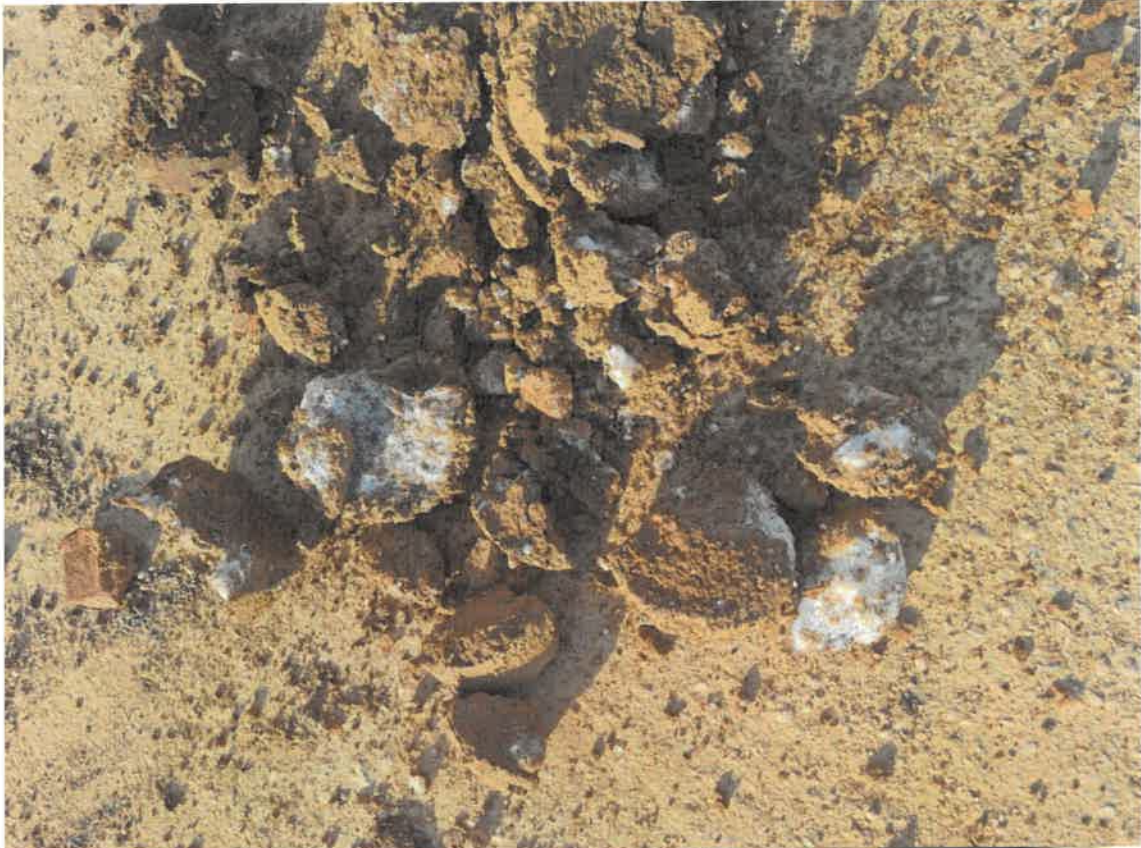


Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд





Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд





Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд





Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд



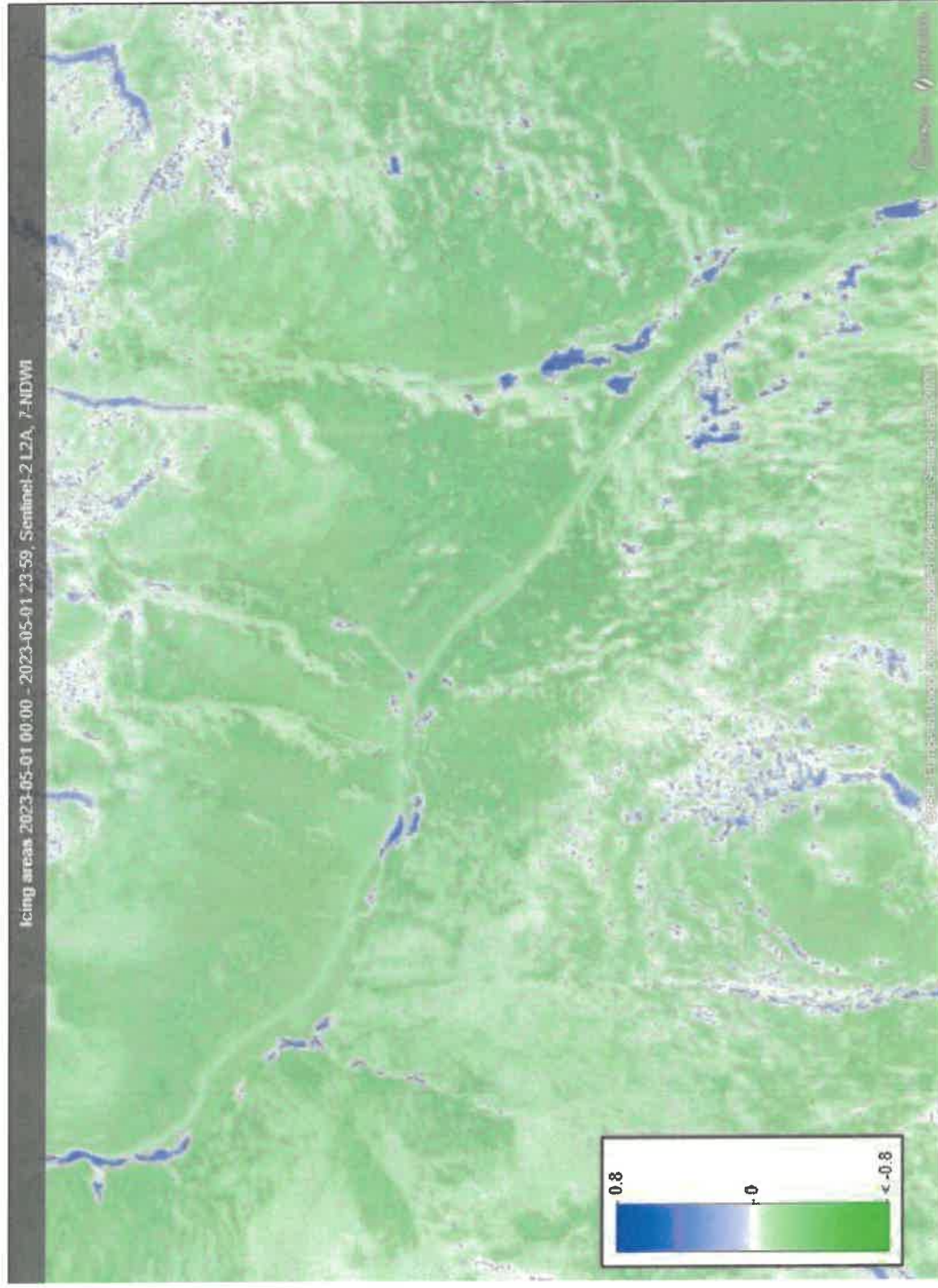


Хавсралт-5. Цэвдгийн дээжүүд





## Хавсралт зураг ба. Халиа тошин үүсдэг хэсэг



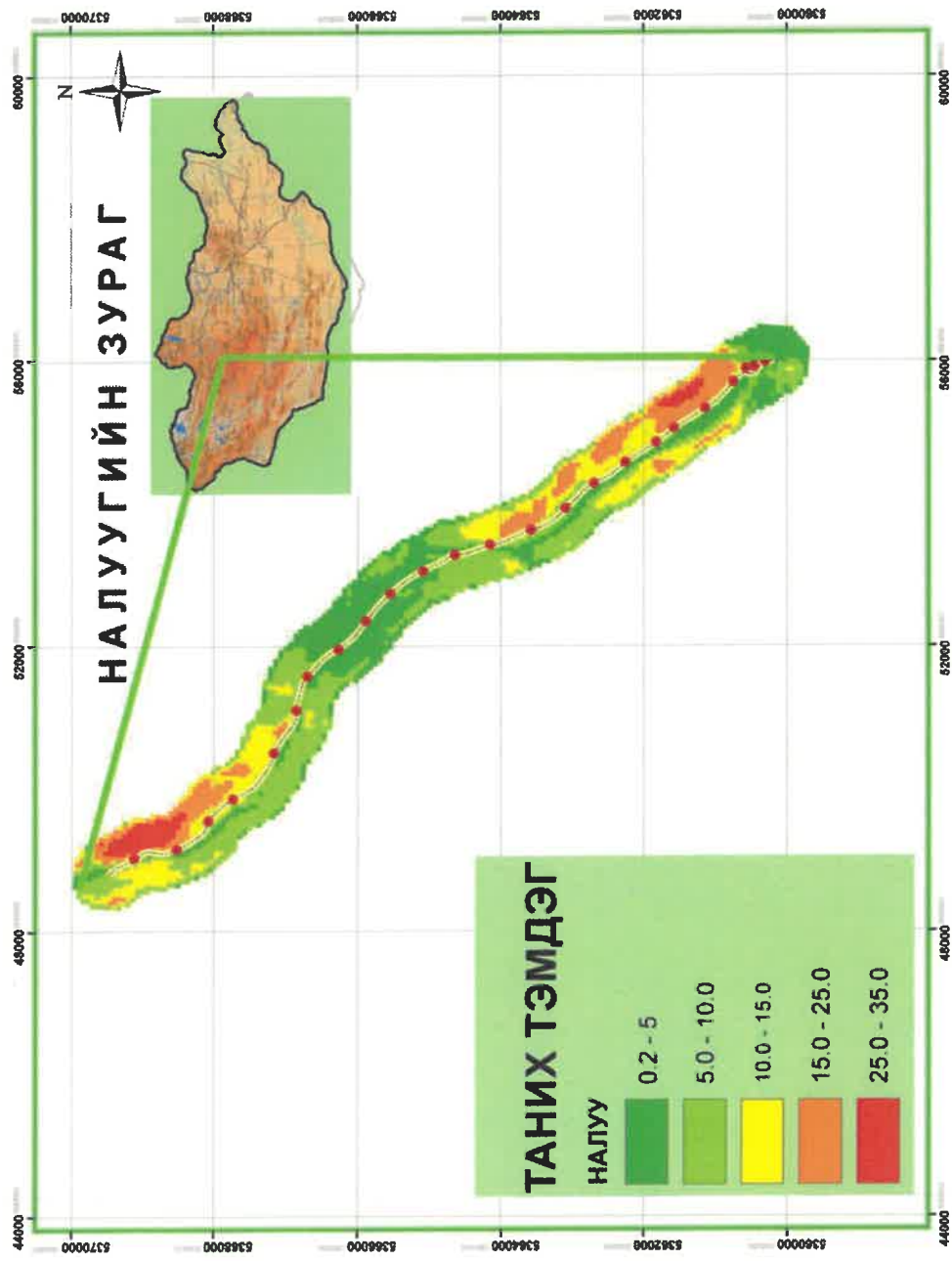


Хавсралт зураг 66. Халиа тошин үүсдэг хэсэг



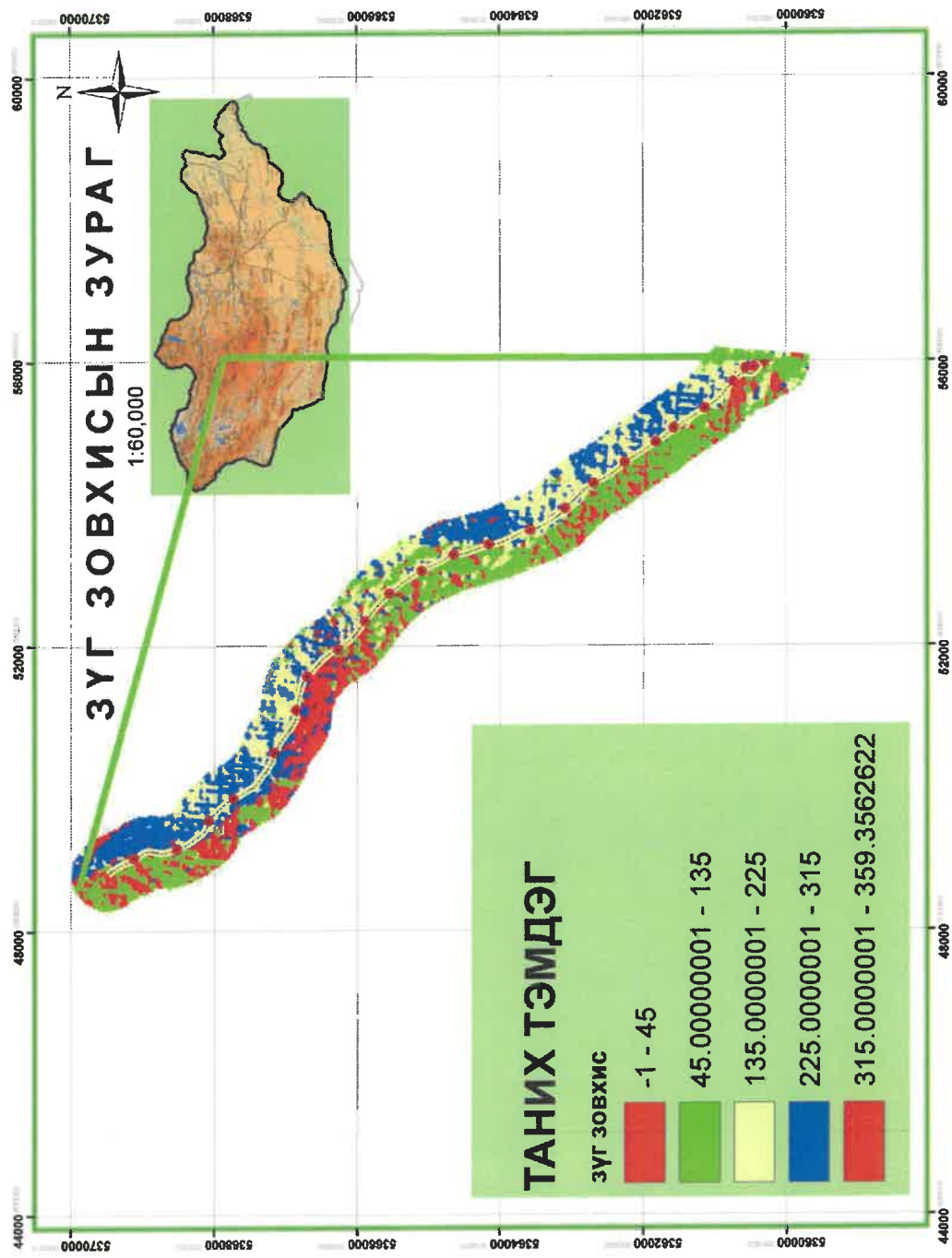
○ Халиа тошин замын зорчих хэсэгт үүсэх боломжтой хэсэг

Хавсралт зураг 7. Налуугийн зураг



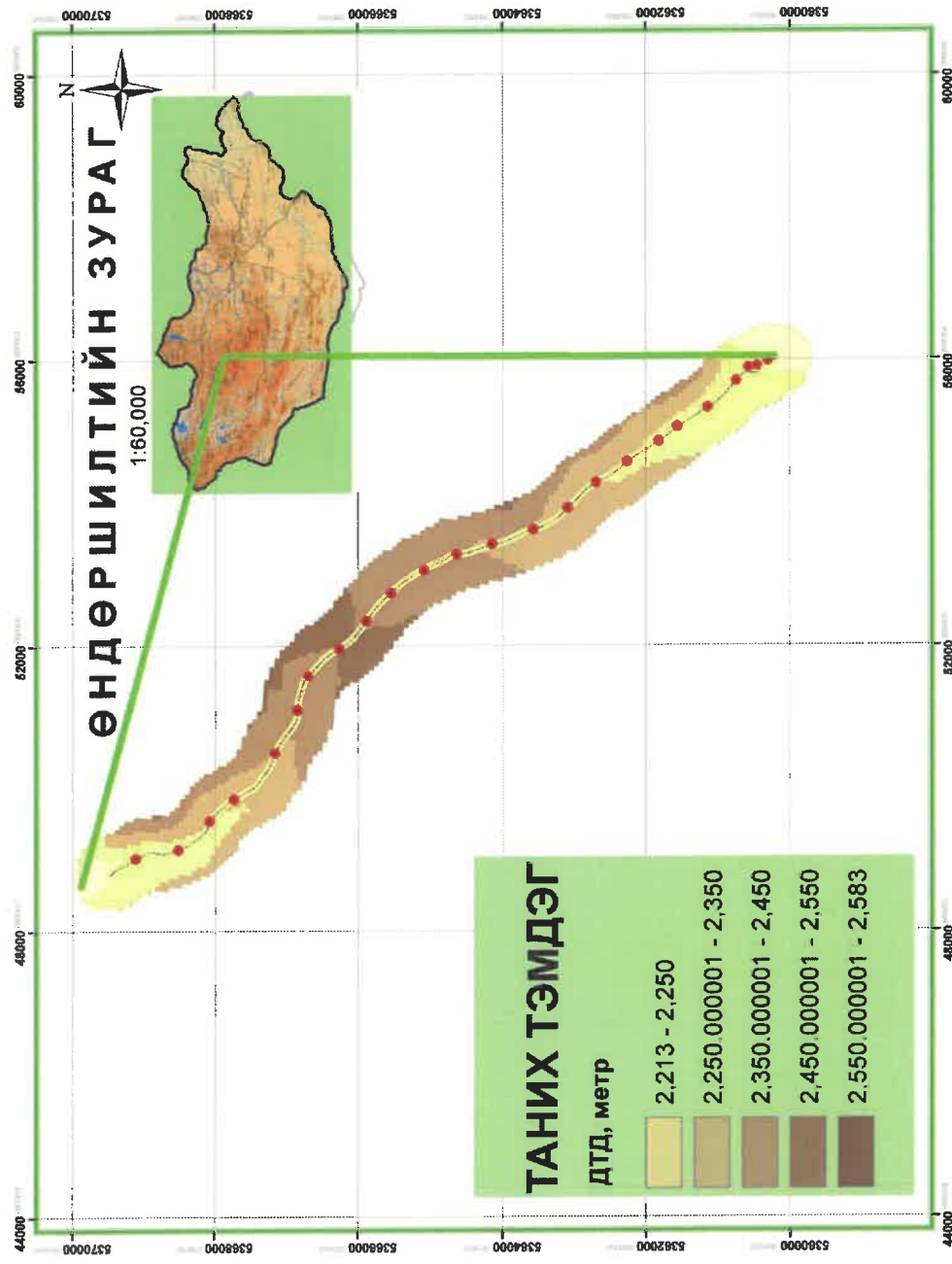
Налуугийн зургийн ASTER DEM зургаас гаргаж авсан

Хавсралт зураг 8. Зүг зовхисын зураг



Зүг зовхисын зургийн ASTER DEM зургаас гаргаж авсан

# Хавсралт зураг 9. Өндөршилтийн зураг

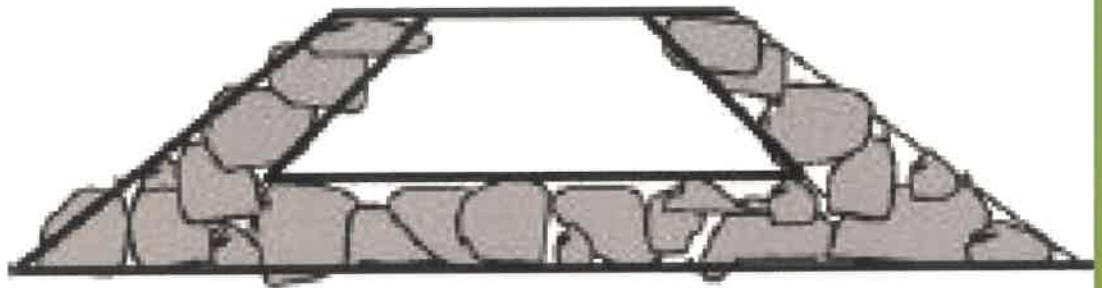


Өндөршилтийн зургийн ASTER DEM зургаас гаргаж авсан



2023

# CRUSHED STONE EMBANKMENT



**U Shape**

Executive Director, D.Anarbold

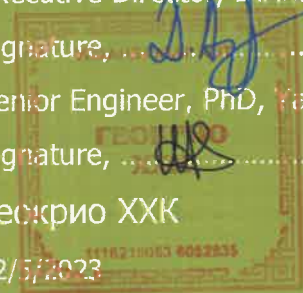
Signature, 

Senior Engineer, PhD, Ya.Jambaljav,

Signature, 

Геокрио ХХК

12/5/2023



## Estimation of height of crushed stone embankment

Change of native surface layers and replacement with paved or gravel surfaces can have a huge impact on energy exchange at the surface and result in warming, thermal instability, and thawing of underlying permafrost.

The surface energy balance is a complex function of vegetation, surface moisture content, seasonal snow cover, atmospheric radiation, and air temperature (Lunardini, 1981). These factors conspire to produce a mean annual surface temperature (MAST) that may differ by several degrees from the mean annual air temperature (MAAT).

Disturbance of the native surface conditions due to construction activity often increases the difference between MAAT and MAST, producing warmer conditions that may endanger the thermal stability of the permafrost layer.

In cases where the MAST is increased above 0°C, insulation alone will not be effective at limiting permafrost thaw and some sort of active or passive cooling system will be required.

This passive cooling effect can prevent thaw of underlying permafrost, thus eliminating thaw settlement.

In more temperate regions that are not underlain by permafrost, the natural convection can cause enhanced seasonal freezing beneath embankments and exacerbate problems with frost heave in the foundation soils.

It is well known that such a system will experience natural convection of the pore fluid if a critical Rayleigh number is exceeded, Nield and Bejan, 1992.

The Rayleigh number is given by:

$$Ra = \frac{C\beta gKH\Delta T}{\nu k};$$

Where,  $C$ ,  $\beta$ , and  $\nu$  are the volumetric heat capacity, expansion coefficient, and kinematic viscosity of the pore fluid (typically air in this application),  $g$  is the acceleration due to gravity,  $K$  is the intrinsic permeability of material,  $H$  is the layer height,  $\Delta T$  is the temperature difference between the top and bottom of the layer (warmer boundary below), and  $k$  is the thermal conductivity of material.

A stability analysis shows that a horizontal layer with impermeable boundaries of uniform temperature at its base and upper surface will begin to experience natural

convection once the Rayleigh number exceeds  $4\pi^2$  (39.48~40). Using this limit, it is also possible to define a critical  $\Delta T$ :

$$\Delta T_c = \frac{40\vartheta k}{c\beta gKH'}$$

Once this critical  $\Delta T$  is exceeded, warmer pore air from the base of the layer begins rising upward while cooled pore air from above circulates downward. A series of circulation cells arises which increase the heat transfer from the lower to the upper surface. Any departure from the ideal horizontal system generally results in reduced stability and convection will begin at smaller Rayleigh numbers. For instance, if the upper or lower surfaces are not at uniform temperature, if the upper or lower boundaries are slightly permeable, or if the system is not perfectly horizontal, convection will set in a lower Rayleigh number. Under actual field conditions it is very likely that these and other factors will conspire to produce convective flow at Rayleigh numbers as much as a half or one quarter of the value listed above (Douglas J. Goering, 2002).

The most important consideration for the current work is related to the heat transfer enhancement associated with the natural convection flow described above. This enhancement is normally characterized in terms of a Nusselt number which represents a ratio of the heat transfer with convection present to that due to thermal conduction alone. For a horizontal porous layer the Nusselt number can be defined as:

$$Nu = \frac{q\Delta z}{k\Delta T'}$$

Where  $q$  is the actual upward heat transfer through the layer,  $\Delta z$  is the layer height, and  $\Delta T$  is the temperature difference across the layer (warmer temperature below).

Johansen, 1975, showed that dry rock materials have higher thermal conductivity values than soils with equivalent porosity and moisture content. He suggested the use of the following correlation for crushed rock;

$$k_{dry} = 0.039n^{-2.2};$$

$n$ - porosity;

Permeability;

$$K = \frac{1}{5} \left[ \frac{(1-n)^2}{n^3} \left( \frac{\alpha}{100} \sum \frac{p}{d_m} \right)^2 \right]^{-1};$$

$$\alpha = 6 - 7.7;$$

$p$ -percentage of particles held between adjacent size limits;

$d_m$ -mean size of those limits;

Take the crushed stone size to be 10 cm. It is good if this size is greater than 10 cm in the technical drawing and construction.

$$-Nu_w \Delta T_w \Delta t_w = \Delta T_s \Delta t_s;$$

$$\Delta T_w = \bar{T}_{sw} - \bar{T}_{bw};$$

$$\Delta T_s = \bar{T}_{ss} - \bar{T}_{bs};$$

$\bar{T}_{sw}$ -mean temperature at embankment surface during winter;

$\bar{T}_{bw}$ - mean temperature at embankment base during winter;

$\bar{T}_{ss}$ - mean temperature at embankment surface during summer;

$\bar{T}_{bs}$ - mean temperature at embankment base during summer;

$$\Delta T_{offset} = \frac{\Delta T_s \Delta t_s}{365} \left( 1 - \frac{1}{Nu_w} \right);$$

Parameter	Symbol	Value	
Permeability	K	$19 \cdot 10^{-7} m^2$	Нэвчүүлэх боломж
Thermal Conductivity	k	0.55 W/m°C	Дулаан дамжуулалт
Specific heat capacity	C	1006 kJ/m <sup>3</sup> °C	Дулаан багтаамж
Critical ΔT	ΔT <sub>c</sub>	2.5	Критик температур
Length of winter convection season	Δt <sub>w</sub>	159 days	Агаарын конвекц явагдах хугацаа
Length of summer season	Δt <sub>s</sub>	206 days	Агаарын конвекцгүй хугацаа
Mean winter surface temp	$\bar{T}_{sw}$	-13.5°C	Асфальт гадаргын өвлийн дундаж температур
Mean summer surface temp	$\bar{T}_{ss}$	+12.8 °C	Асфальт гадаргын зуны дундаж температур
Mean winter base temp	$\bar{T}_{bw}$	-5.82°C	Чулуун далангийн



			ёроолын өвлийн дундаж темп
Mean summer base temp	$\bar{T}_{bs}$	0 °C	Чулуун далангийн ёроолын зуны дундаж темп
Mean temp difference during winter	$\bar{T}_w$	-7.68 °C	Өвлийн улирлын темп. зөрөө
Mean temp difference during summer	$\bar{T}_s$	+12.8 °C	Зуны улирлын темп. зөрөө
Mean winter Nusselt number	$\bar{Nu}_w$	2.2	Нюсслийн тоо
Thermal offset	$\Delta T_{offset}$	3.9	Дулааны алдагдал

Assumes MAST is +1.4°C, average summer surface temperature is +12.8°C, average winter surface temperature is -13.5°C on asphalt concrete pavement.

Embankment height:

$$H = \frac{40\vartheta k}{C\beta g K \Delta T_c}$$

$$\vartheta = 13.28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$g = 9.8$$

$$\beta = 3.69 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$C = 1006 \text{ kJ/m}^3\text{°C};$$

$$n = 30\%;$$

$$H = 4.6,$$

As mentioned above that under actual field conditions it is very likely that these and other factors will conspire to produce convective flow at Rayleigh numbers as much as a half or one quarter of the value listed above (Douglas J. Goering, 2002). In accordance with this postulate, the minimum height of the embankment is 1.15 m.

However, the higher the height of the crushed stone embankment, the greater the air convection. Therefore, the height of the crushed stone embankment is recommended to be 1.5 m.

**H=1.5M** (lowest height)

References:

1. Donald A. Nield, Adrian Bejan, Convection in Porous Media, Fourth Edition, ISBN 978-1-4614-5540-0 ISBN 978-1-4614-5541-7, Springer New York Heidelberg, Dordrecht London, Library of Congress Control Number: 2012951652,
2. Goering, Douglas J., 1998, Air Convection Embankment Experimental Feature Design, Technical Report, <http://hdl.handle.net/11122/10366>,

2023

Geocryo LLC

Executive Director,  
D. Anarbold  
Signature,.....  
Senior Engineer, PhD,  
Ya. Jambaljav  
Signature,.....

## [OPTIMAL HEIGHT OF PAVEMENT]

Here the optimal height of the road surface was determined step by step. The depth of thawing from the asphalt concrete surface is 0.91 m when using extruded polystyrene foam with a thickness of 0.20 m. Without insulation, the result was 5.08 m.

## Steps of estimation;

For meteorological data and pavement profile described in Table 1 and 2,

Average summer temperature at BCM surface = +11.95°C (appendix No 01)

Estimate the thaw depth,

1. Determine thermal properties for the materials.

- 1.1. For sand,  $k_u=2.8 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$ ;

Compute the unfrozen volumetric heat capacity,

$$c_{vu} = \frac{\rho_d}{\rho_w} \left(0.17 + 1.00 \frac{w}{100}\right) c_w = \frac{2000}{1000} \left(0.17 + 1.00 \frac{9}{100}\right) 4.187 \times 10^6 = 2.18 \text{ MJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C};$$

- 1.2. For SG,  $k_u=2.8 \text{ W/m}^{\circ\text{C}}$ ;

Compute the unfrozen volumetric heat capacity,

$$c_{vu} = \frac{\rho_d}{\rho_w} \left(0.17 + 1.00 \frac{w}{100}\right) c_w = \frac{2000}{1000} \left(0.17 + 1.00 \frac{9}{100}\right) 4.187 \times 10^6 = 2.18 \text{ MJ/m}^3 \cdot ^\circ\text{C};$$

2. Convert to a two-layer problem by calculating the equivalent SG thickness for the other layers.

$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{z_2}{z_1'}$$

- 2.1. Equivalent-thickness SG for BCM,

$$z_{BCM} \left( \frac{k_{SG}}{k_{BCM}} \right) = 0.09 \left( \frac{2.8}{1.28} \right) = 0.197 \text{ m};$$

- 2.2. Equivalent-thickness SG for AB+SB,

$$z_{AB+SB} \left( \frac{k_{SG}}{k_{AB+SB}} \right) = 0.42 \left( \frac{2.8}{2.9} \right) = 0.41 \text{ m};$$

- 2.3. Equivalent-thickness SG for SG,

$$z_{SG} \left( \frac{\alpha_{SG}}{\alpha_{SG}} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.40 \left( \frac{1.28}{1.28} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.40 \text{ m};$$

- 2.4. Equivalent-thickness SG for INSUL,

$$z_{INSUL} \left( \frac{k_{SG}}{k_{INSUL}} \right) = 0.20 \left( \frac{2.8}{0.036} \right) = 15.56 \text{ m};$$

- 2.5. Equivalent-thickness SG for sand,

$$z_{sand} \left( \frac{k_{SG}}{k_{sand}} \right) = 0.20 \left( \frac{2.8}{2.8} \right) = 0.20 \text{m};$$

Hence the total equivalent INSUL mat thickness is

$$H = 0.197 + 0.41 + 0.40 = 1.007 \text{m}; \text{ (above insulation layer)}$$

$$H = 0.197 + 0.41 + 0.40 + 15.56 + 0.20 = 16.767 \text{m}; \text{ (include all layers)}$$

3. Determine the time required to thaw through the SG. Compute the volumetric latent heat of SG.

$$L = \rho_d L' \left( \frac{w}{100} \right) = \frac{2000 \text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{333.7 \text{kJ}}{\text{kg}} \times \left( \frac{9}{100} \right) = 60.1 \text{ MJ/m}^3;$$

4. Next compute the thaw depth ( $t_d = 198 \text{ days} = 17.1 \times 10^6 \text{ sec}$ )

$$\mu = n_t * \frac{TI}{d_t} * \frac{C_v}{L_v} = 22.7 * \frac{2.18}{60.1} = 0.82;$$

$$\alpha = \frac{|T_{MASST}|}{n_t * \frac{TI}{d_t}} = \frac{|0.85|}{22.7} = 0.04;$$

$$\lambda = 0.96;$$

$$k_u = 2.8;$$

$$k_f = 3.5;$$

$$k_{avg} = 3.15;$$

$$X = \lambda \sqrt{\frac{2k_{avg}n_tTI}{L_v}} = 0.96 \sqrt{\frac{2 * 0.00315 * 4495.3 * 86400 \text{sec}}{60100}} = 6.12 \text{m}$$

$$R_{value} = 0.36;$$

$$n_t TI * \frac{\lambda^2}{L_v} = R_{eq} X + \frac{X^2}{2k_{avg}} = 4495.3 * 86400 * \frac{0.96^2}{60100000} = 0.36X + \frac{X^2}{2 * 3.15} = 5.96 = 0.36X + \frac{X^2}{6.3};$$

$$0.16X^2 + 0.36X - 5.96 = 0$$

$$X = \frac{-0.36 \pm \sqrt{0.36^2 + 3.81}}{2 * 0.16} = 5.08;$$

$$R_{value} = 5.92;$$

$$n_t TI * \frac{\lambda^2}{L_v} = R_{eq} X + \frac{X^2}{2k_{avg}} = 4495.3 * 86400 * \frac{0.96^2}{60100000} = 5.92X + \frac{X^2}{2 * 3.15} = 5.96 = 5.92X + \frac{X^2}{6.3};$$

$$0.16X^2+5.92X-5.96=0$$

$$X = \frac{-5.92 \pm \sqrt{5.92^2 + 3.81}}{2 \cdot 0.16} = 0.98 \text{ m};$$

### **5. Estimation Results;**

Here, the thickness of the road embankment is taken to be 0.91 m above insulation and 1.11 m with insulation in accordance with the technical drawing of the section at k55+300:k55+800 and k57+440:k57+760.

The estimation of embankment height was done using the above equations without insulation and with insulation.

The depth of thawing from the surface of asphalt concrete when calculated without insulation is **5.08 m**. When calculated taking into account an insulation thickness of 0.2 m, it is equal to **0.98 m**.

### **6. Recommendation;**

It is recommended to lay extruded polystyrene foam with a thickness of at least **0.2 m**.

### **References;**

1. Orlando B. Andersland, Branko Ladanyi, An Introduction to Frozen Ground Engineering, ISBN: 978-1-4757-2292-5, Publisher: Springer US, Year: 1994,
2. Geotechnical Design and Install Guide, Roadways & Airfields
3. Под ред, В.А.Кудрявцева, Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях, Из-во МГУ, Москва, 1974,
4. Под ред, Э.Д.Ершова, Инженерная геокриология, Справочное пособие

## Appendix 01;

Table 1 Meteorological data

No	Mean annual soil surface temperature, MASST, °C	Thawing index, TI	Freezing index, FI	Surface nt-factor	Surface nf-factor
1	0.85	-2055.32	2365.94	1.9	0.9

Table 2 Thermal properties of embankment elements

No	Material s	Thickness , m	Density, kg/m <sup>3</sup>	Moisture, w, %	k, W/m°C	C, MJ/m <sup>3</sup> *°C	R-value	Sources
1	BCM	0.09	2150	-	1.28	2.52	0.07	
2	AB+SB	0.42	2100	6-8	2.9	2.11	0.15	
3	SG	0.40	2000	8-10, 12	2.8	2.18	0.14	
4	INSUL	0.2	30	1	0.036	0.0435	5.56	
5	Sand	0.2	2000	8-10	2.8	2.18	0.07	

*BCM-bituminous concrete mix, AB+SB-Aggregate Base + Sub base Course, SG-Subgrade, INSUL-insulation (polystyrene foam)*

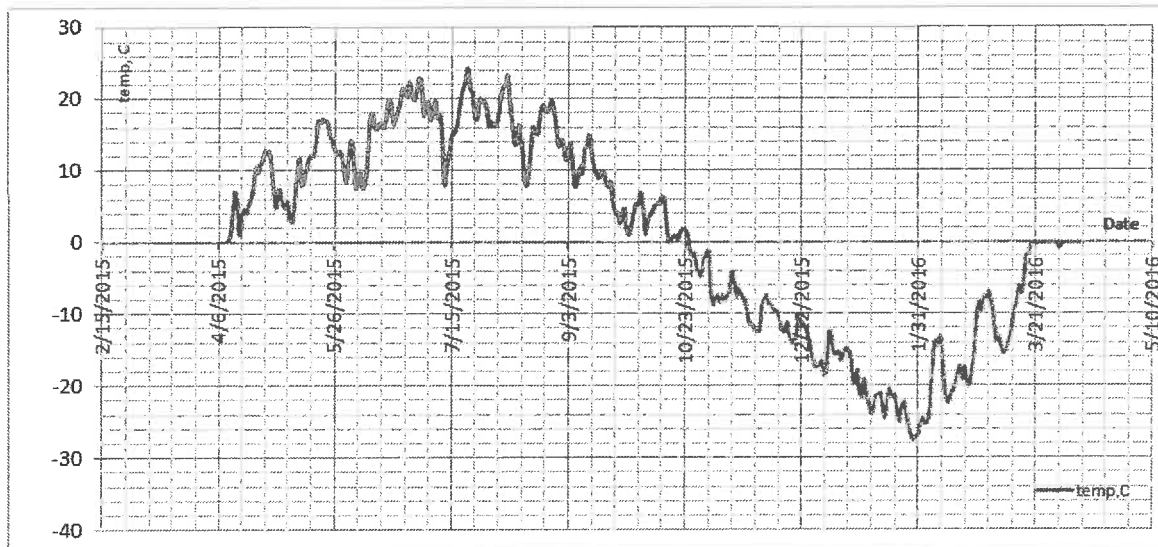


Figure 1 Surface temperature curve

**Архангай, Завхан аймгийн хилийн зааг  
Солонготын давааны авто зам дээр гүйцэтгэсэн  
Георадарын зураглалын  
ажлын тайлан**

**Гүйцэтгэгч:** Монгол Улсын зөвлөх инженер, Доктор(PhD):

  
...../Ц.Нямбаяр/

Улаанбаатар хот

2023 он



**ГАРЧИГ**

ЗУРГЫН ЖАГСААЛТ .....	3
ХҮСНЭГТИЙН ЖАГСААЛТ.....	4
УДИРТГАЛ .....	5
ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ ЗОРИЛГО .....	5
ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ.....	6
СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, ХЭМЖИЛТ МЭДЭЭЛЭЛ ЦУГЛУУЛАЛТ.....	9
ГЕОРАДАРЫН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ .....	14
ГЕОРАДАРЫН ЗУРАГЛАЛЫН ҮР ДҮН, ТАЙЛАЛ .....	14
ДҮГНЭЛТ.....	23
АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ .....	24

## ЗУРГЫН ЖАГСААЛТ

Зураг 1. Георадарын сигналын зураг. $A_1$ - $A_3$ нь биетийн хил заагаас ойж буй сигналын амплитуд. ....	8
Зураг 2. Георадарын хэмжилтийн төрлүүд. а) SMP-COMMON MID-POINT буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол бус бөгөөд өндөр нарийвчлалтай 1 хэмжээст хэмжилтийн аргачлал, б) SO-COMMON OFFSET буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол хэмжилтийн аргачлал. ....	8
Зураг 3. Эхний талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	10
Зураг 4. Хоёр дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	10
Зураг 5. Гурав дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	11
Зураг 6. Дөрөв дэхь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	11
Зураг 7. Тав дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	12
Зураг 8. Зургаа дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	12
Зураг 9. Долоо дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно. ....	13
Зураг 10. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-1 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, ногоон цэгүүд нь бул чулуу болон томхон биетийн байрлалыг зааж байгаа болно. ....	16
Зураг 11. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-11 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно. ....	16
Зураг 12. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-12 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно. ....	17
Зураг 13. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-12 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно. ....	17
Зураг 14. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг тус бүр зааж байгаа болно. ....	18

Зураг 15. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг тус бүр зааж байгаа болно. ...	18
Зураг 16. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг тус бүр зааж байгаа болно. ....	19
Зураг 17. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн хоёр дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг тус бүр зааж байгаа болно. ...	19
Зураг 18. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн хоёр дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно. ....	20
Зураг 19. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн гурав дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно. ....	20
Зураг 20. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн дөрөв дэхь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно.....	21
Зураг 21. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн тав дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг тус бүр зааж байгаа болно.....	21
Зураг 22. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-15 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.....	22
Зураг 23. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-17 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, , хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.....	22

## **ХҮСНЭГТИЙН ЖАГСААЛТ**

Хүснэгт 1. Цахилгаан соронзон долгионы тархалт хөрс болон чулуулгын диэлектрик тогмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаарсан хурдны харьцуулалт .....	6
Хүснэгт 2. Антений давтамжаас шалтгаалан нэвтрэх гүний хамаарал.....	7
Хүснэгт 3. Хөндлөн зүсэлтийн нарийвчилсан параметрууд.....	13
Хүснэгт 4. Дагуу зүсэлтийн нарийвчилсан параметрууд.....	13

## **УДИРТГАЛ**

Георадар нь дөрөвдөгчийн хурдсын тогтоц, хот суурин газрын хөрсний бүтцийн судалгаа, инженерийн шугам сүлжээний төлөвлөлтийн ажилд нэн тохиромжтой байсан (Smith & Jol, 1995), (Cai, McMechan, & Fisher, 1996), (Audru, et al., 2001), (Demanet, et al., 2001), (Gross, Green, Holliger, Horstmeyer, & Baldwin, 2002). Ихэнх тохиолдолд үүнийг бусад геофизикийн дүрслэх аргуудтай хослуулдаг ба ялангуяа цахилгаан томографи аргатай хослуулах нь өндөр үр дүнтэй (Demanet, et al., 2001), (Lehmann, Klostermann, & Pelzing, 2001), (Vanneste, Verbeeck, & Petermans, 2008). Гүний тандан судалгааны гүн, нарийвчлал, хэмжилтийн хурдны хувьд Георадар нь өргөн цар хүрээг хамарсан талбайн хэдэн арван метрийн хэмжээтэй бүтцийг тодорхойлоход хамгийн тохиромжтой арга юм (Nyambayar, 2021).

Георадар нь одоо байгаа замын хучилт, далангийн нөхцлийг тасралтгүй мониторинг хийж чаддаг, талбайн туршилтын үл эвдэх аргийн нэг юм. Георадар нь өндөр хурдны өгөгдөл цуглуулах хурдыг 80 км/цаг хүртэл хурдаар ашиглаж чаддаг бөгөөд замын хөдөлгөөний хяналт бага шаардагдах тул аюулгүй байдлын хувь өндөр байдаг. Георадар нь авто замын хучилтын төрөл бүрийн хэрэглээнд ашиглагдах боломжтой бөгөөд үүнд:

- асфальтан хучилтын зузаан, суурийн болон дэд зэрэглэлийг хэмжих
- энхэл донхол механизмын шинжилгээнд туслах
- материалын шинж чанарыг тооцоолох, баталгаажуулах
- газрын доорхи объектын байршлыг тогтоох
- хөрс хуулалт эсвэл давхаргын тусгаарлалтыг илрүүлэх
- газрын доорхи чийгийг илрүүлэх
- гадаргуугийн ойролцоо суурь чулуулаг болон хүлэрт ордын гүнийг тодорхойлох

## **ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ ЗОРИЛГО**

Георадарын судалгаа нь Геологи, Байгаль орчин, Археологи, Уул уурхай, Барилга байгууламж, Инженерийн шугам сүлжээ, Гүний ус, Цас мөс, Агуй хонгилийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг. Энэ удаа хийж гүйцэтгэсэн судалгааны ажлын гол

зорилго нь Архангай болон Завхан аймгуудын хилийн зааг болох Солонготын давааны авто замын доор орших цэвдгийн хил заагийг зураглаж судлахад оршино.

## ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ АРГАЧЛАЛ

Ground-Penetrating Radar (GPR) буюу Георадарын судалгаа нь анх 1930 онд хийгдэж байсан бөгөөд тус багажийг зохион бүтээгчид 1937 онд анхны цахилгаан соронзон долгионоор геофизикийн хайгуул хийх аргыг туршиж тэр цагаас хойш тус багаж нь аажмаар хөгжсөөр, 1992 оноос микроэлектроникийн хөгжлийг дагаж маш их хурдацтай хөгжиж өнөөдрийн байдлаар маш олон салбарт өргөн хэрэглэгдэж эхэлсэн.

Георадарын багажийн давуу тал нь зөөж тээвэрлэхэд авсаархан, битүүмжлэгдсэн байдаг учраас эвдрэл гэмтэл харьцангуй бага, геофизикийн бусад судалгааны багажийг бодвол хэмжилтийг богино хугацаанд босоо, хэвтээ тэнхлэгийн дагуу гүйцэтгэж зураглал хийх боломжтойгоор онцлог давуу талтай юм. Георадар нь 10 МГц – 2 ГГц – ийн өндөр давтамж бүхий цахилгаан соронзон долгионы тархалт, ойлт, сарнил гэх мэт физикийн хуулинд тулгуурласан геофизикийн судалгааны нэг гол аргачлал юм. Цахилгаан соронзон долгионы тархалт нь тухайн хөрс болон чулуулгын диэлектрик тогмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаардаг. Хүснэгт 1 ба тархалтын хурд нь 50 – 100 наносек байдаг.

Орчин	Хувийн хүчлэг ( $\epsilon_r$ )	Хурд (м/мсек)
Агаар	1	300
Цэвэр ус	81	33
Шохойн чулуу	7-16	75-113
анар	5-7	113-134
занар	5-15	77-134
шавар	4-16	74-150
Бетон	4-10	95-150
Лаг шавар	9-23	63-100
Элс	4-30	55-150
Мөс	3-4	150-173
Цэвдэг	4-8	106-150

*Хүснэгт 1. Цахилгаан соронзон долгионы тархалт хөрс болон чулуулгын диэлектрик тогмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаарсан хурдны харьцуулалт*

Георадар нь бага гүний соронзон шинж чанаргүй чулуулгын өдөөгдөж цахилгаанжсан болон цахилгаанжаагүй ялгаралуудыг зураглах боломж олгодог.

Георадарын багаж нь бага гүний хайгуулын багажид ордог бөгөөд тандалтын гүн нь ашиглагдаж буй давтамжын цахилгаан соронзон долгионы замхралаас шалтгаалдаг Хүснэгт 2. Хамгийн бага давтамж нь хамгийн их гүнд нэвтрэх бөгөөд энэ нь 1 мсек/м – ээс доош бага цахилгаан дамжуулалт бүхий орчинд 5 см – ээс 50 м хүртэл байдаг. Нэвтрэх гүн болон зураглалын нарийвчлал нь дамжуулагчаас цацаж буй радио долгионы давтамж болон тус хэмжилтийн орчны геологийн бүтэц, шинж чанар, цахилгаан эсэргүүцэл зэргээс хамаардаг.

$$\lambda = \frac{c}{v}$$

Энд долгионы урт нь давтамжаас урвуу хамааралтай ба вакуум дахь гэрэл тархах хурдтай шууд хамааралтай.

Антенны давтамж (МГц)	Долгионы тархалтын нягтрал (m/μs), λ/4 , (см)	Хамгийн ихдээ нэвтрэх гүн (м)
25	100	50
50	50	40
100	25	25
250	10	15
500	5	8
800	3	6
1200	2,1	1
1600	1,6	0,5
2300	1,3	0,4

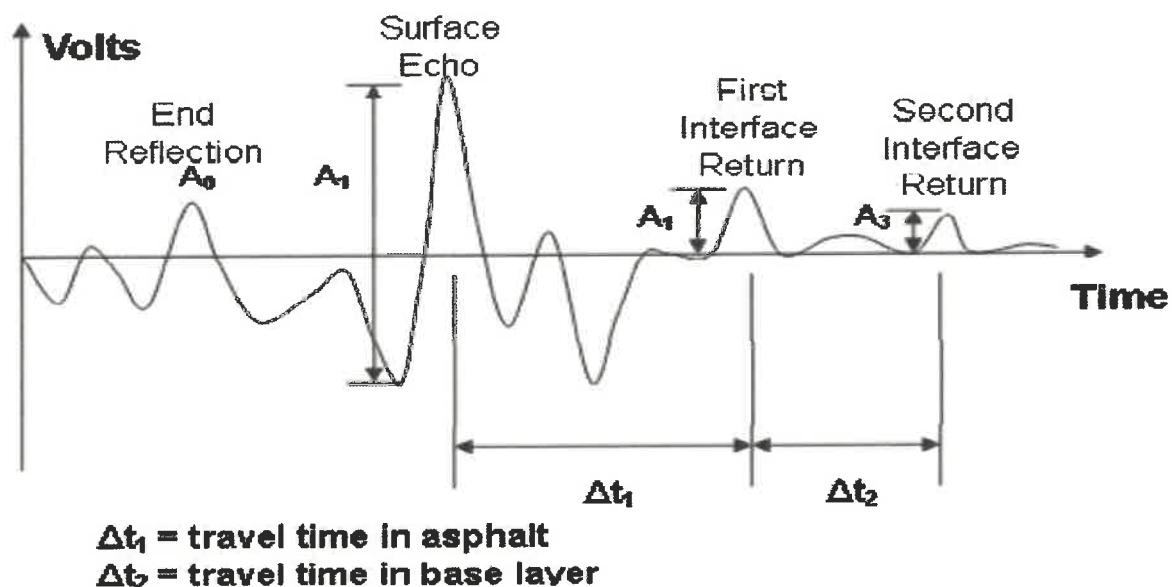
*Хүснэгт 2. Антенний давтамжаас шалтгаалан нэвтрэх гүний хамаарал*

Доош чиглэсэн босоо нарийвчилал нь ашиглагдаж буй антенний давтамж ба цахилгаан соронзон долгионы хурдаас шалтгаалдаг. λ/4 хэмжээ нь 50 – 500 МГц давтамжууд ба 0,1 – 0,14 м/наносек хурднуудад 5 – аас 70 см хүртэл өөрчлөгддөг (Зураг 1).

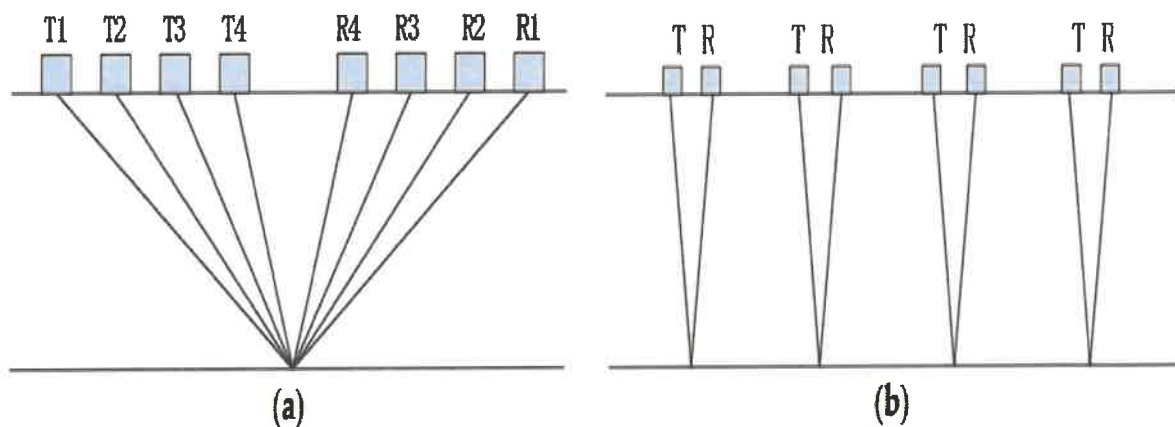
Георадарын хэмжилт хийх аргачлал нь ойлтын, хурдны, томографын гэж 3 ангилалд хуваагддаг.

Георадарын тандалтын 95% нь 2 туйлт ойлтын аргачлалд тулгуурлан гүйцэтгэгддэг бөгөөд дамжуулагчаас тухайн орчинд цахилгаан импульсуудыг тодорхой давтамжтайгаар цацдаг ба цахилгааны шинж чанрын хувьд ялгаатай хөрсний үе давхрага болон биетийн заагаас цахилгаан соронзон долгион ойж хүлээн авагчид бүртгэгдэх хугацааг тэмдэглэх замаар хэмжилт гүйцэтгэгдэнэ (Зураг 1). Хоёр туйлт

ойлтын аргачлал нь дотроо 2 ангилалд хуваагдах бөгөөд Common Offset (CO) буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол (Зураг 2б) байдаг хэмжилтийн аргачлал нь хэмжилтийг илүү хурдан гүйцэтгэж, зураглах боломжтой байдаг. Харин Common Mid-Point (CMP) буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол бус (Зураг 2а) байдаг хэмжилтийн аргачлал нь зөвхөн голын төв цэг дээрх 1 хэмжээст гүний утгыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлдог бөгөөд дээрхи хоёр аргуудыг хослон хэрэглэсэнээр георадарын зураглал нь илүү өндөр үр дүнтэй болдог.



Зураг 1. Георадарын сигналын зураг.  $A_1$ - $A_3$  нь биетийн хил заагаас ойж буй сигналын амлитуд.



Зураг 2. Георадарын хэмжилтийн төрлүүд. а) CMP-Common Mid-Point буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол бус бөгөөд өндөр нарийвчлалтай 1 хэмжээст хэмжилтийн аргачлал, б) CO- Common Offset буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол хэмжилтийн аргачлал.

## СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, ХЭМЖИЛТ МЭДЭЭЛЭЛ ЦУГЛУУЛАЛТ

Бидний судалгаа хийх талбай нь Улаанбаатар хотоос баруун хойд зүгт 860км-т Архангай аймгийн баруун хойд хил болон Завхан аймгийн зүүн хойд хил дээр орших Солонготын давааны асфальт хучилтгүй автозамын оройн хэсэгт болно. Энэ хэсэг нь Солонготын давааны ар болон өвөр тал руу хуваагдаж орсон хэсэг болно. Энэ талбайн авто замын дагуу цэвдгийн хилийг огтолсон хөндлөн зүсэлтүүдийг хийсэн ба мөн уг авто замын дагуу огтлох байдлаар георадарын хэмжилтүүдийг хийж гүйцэтгэсэн болно.

Энэхүү хэмжилтэнд бид Америкийн нэгдсэн улсын GSSI брендийн георадарын иж бүрэн систем ашигласан бөгөөд гүний бүтцийн ялгаатай зураглал гаргаж авах үүднээс 200 МГц, 400МГц,- ийн нийт 2 төрлийн хамгаалагдсан антенуудаар хэмжилтийн ажлийг гүйцэтгэсэн.

Хэмжилт хийх талбай нь бартаа саадтай учраас учраас зориулалтын тэргэнцрийг ашиглах боломжгүй бөгөөд антенаа чирж хэмжилтийг гүйцэтгэсэн. Харин авто замын дагуу хийх хэмжилтыг суудлын машины арын ачааны хонхорт оператор болон хэмжилтийн компьютерийг байрлуулж георадарын антенаа машины араас чирэх байдлаар хэмжилтээ хийсэн болно.

Хамгаалагдсан антен нь дамжуулагчаас цацруулж байгаа цахилгаан соронзон долгион нь зөвхөн газрын гүн рүү тархдаг учир орчны нөлөөлөл шуугиан бүртгэгддэггүй давуу талтай. Харин явсан нийт замыг тэргэнцрийн дугуйнд байрлах тоолуур бүхий дугуйгаар нарийн хэмжиж тодорхойлно.

Талбайн хэмжилт гүйцэтгэх үеэр цас үе үе орж салхилж байсан боловч энэ нь хэмжилтийн чанарт нөлөөлөх хэмжээнд байгаагүй учир саатал гараагүй болно.

Георадарын хэмжилтийн талбайн хөндлөн ба дагуу зүсэлтүүдийн байрлалууд болон эхлэлийн цэгүүдийг (Зураг 3-аас Зураг 9) дээр харуулсан болно.

Георадарын мэдээлэл цуглуулалтыг GSSI брендийн өөрийнх нь компьютер болох SIR 4000 дээр өөрийнх нь хэмжилтийн программ хангамж ашиглаж гүйцэтгэдэг. Георадарын мэдээлэл цуглуулалтад шаардлагатай орчний хүчин зүйлүүд нь хөрсний чийгшил харьцангуй бага, орчны температур  $-20^{\circ}\text{C}$  - ээс  $+50^{\circ}\text{C}$  ( $-4^{\circ}\text{F}$ -ээс  $+122^{\circ}\text{F}$ ) байх шаардлагатай юм.





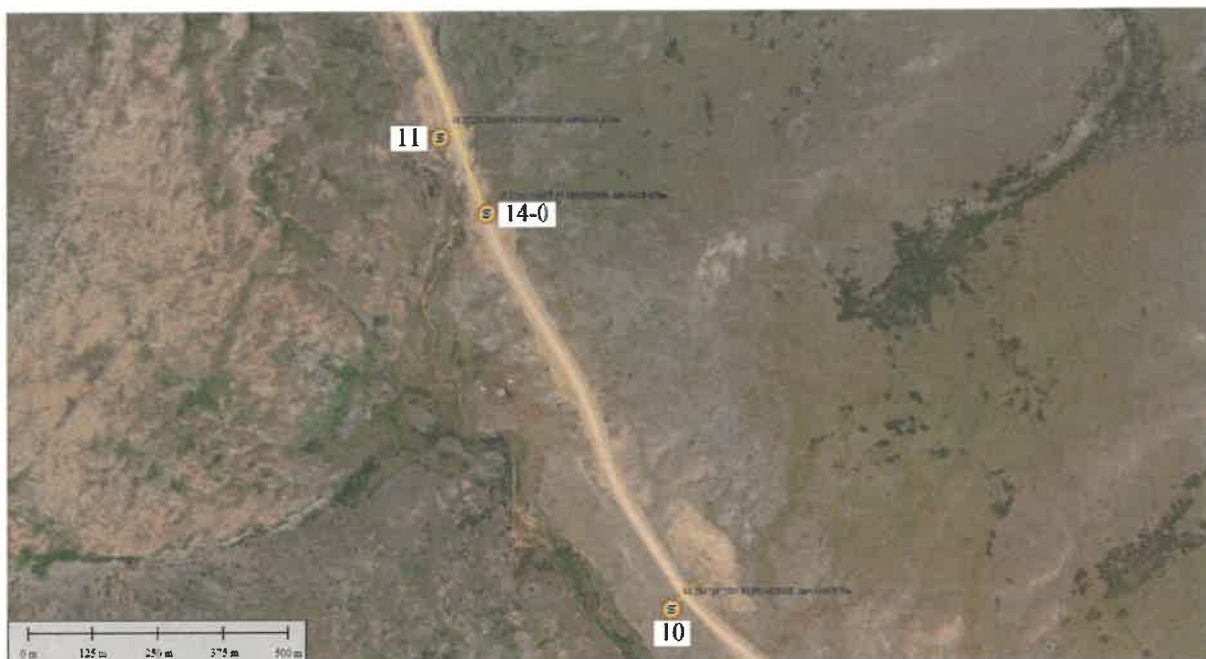
*Зураг 3. Эхний талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.*



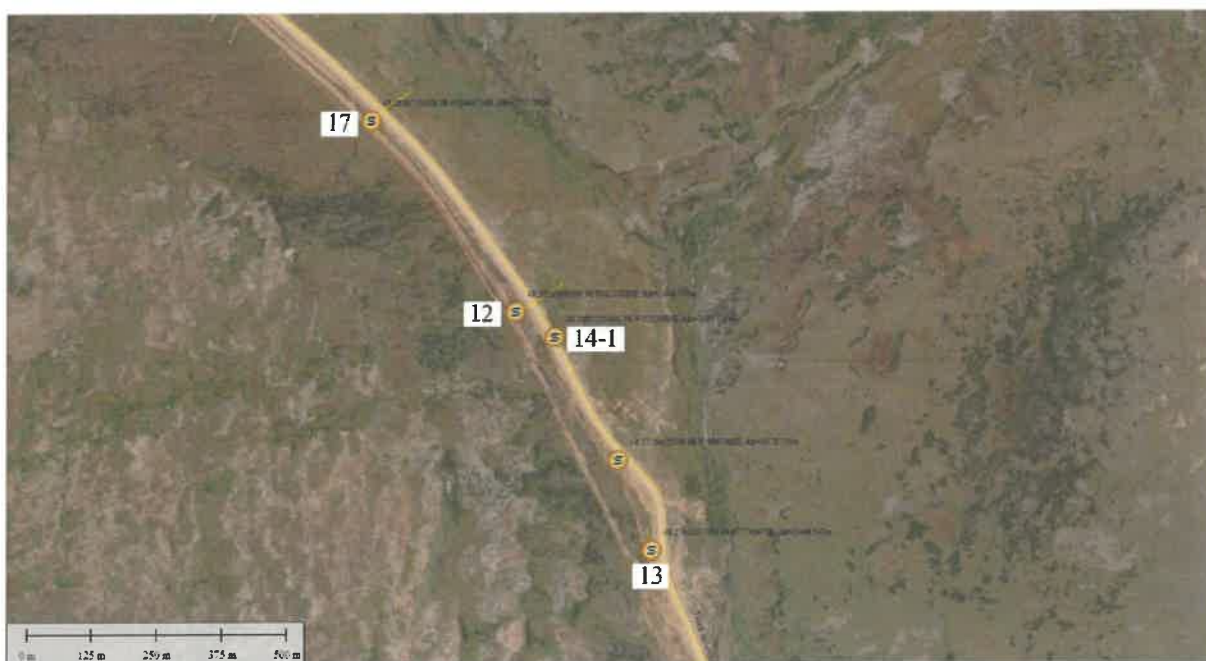
*Зураг 4. Хоёр дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.*

Георадарын мэдээлэл цуглуулалтыг судалгааны талбай дээр хийж гүйцэтгэхдээ 200МГц антенаар 16 хөндлөн зүсэлт (Хүснэгт 3) дээр хийсэн бөгөөд харин 200МГц антенаар замын дагуу тус бүр 1 км гаруй урттайгаар нийт 7 зүсэлт хийсэн ба нийт 7км гаруй урт дагуу зүсэлт хийж гүйцэтгэсэн (Хүснэгт 4). Хэмжилт хийж гүйцэтгэсэн бүх

талбай нь адилхан цичгшил ихтэй хөрс бүхий орчин байсан учраас бүх хэмжилтийн үеийн гүний диэлектрик тогтмолыг 1.76 аар тохируулсан.



Зураг 5. Гурав дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.



Зураг 6. Дөрөв дэхь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.





Зураг 7. Тав дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.



Зураг 8. Зургаа дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.



*Зураг 9. Долоо дахь талбай ба георадарын хэмжилт хийсэн зүсэлтүүдийн байрлал болон дугаарлалтын зураг. Шар шугам нь зүсэлтийн байрлал, S нь эхлэлийн цэг болно.*

	Хөндлөн зүсэлт 1-13 ба 15-17
Хэмжилт хийсэн антен	200 МГц
Хугацааны хязгаар	132.51 нано сек
Хэмжилтийн нарийвчлал	0,05 м
Хэмжилтийн гүн	15.00 м

*Хүснэгт 3. Хөндлөн зүсэлтийн нарийвчилсан параметрууд.*

	Дагуу зүсэлт 14-(0-7)
Хэмжилт хийсэн антен	200 МГц
Хугацааны хязгаар	596 нано сек
Хэмжилтийн нарийвчлал	0,1 м
Хэмжилтийн гүн	15.00 м

*Хүснэгт 4. Дагуу зүсэлтийн нарийвчилсан параметрууд.*

Мөн Георадарын хөндлөн огтлолуудын топографыг Swift navigation брендийн Piksi Multi GNSS хос долгионы, өндөр нарийвчлалтай хүлээн авагч бүхий дифференциал GNSS системээр өндөр нарийвчлал бүхий RTK горимд зүсэлт тус бүр дээр тус тусад нь хэмжсэн болно.

## **ГЕОРАДАРЫН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ**

Георадарын зураглалын мэдээллийн анхан шатны боловсруулалтыг RADAN 7.6 программ хангамж дээр хийж AGC фильтр, DC фильтр, FIR фильтр, HFIR фильтр, Time Gain фильтр зэрэг стандарт фильтруудийн санг ашиглан боловсруулалт болон үр дүнгийн зураглалыг гүйцэтгэсэн.

Энэхүү боловсруулалтын программ дээр одоогоор топографын засварыг оруулах боломжгүй байгаа тул бид авто замын тэгш гадаргуу дээр хэмжиж байгаа учраас гадаргууг ерөнхийдөө тэгш гэж үзэн Георадарын үр дүнгийн зурагт топографын утга оруулаагүй болно.

## **ГЕОРАДАРЫН ЗУРАГЛАЛЫН ҮР ДҮН, ТАЙЛАЛ**

Георадарын зураглалын үр дүнд тайлал хийхдээ ялгаатай үе давхаргуудын зааг болон долгионы ойлт, хугарал, замхрал, гажилт өгч байгаа хэсгүүдэд анализ хийж түүнийгээ тухайн газрын геологийн бүтэцтэй харьцуулан эцсийн дүгнэлт хийдэг (Annan, 2009), (Nyambayar, 2021). Харин авто замын зураглалын хувьд хагарал, ан цав, цуурлуудыг ялгахын тулд сигналын фазын өөрчлөлт, гажуудал болон хүчтэй ойлт бүхий үе давхрага, бүсүүдийг харж ялгадаг бол цэвдэг буюу ус чийгний агууламжыг ялгаж хархын тулд AGC хийлгүйгээр сигналын эрчмийн замхралтыг хэвээр нь үлдээсэн болно.

Георадарын хөндлөн зүсэлтүүд нь авто замын хоёр хажуу болон гүний цэвдгийн тархалтыг илрүүлэх зорилготой учраас замыг хөндлөн зүсэж хийгдсэн билээ. Тэдгээр зүсэлтүүдийн зарим үр дүнгүүдийг (Зураг 11, Зураг 12, Зураг 13, Зураг 22, Зураг 23) дээр үзүүлсэн болно. Эдгээр (Зураг 11, Зураг 12, Зураг 13, Зураг 22, Зураг 23) хөндлөн зүсэлтүүдийн үр дүн дээр топографын засвар хийгдээгүй учир авто замын гадаргууг шар сумаар зааж харуулсан ба хар муруйгаар цэвдгийн хөлдөлдтэй хэсгийн дээд хил заагыг тоймлон зурж харуулсан болно. Цэвдгийн хөлдөлд ихтэй хэсэгт цахилгаан соронзон долгионы эрчим их хэмжээгээр замхардаг тул гүн цайралттай харагдаж байгаа болно. Харин босоо хар шугам нь хөндлөн болон дагуу зүсэлтүүдийн хоорондоо огтлолцож байгаа хэсгийг тэмдэглэн харуулсан. Хөндлөн зүсэлтүүдийн үр дүнгээс харвал авто замын далан доор байгаа цэвгийн хөлдөлдтэй хэсгийн гүн 2м орчимоос 4.5м-ийн хооронд байна гэж харагдаж байна. Хөндлөн зүсэлтүүдээс газрын гадаргуу буюу хөрсөн дээр устай хэсгүүдийг зарим хөдлөн зүсэлтээр дайрч гарсан байгаа бөгөөд тэдгээр устай хэсгүүдийг хөх сумаар тэмдэглэн харууллаа (Зураг 11, Зураг 12, Зураг 13, Зураг 23). Хөндлөн зүсэлтүүдээс өрөмдлөгийн цооногтой давхцаагүй ба харин дугуу

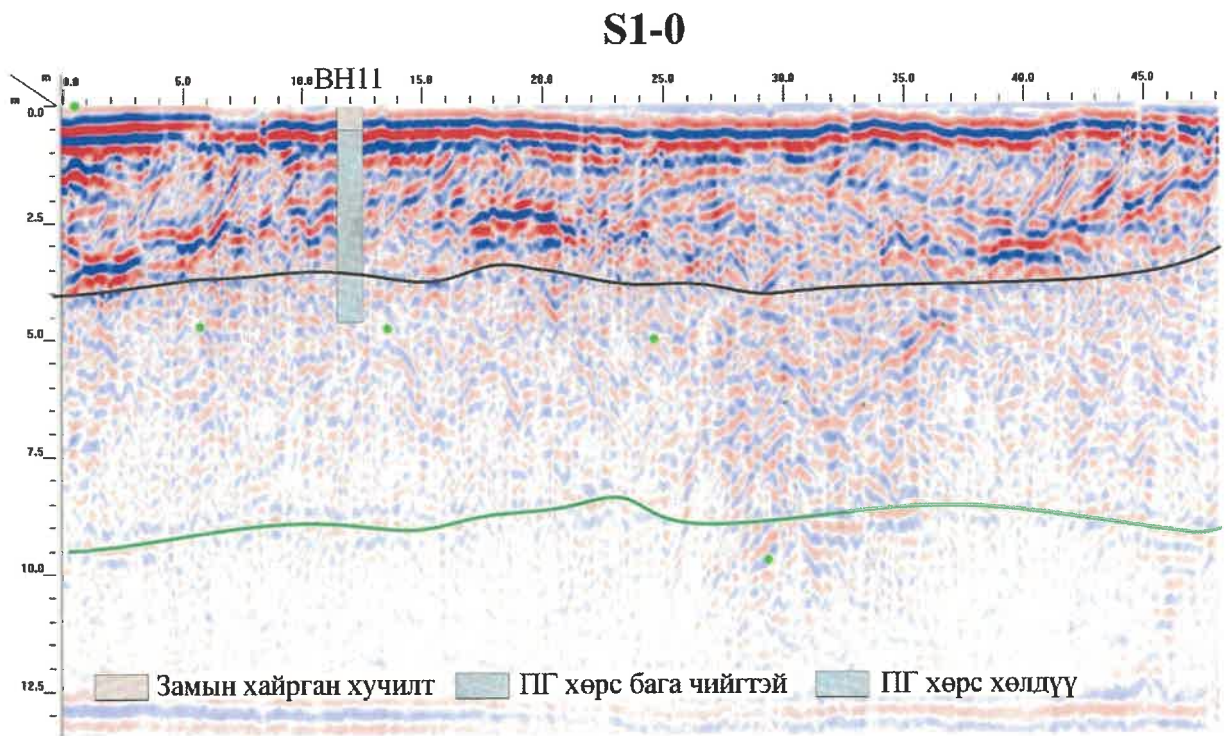
зүсэлтүүд дээр хэдэн цэг давхацсан байгааг (Зураг 10, Зураг 16, Зураг 17, Зураг 18, Зураг 19, Зураг 20) дээр тайлалтай нь хамт харууллаа. Дагуу зүсэлтийн нэгдүгээр зүсэлт болох S1-ийн үр дүнгийн зураглал дээр ВН11 буюу 11 дүгээр цооног давхцаж байгаа ба цэвдгийн гүн хөлдөлттэй хэсгийн гүний хил нь 3,6м байна. Харин (Зураг 16) дээр дагуу зүсэлтийн эхний 1 км-ийн 637м дээр өрмийн ВН13 цооног давхацсан байгаа ба цэвдгийн гүн хөлдөлттэй хэсгийн хил 2.5м-т байна. Энэ зүсэлтийн 647м-651м-ийн хооронд ус зайлуулах хоолой байрлаж байгааг (Зураг 16) дээрээс харж болно. Дагуу зүсэлтийн дараагийн цооног бол 2 дахь км-ийн 109м дээр давхцаж байгаа ВН14 буюу 14 дүгээр цооног юм (Зураг 17). Энэ цооног дээр ул чулуу хүртэл өрөмдлөг хийгдсэн байгаа бөгөөд цэвдгийн хөлдөлттэй хэсгийн хил 2.6м-ийн гүнд байгаа нь харагдаж байна. Тэгвэл дараачийн цооног болох ВН15 нь дагуу зүсэлтийн хоёр дахь км-ийн 663м дээр давхцаж байгаа ба цэвдгийн хөлдүү хэсгийн хил нь 2.9м гүнд байна гэж гарсан байна (Зураг 18). Дагуу зүсэлтийн гурав дахь км-ийн 137м дээр ВН14 буюу 14 дүгээр цооног давхцаж байгаа бөгөөд энэ цооног нь мөн адил ул чулуулаг хүртлээ саадгүй явсан байна. Энэ цооногийн цэвдгийн хөлдүү хэсгийн хил нь 2.6м гүнд байгаа болох нь (Зураг 19) дээр харагдаж байна. Мөн дагуу зүсэлтийн гурав дахь км-ийн 687м дээр дараачийн ВН17 цооног давхацсан байх ба цэвдгийн хөлдүү хэсгийн гүн 2.6м гүнд байна гэж бүртгэгдсэн байна (Зураг 20).

Дагуу зүсэлтийн нэг дэхь км-ийн зүсэлтийн 170м дээр 11 дүгээр хөндлөн огтлол огтлолцсон (Зураг 15) байх ба хоёр дахь км-ийн зүсэлтийн 77м дээр хөндлөн огтлол 12 огтлолцсон байна (Зураг 17).

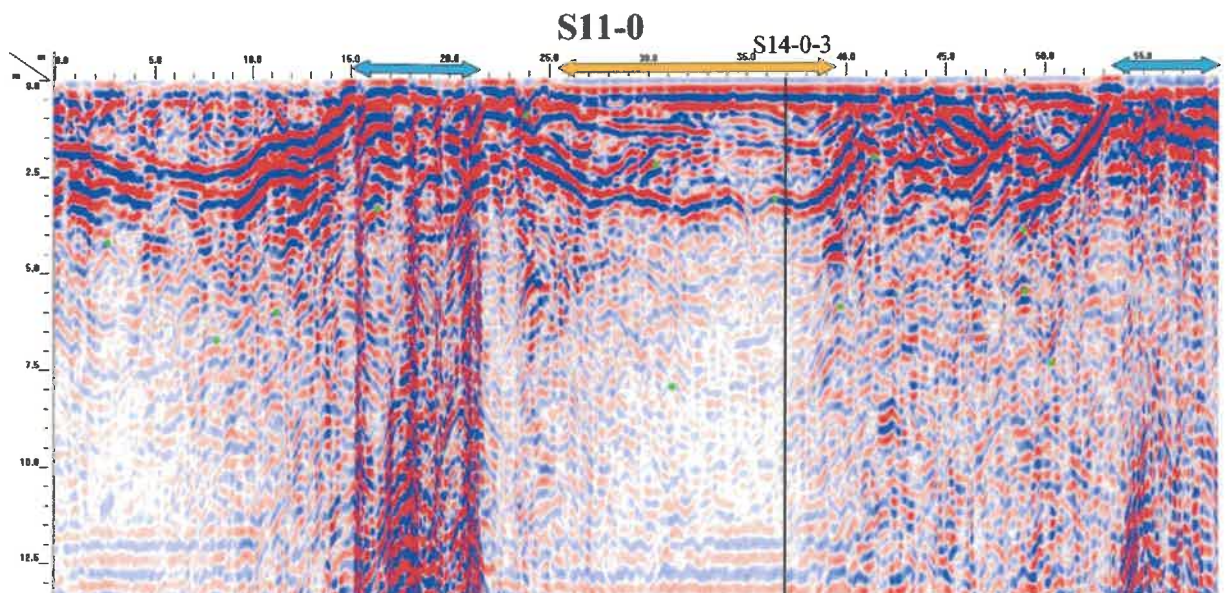
Дагуу зүсэлт нь авто зам дагуу хийгдсэн учир ус зайлуулах бетон хоолой болон гүүрэн байгууламжуудыг хөндлөн огтолж гарсан бөгөөд тэдгээрийн зарим жишээнээс (Зураг 14, Зураг 16, Зураг 21) дээр ногоон өнгийн сумаар зааж үзүүлсэн болно.

Ул чулуулгийн хил заагийг тайлал хийсэн зурагнууд дээр зураглаж харуулахыг зорьсон бөгөөд энэ ногоон шугам нь үндсэн ул чулуулгийн түвшин бөгөөд зарим өрөмдлөгийн цооногт тэмдэглэгдсэн ул чулуулаг нь байгалийн хүчин зүйлийн нөлөөнд буюу хувиралд орж эвдэгдсэн, ул чулуулгийн дээд хэсэг байх магадлалтай юм. Энэхүү үр дүнгээс харвал үндсэн ул чулуулгийн гүн 3м ээс 10м -ийн хооронд хэлбэлзэж байна.



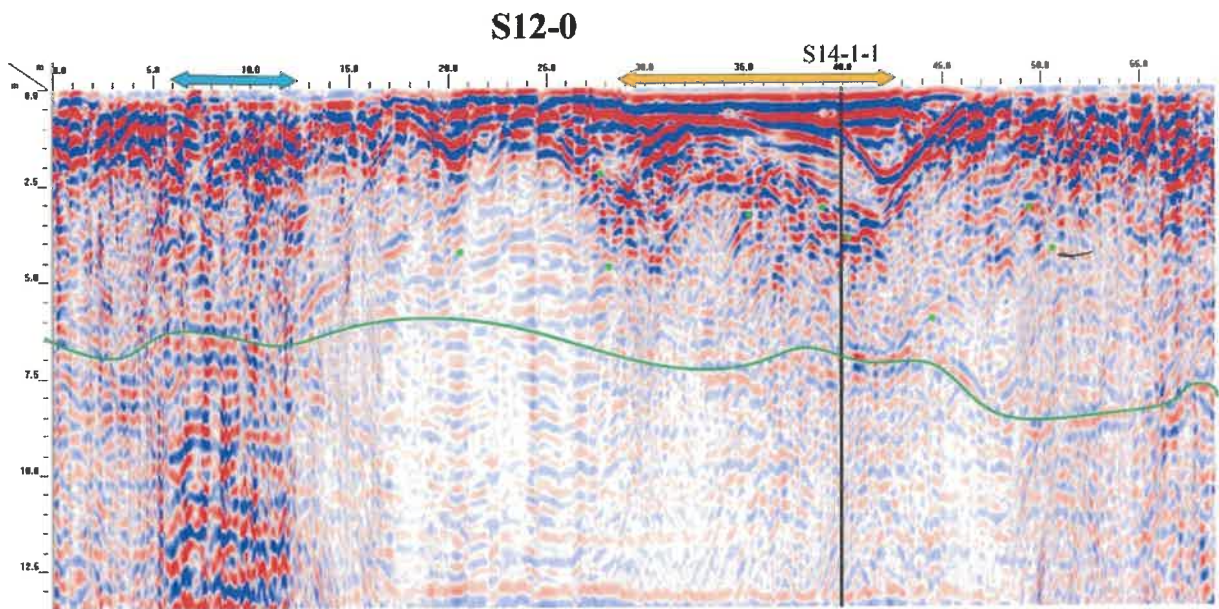


Зураг 10. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-1 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхиулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, ногоон цэгүүд нь бул чулуу болон томхон биетийн байрлэлыг зааж байгаа болно.

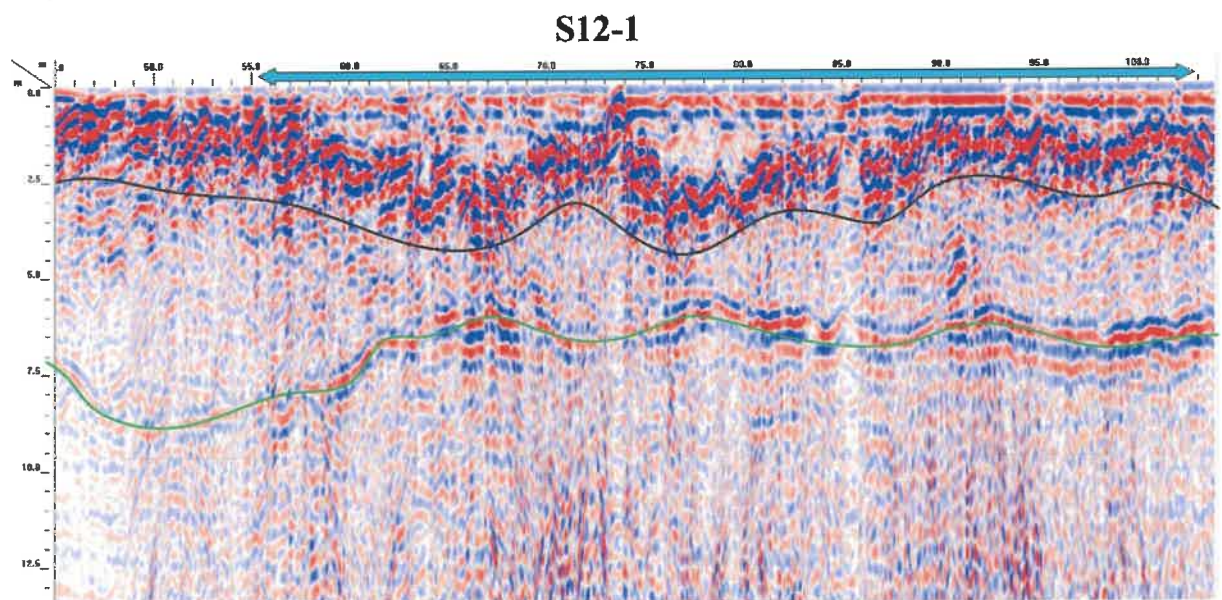


Зураг 11. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-11 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхиулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.





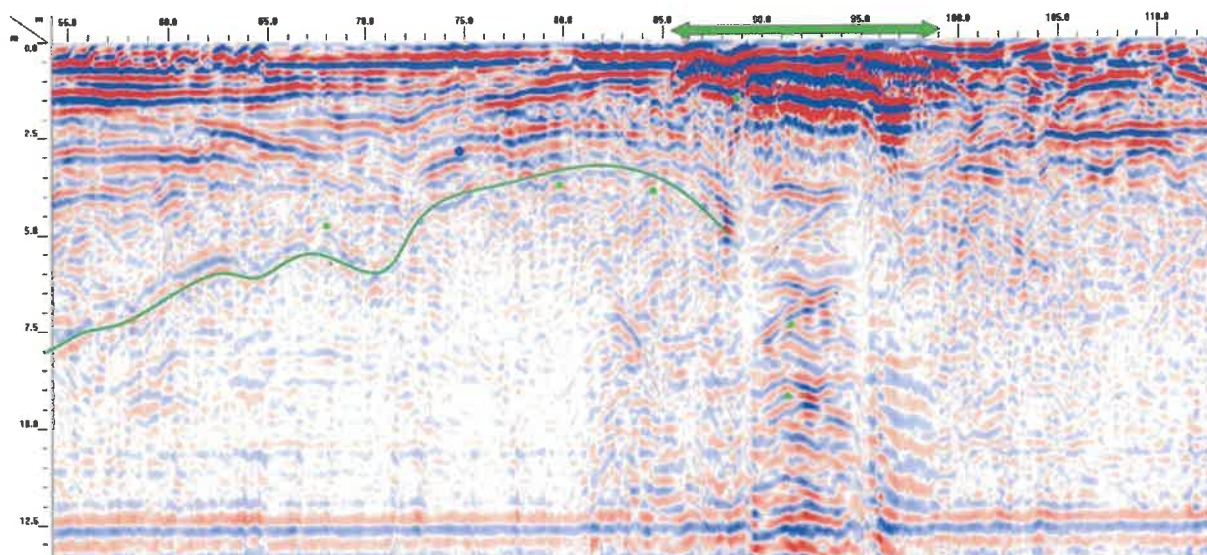
Зураг 12. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-12 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.



Зураг 13. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-12 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.

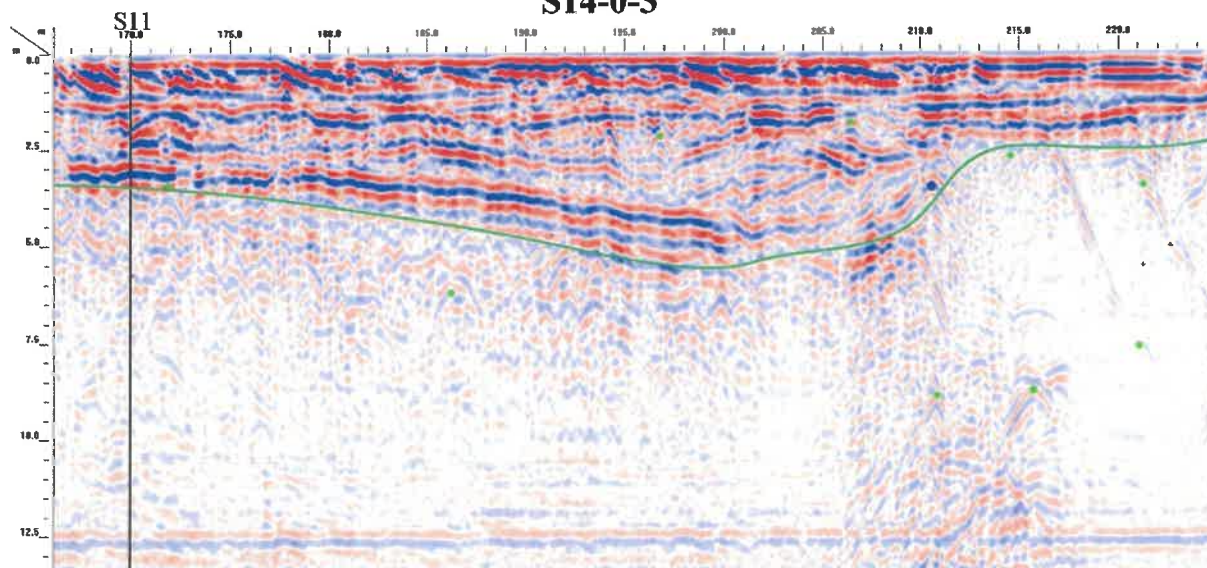


### S14-0-1



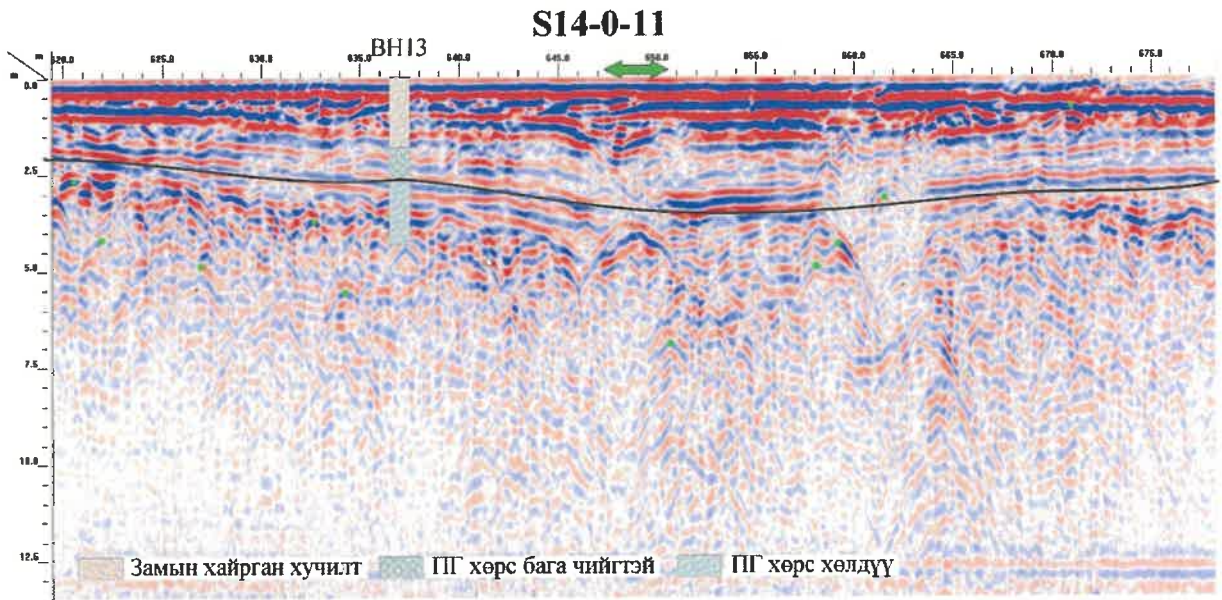
Зураг 14. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг тус бүр зааж байгаа болно.

### S14-0-3

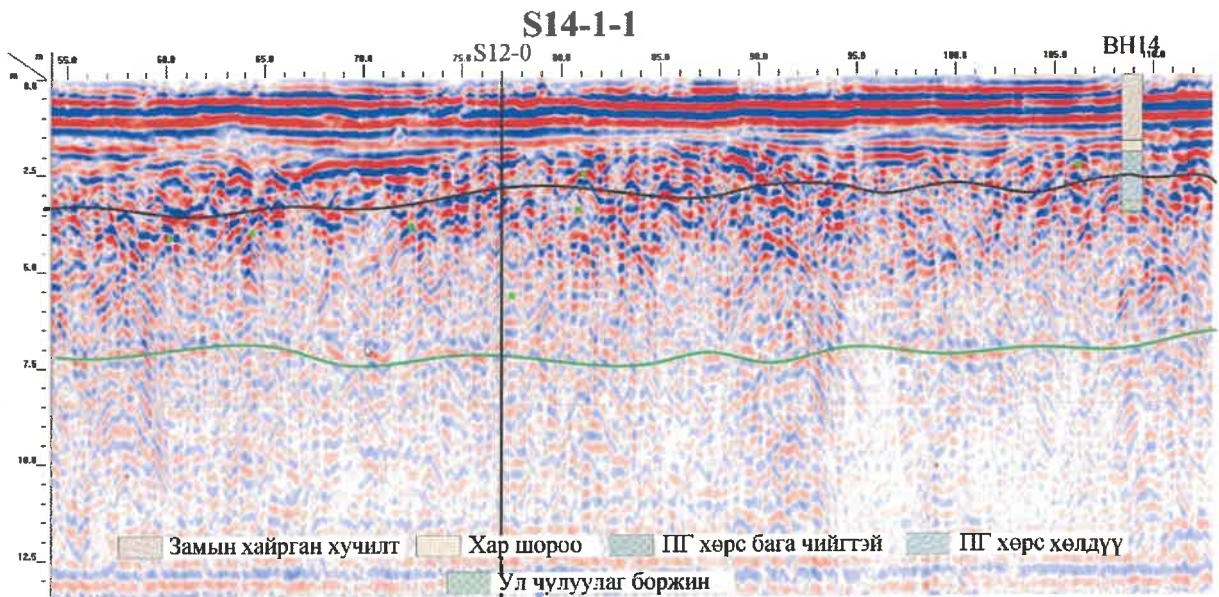


Зураг 15. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг тус бүр зааж байгаа болно.



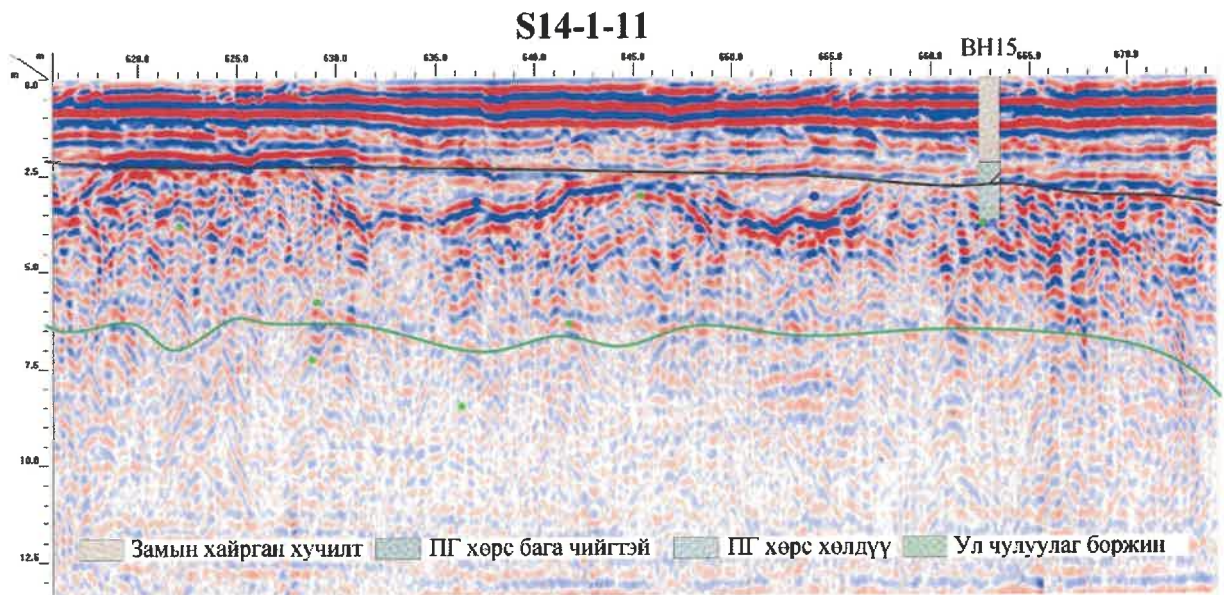


Зураг 16. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн эхний нэг км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхцуулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг тус бүр зааж байгаа болно.

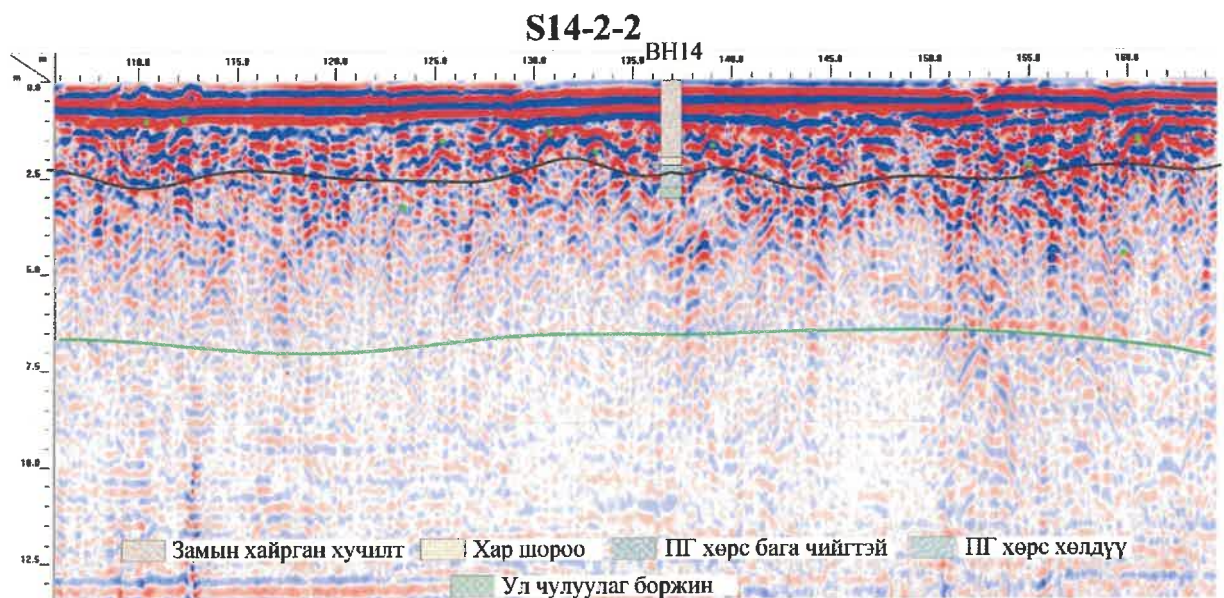


Зураг 17. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн хоёр дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг тус бүр зааж байгаа болно.



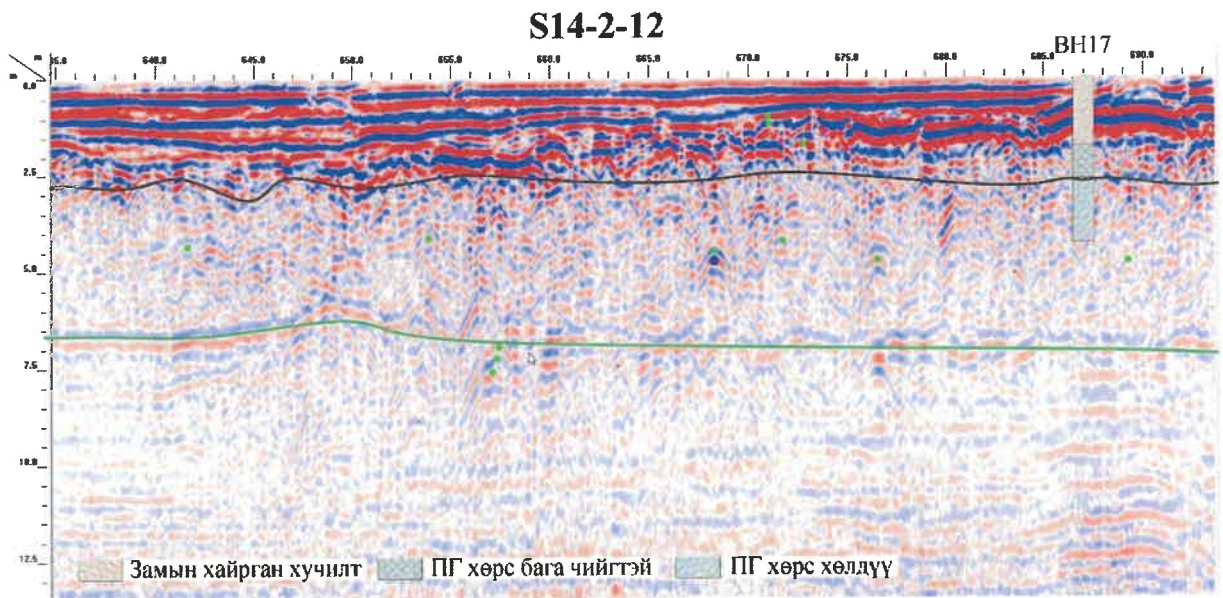


Зураг 18. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн хоёр дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхиулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно.

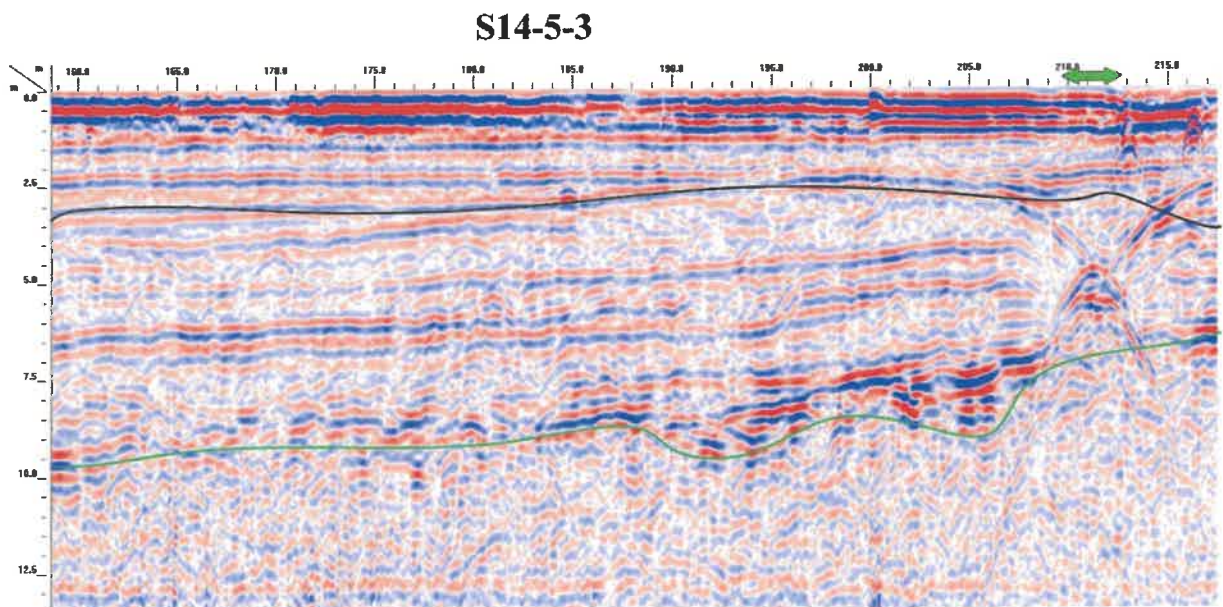


Зураг 19. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн гурав дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхиулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно.



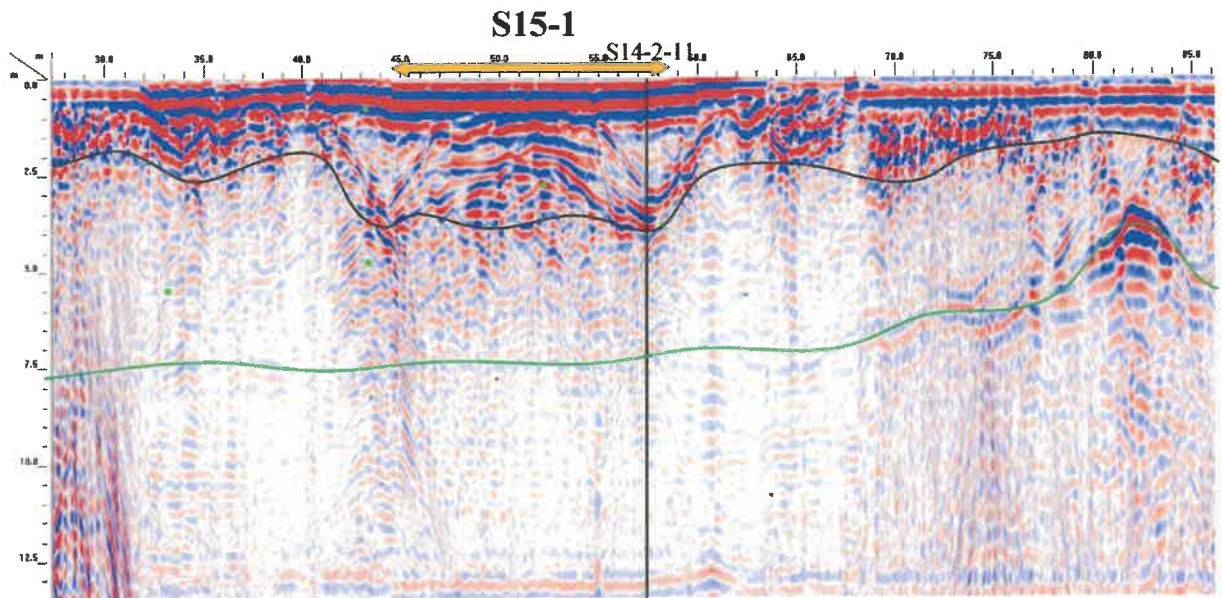


Зураг 20. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн дөрөв дэхь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал болон өрмийн мэдээлэлтэй дамхиулан тайлал хийсэн байдал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил заагыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг зааж байгаа болно.

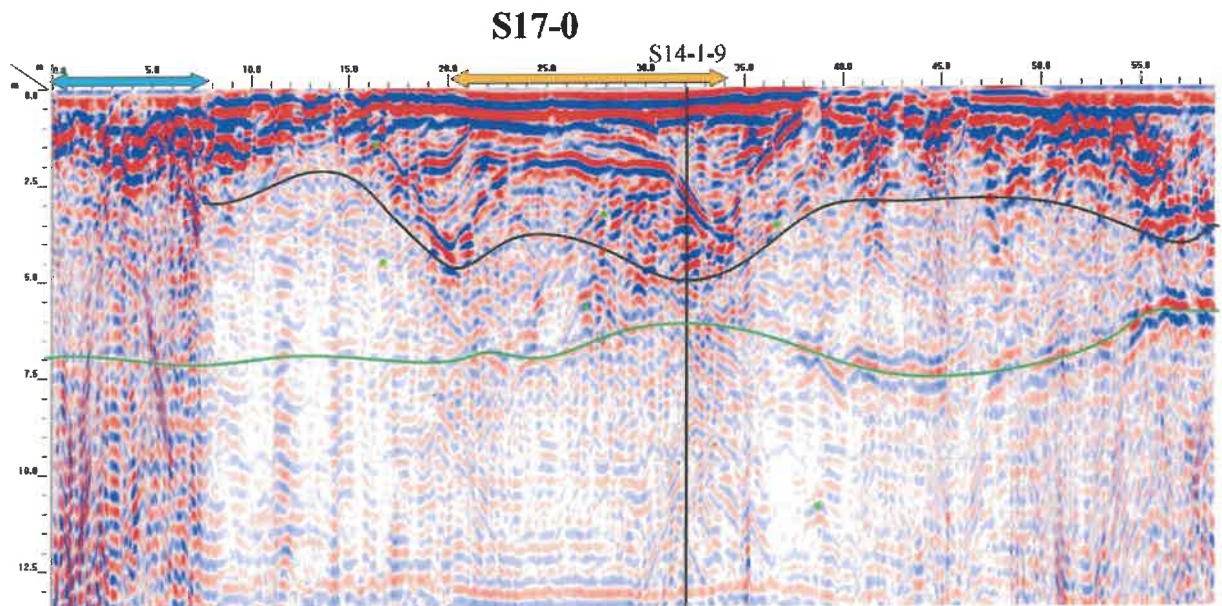


Зураг 21. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн дагуу зүсэлт-14 ийн тав дахь км-ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Ногоон сум нь замын далан дотор хийгдсэн ус зайлуулах хоолой болон гүүрний байрлалыг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг тус бүр зааж байгаа болно.





Зураг 22. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-15 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.



Зураг 23. Судалгааны талбай дээр гүйцэтгэсэн хөндлөн зүсэлт-17 ийн 200МГц антений үр дүнгийн зураглал. Хар муруй нь гүний цэвдгийн тархалтын хил зааг, харин босоо хар шугам нь замын дагуу зүсэлттэй огтлолцож байгаа хэсгийг, ногоон муруй нь үндсэн ул чулуулгийн хилийг, , хөх сум нь хөрсний устай хэсгийг, улбар шар сум нь замын гадаргууг тус бүр зааж байгаа болно.

## ДУГНЭЛТ

Архангай Завханы хил дээр байрлах Солонготын давааны замын цэвдгийн хил заагын Георадарын зураглалын ажлыг 2023 оны 10 сарын эхээр георадарын 200МГц антенаар амжилттай хийж гүйцэтгэлээ. Энэхүү хэмжилт судалгааны ажлыг өрөмдлөгийн цооногийн хэмжилттэй давхцуулан баталгаажуулсан бөгөөд авто замын дагуу болон хөдлөн зүсэлтүүдээр цэвдгийн тархалтыг тодорхойлсон болно. Дээрхи судалгааны үр дүнгээс дүгнэхэд:

200МГц антений үр дүнгийн зураглал дээр харагдаж буй болон өрөмдлөгийн үр дүнгүүдээс харьцуулан харвал цэвдгийн хөлдөлд ихтэй хэсгийн гүн нь 2м ээс 4.5м-ийн гүнд байна гэж тодорхойллоо.

Дагуу хэмжилтийн үр дүнгийн зураглалаас харвал уг авто замын зарим хэсэгт нь далангийн бүтэц нь олон давхар үе давхаргаас тогтох ба харин зарим хэсэгт шууд ул чулуу болон хөрсөн дээр хийгдсэн болох нь тодорхой зураглагдсан байна. Нийт үр дүнгийн зураглалаас үндсэн ул чулуулгийн гүн 3м ээс 10м -ийн хооронд байна.

Мөн ихэнх хөндлөн зүсэлт дээр авто замын далангийн хоёр шанаа талаас цэвдэг гэссэн байх магадлалтай зураглал гарсан байгаа болно.

Авто замын хөндлөн огтолсон зүсэлтүүд дээр хөлдөлттэй хэсгийн гүн нь 2м-ээс 3.5м хооронд гүнтэй байна гэж тодорхойлсон болно.

Энэхүү георадарын хэмжилт зураглалын ажлийн үр дүнгээс харвал авто замын далан доор далдлагдсан бүтцүүдийг сайн зураглаж байгаа бөгөөд ул чулуулаг болон авто замын далангийн үе давхаргуудыг нарийн тодорхойлох, зураглах боломжтой гэдэг нь тодорхой харагдаж байна.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Annan, A. P. (2009). Electromagnetic Principles of Ground Penetrating Radar. H. M. Jol-Д, *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications* (хуудсд. 3-40). Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science.
- Audru, J. C., Bano, M., Begg, J., Berryman, K., Henrys, S., & Niviere, B. (2001). GPR investigations on active faults in urban areas: the Georisc-NZ project in Wellington, New Zealand. *Earth and Planetary Science*, 333(8): 447-454.
- Cai, J., McMechan, G., & Fisher, M. (1996). Application of ground-penetrating radar to investigation of near-surface fault properties in the San Francisco Bay region. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(5): 1459-1470.
- Demanet, D., Renardy, F., Vanneste, K., Jongmans, D., Camelbeeck, T., & Meghraoui, M. (2001). The use of geophysical prospecting for imaging active faults in the Roer Graben, Belgium. *Geophysics*, 66(1): 78-89.
- Gross, R., Green, A. G., Holliger, K., Horstmeyer, H., & Baldwin, J. (2002). Shallow geometry and displacements on the San Andreas Fault near Point Arena based on trenching and 3D georadar surveying. *Geophysical Research Letters*, 29(20): 1973-1977.
- Lehmann, F., Klostermann, J., & Pelzing, R. (2001). Paleoseismological investigations at the Rurand Fault, Lower Rhine Embayment. *Netherlands Journal of Geosciences*, 80(3/4): 139-154.
- Nyambayar, T.-A. (2021). *Characterization of active faults by 2D and 3D ground penetrating radar imaging technique and interpretation of the results*. Strasbourg, France: Université de Strasbourg; Université mongole des sciences et technologies.
- Smith, D., & Jol, H. (1995). Ground penetrating radar : antenna frequencies and maximum probable depths of penetration in Quaternary sediments. *Journal of Applied Geophysics*, 33(1): 93-100.
- Vanneste, K., Verbeeck, K., & Petermans, T. (2008). Pseudo-3D imaging of a low-slip-rate, active normal fault using shallow geophysical methods : The Geleen fault in the Belgian Maas River valley. *Geophysics*, 73(1): B1-B9.



**Авто замын далан доорх гогцоо термосифон  
суурилуулах дараалал**

Улаанбаатар 2024



Тухайн авто зам төлөвлөж байгаа газрын цаг уурын нөхцөл, замын материалын дулааны үзүүлэлтүүд (нягт, дулаан дамжуулалт, дулааны эсэргүүцэл) мэдэгдэж байгаа тохиолдолд дулааны тооцооллыг хийнэ (Хавсралтууд үзнэ үү). Дээрх тооцоололд үндэслэн термосифоны бүтээцийг бэлдэж угсарна. Үүнд, конденсаторын диаметр, урт, түүний дэлбээ, адидат хэсгийн урт, мөн ууршуулагч хоолойн диаметр, урт, хоорондын зай зэргийг тооцоно.

Гогцоо термосифоныг дараах дарааллын дагуу суурилуулна. Үүнд:

1. 20 x 2.65мм – ын ууршуулагч хоолой суурилуулах түвшин хүртэл ухаж газрыг тэгшилж нягтруулна.
2. Тухайн гадарга дээр 100мм зузаантай элс дэвсэж нягтруулна. Ууршуулагч хоолойг цоорч гэмтэхээс хамгаалах зорилготой тул энэ дэвсэж буй элсэнд ирмэгтэй хайрга оруулахгүй байх шаардлагатай. Ууршуулагч хоолой орчимд нэлээдгүй хүйтэн ялгарч хөлдөх процесс явагдах тул овойлт суулт үзүүлэхгүй байх үүднээс энэ элс нь тоос, шаврын агууламж байхгүй байх шаардлагатай. Мөн элс дэвсэх ажлын явцад цаг агаарын нөхцлийг тооцож үзэх хэрэгтэй. Хэрэв бороотой өдрүүд байвал өнгөрөөж дараа нь ажилаа хийнэ. Элс дэвссэний дараа бороо орохоор бол плейнк дэвсэж хамгаалах шаардлагатай.
3. 20 x 2.65мм – ын цайрдсан ууршуулагч хоолойн угсралтын ажил. Уг хоолойг жигд зайтайгаар дэвсэж хооронд нь булан холбогчоор холбож гагнана. Хоолойн бүтүүмжлэлийг даралттай хий шахаж шалгана. Тодорхой хугацаанд хийн даралтыг хянана. Хэрэв хий алдаж байвал тухайн хий алдаж байгаа хэсгийг дахин гагнаж хий алдахааргүй болгоно. Үүний дараа гагнуур хийсэн залгаар тус бүр дээр түдүүл тавьж гагнана.
4. Ууршуулагч хоолойг зэврэлтээс хамгаалж хоёр давхар битум өнгөлгөө хийнэ.
5. 108x4.5мм, 6м урттай цайрдсан хоолойн дээд талын 4м уртад дэлбээг орооно. Дээд талыг заглушика тавьж гагнана. Цэнэглэх зориулалтын өндөр даралтын хаалтыг суурилуулна.
6. Бэлдэж бэлэн болсон конденсаторын битүүмжлэлийг даралттай хий шахаж шалгана. Тодорхой хугацаанд хүлээж даралтыг хянана.
7. Бэлэн болсон конденсаторыг ууршуулагч хоолойтой холбож гагнана. Конденсаторын дотор талын 20мм-ын 4м хоолойг угсарна. Мөн конденсаторын доод ёроолыг заглушика тавьж бөглөнө. Термосифон хоолойн ёроол, ууршуулагч хоолойтой холбогдож байгаа хэсгүүдийг, мөн адидат хэсгийг битүүмдэнэ.

## АВТО ЗАМЫН ДАЛАНГИЙН ДООРХ ЦЭВДГИЙГ ТЕРМОСИФОН ХООЛОЙГООР ХӨРГӨЖ БУЙ АНХНЫ ҮР ДҮНГЭЭС

Ямхин Жамбалжав<sup>1</sup>, Гансүх Цогт-Эрдэнэ<sup>1</sup>, Ганболд Уламбаяр<sup>1</sup>,  
Бадарч Баян-Амгалан<sup>2</sup>, Чойндонгаваа Энхжаргал<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, ШУА, Газарзүй-геоэкологийн хүрээлэн, Цэвдэг судлалын салбар

<sup>2</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Баруун бүсийн босоо тэнхлэгийн авто замыг хөгжүүлэх хөрөнгө оруулалтын төсөл

<sup>3</sup>Монгол улс, Улаанбаатар, Ай Си Ти Сайн Консалтинг ХХК

jambaljavya@mas.ac.mn

### Хураангуй

*Бураатын давааны K78+980:K79+240, K80+460:K80+640, K99+580:K99+600, K99+820:K99+834 зурвас хэсгүүдэд авто замын далангийн доорх болон далангийн хоёр хэсгүүдийн цэвдгийн гэсэлтийг зогсоох зорилгоор термосифон хоолойтой болон чулуун дүүргэлттэй далангийн хийцийн зураг төслийг хийж барьж дуусах шатандаа явж байна. Энэхүү өгүүлэлд термосифон хоолойн хөлдөөлтийн радиусын тооцоолсон болон хэмжэсэн үр дүнг харьцуулан үзүүлэв. Тооцооллод хөрс чулуулгийн ус, чийгний хэмжээг зөв оруулж өгснөөр хэмжэсэн үр дүнтэй ойролцоо утга үзүүлж байв. Монгол орон нь термосифон хоолойгоор авто замын доорх цэвдгийг сайн хөргөх уур амьсгалын болон хүйтний нооцтэй болно. Хэмжилтийн хугацаанд термосифон хоолой нь түүний ёроолын хөрсийг байгалийн хэвийн нөхцөлөөс даруй 4-5 дахин илүү хөргөж байна.*

Түлхүүр Далан, термосифон, цэвдэг,

### I. УДИРТГАЛ

Тэг буюу түүнээс доош хэмд дараалсан хоёр буюу түүнээс дээш жил орших хөрс, чулуулгийг цэвдэг гэнэ [1]. Цэвдэг нь дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагасын нийт хуурай газрын 24%-ийг эзэлдэг бөгөөд 48 улс орны газар нутагт ямар нэг хэмжээгээр тархсан байдаг [1,2]. Нийт цэвдэгт бүс нутгийн 95 орчим хувь нь 5 улсын газар нутагт ноогддог [3]. ОХУ, Канад, Хятад, АНУ -ын дараа Монгол орон цэвдгийн тархалтаараа тавдугаарт ордог ба нийт газар нутгийн 29.3%-ийг цэвдэг эзэлдэг [4].

Сүүлийн жилүүдэд эрдэмтэд загварчлалын аргаар уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр бүс нутгийн болон тив дэлхийн хэмжээнд цэвдгийн алдралын ирээдүйн өөрчлөлт, таамаглалыг тооцоолсон байдаг. Дэлхийн бөмбөрцгийн хойд хагаст жилийн дундаж агаарын температур 2100 он гэхэд 2.6°C - 4.8°C-ээр өсөх хандлагатай гэж тодорхойлсон [5] бөгөөд АНУ-ын Аляска, Канад, БНХАУ-ын Төвөдийн Тэгш Өндөрлөгийн хэмжээнд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 50%-аас дээш хувь нь [6], ОХУ-ын Дорнод Сибирийн цэвдгийн өмнөд хил /Монгол/ 25 хүртэлх хувь нь алдралд орно гэж тус тус тооцоолсон [7]. Уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний хүчин зүйлийн нөлөөгөөр мөсжилт ихтэй, дулаан цэвдэг (-2°C-ээс их температуртай)-тэй бүсэд цэвдгийн алдрал эрчимтэй явагдаж, тухайн газарт баригдсан хатуу хучилттай зам, замын байгууламжид суулт, деформаци ихээр үүсэж байгааг маш олон судалгааны ажлаар нотлогдсон [8,9,10]. Иймд тухайн цэвдэгтэй бүс нутагт уур амьсгалын өөрчлөлт, дулааны нөлөөнд дасан зохицсон хийц, технологиор инженерийн шугаман

байгууламж болох авто зам, төмөр зам, замын байгууламжийг барих нь цэвдэгтэй улс орнуудын инженер, техникийн ажилчид болон эрдэмтэн судлаачдын анхаарах гол асуудлын нэг болоод байна.

Монгол улсын засгийн газрын 2016-2020 оны үйл ажиллагааны хөтөлбөрт бүх аймгийн төвүүдийг хатуу хучилттай авто замаар холбохоор төлөвлөсөн бөгөөд 2021 онд бүх аймгийн төвүүд холбогдсон. Эдгээр замын зарим хэсэг нь Хангайн нурууны ар, Алтайн нурууны өндөрлөг хэсэгт (2000м ДТД), Хөвсгөлийн Мөрөн-Хатгалын хооронд цэвдэгт бүс нутгийг дайран өнгөрч байна. Цэвдэг хөрсөн дээр тавьсан авто замын зарим хэсэгт хотойлт, суулт үзүүлж түүн дээр зорчигчдын ая тухтай зорчих нөхцлийг хангаж чадахааргүй болж байна.

Монгол Улс нь нийт 112,414.2 км авто замын сүлжээтэйгээс 14918.7 км нь олон улс, улсын чанартай авто замын сүлжээнд хамаардаг бөгөөд үүний 48.5 хувь буюу нийт 7227.5 км нь хатуу хучилттай [11]. Үүнээс 1424 км нь цэвдэгт бүс нутгийг дайран өнгөрч байгаа боловч зам барилгын ажлын зураг төсөл боловсруулах болон зам угсралтын ажлын явцад цэвдгийн нөхцлийг огт тооцоогүй байна [8] (1-р зураг).

Цэвдгийн онцлог, цэвдэг хөрсөн дээр барих замын далангийн хийц технологийн асуудлуудыг огт тооцоогүй барьсан замууд нь 1-5 жилийн дараа хэв гажилтад орж хотойж суулт өгч хэвийн зорчих нөхцлийг алдагдуулдаг. Замын гадаргад 20-40 см хүртэл хотойлт суултууд өгсөн байдаг бол зарим хэсэгт дагуу хагарлууд үүссэн байна. Эдгээр суултууд нь цэвдэгт агуулагдаж байгаа мөсний хэмжээнээс хамаарч харилцан адилгүй. Уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор Монгол

Термосифон хоолойн хөлдөөлтийн радиус, чадал зэргийг тодорхойлоход доорх дифференциал тэгшитгэлийн тухайн захын болон анхны нөхцлийг өгч шийдсэн байдаг [15].

$$\frac{d^2t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0 \quad (1)$$

$t$  – температур

$r$  – радиус

Дээрх тэгшитгэлээс интеграл авч захын нөхцөл өгснөөр дараах тэгшитгэлийг гаргаж авна.

$$t = t_s$$

$$r = r_0$$

$$t = 0, \quad r = R,$$

$$t = t_0, \quad r = R_A$$

$$t_1 = \frac{t_s}{\ln \frac{R}{r_0}} \ln \frac{R}{r_1}; \quad r_0 < r_1 < R \quad (2)$$

$$t_2 = \frac{t_0}{\ln \frac{R_A \ln \frac{r_2}{R}}{R \ln \frac{r_2}{R}}}; \quad R < r_2 < a_r R \quad (3)$$

$t_1$  – хөлдүү цилиндрийн  $r_1$  радиус дээрх температур,

$t_2$  – гэсгэлэн бүс дэх  $r_2$  радиус дээрх температур,

$R$  – хөлдөлтийн фронтын радиус

$r_0$  – хөлдөөгч хоолойн радиус,

$R_A = a_r R$  (хөлдөлтийн нөлөөллийн радиус)

$t_s = T_s - T_0$   
( $T_s$  – хөлдөөгч хоолойн гадаргын температур,  $T_0$  – хөлдөж эхлэх температур)

$t_0 = T_g - T_0$  ( $T_g$  – хөрсний температур,  $T_0$  – хөлдөж эхлэх температур)

Тухайн хөрсийг  $R$  радиусаар хөлдөөхөд зарцуулагдах энергийн хэмжээг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$Q_I =$$

$$\pi(R^2 - r_0^2)L + \pi(R^2 - r_0^2)c_{vu}t_0 +$$

$$\frac{2\pi c_{vf}t_s}{\ln \frac{R}{r_0}} \int_{r_0}^R r_1 \ln \frac{R}{r_1} dr_1 + 2\pi c_{vu}t_0 \int_R^{R_A} \left[ 1 - \frac{\ln \frac{r_2}{R}}{\ln \frac{R_A}{R}} \right] r_2 dr_2; \quad (4)$$

Интеграл авч  $r_2$  нь  $R_2$ -той харьцуулснаар үлэмж бага учир хэрэгсэхгүй болгосноор дээрх тэгшитгэл нь дараах хэлбэртэй болно.

$$Q_I = \pi R^2 \left[ L + \frac{a_r^2 - 1}{2 \ln a_r} c_{vu}t_0 + \frac{c_{vf}t_s}{2 \ln \frac{R}{r_0}} \right]; \quad (5)$$

$L$  – хөрсний эзэлхүүн нууц дулаан

$c_{vu}$  – хөрсний гэсгэн үеийн эзэлхүүн дулаан багтаамж

$c_{vf}$  – хөрсний хөлдүү үеийн эзэлхүүн дулаан багтаамж

Тухайн хөрсийг  $R$  радиусаар хөлдөөхөд зарцуулагдах хугацааг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$t_I = \frac{R^2 L_I}{4k_f t_s} \left( 2 \ln \frac{R}{r_0} - 1 + \frac{c_{vf} t_0}{L_I} \right); \quad (6)$$

$$L_I = L + \frac{a_r^2 - 1}{2 \ln a_r} c_{vu} t_0; \quad (7)$$

$k_f$  – хөлдүү хөрсний дулаан дамжуулалтын коэффициент,

#### V. ТООЦООЛЫН БОЛОН ХЭМЖИЛГ СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮНГЭЭС

##### A. Тооцоолын үр дүнгээс

Ховд-Өлгий чиглэлийн авто замын К80+460:К80+640, К99+580:К99+600, К99+820:К99+834 зурвас хэсэгт налуу хэлбэрийн термосифон суурилуулсан бол К78+980:К79+240 хэсэгт гогцоо хэлбэрийн термосифон суурилуулсан. К80+460:К80+640 зурвас хэсэгт 9м урттай, 50мм диаметртай ууршуулагч хоолойтой бол 4м урттай, 100мм диаметртай конденсатор хоолойтой нийт 121 ширхэг налуу термосифоныг замын хоёр хажуугаар 3м зайтайгаар суурилуулсан бол К99+580:К99+600, К99+820:К99+834 зурвас хэсэгт 7.5м урттай, 50мм диаметртай ууршуулагч хоолойтой бол 3м урттай, 100мм диаметртай конденсатор хоолойтой нийт 24 ширхэг налуу термосифоныг замын хоёр хажуугаар 3м зайтайгаар суурилуулсан. Харин К78+980:К79+240 зурвас хэсэгт 50м урттай, 20мм диаметртай ууршуулагч хоолойтой бол 3м урттай, 219мм диаметртай конденсатор хоолойтой нийт 120 ширхэг гогцоо термосифоныг замын хоёр хажуугаар суурилуулсан. Энд ууршуулагч хоолойн хоорондын зай 0.5м болно.

Тухайн хэсгийн хөрс чулуулгийн онцлог, цэвдгийн нөхцөл, уур амьсгалын онцлогийг харгалзан үзэж тооцоолол хийж үзэхэд К80+460:К80+640 хэсэгт ууршуулагч хоолойн дээрх температурыг -10°C-тэй барихад 5 өдөрт 0.6м радиусаар, 16 өдөрт 1м радиусаар, 40 өдөрт 1.5м

далангийн доорх болон далангийн хоёр хажуугийн цэвдгийн гэсэлтийг зогсоох зорилгоор термосифон хоолойтой болон чулуун дүүргэлтэй далангийн хийцийн зураг төслийг хийж, барьж дуусах шатандаа явж байна.

Байгалийн нөхцөлд Бураатын даваа орчим 3 м гүний температур  $-2.2^{\circ}\text{C} \div +0.5^{\circ}\text{C}$  хооронд хэлбэлзэнэ.

Хэмжилтийн хугацаанд термосифон хоолойн ёроолын температур нь хамгийн багадаа  $-14^{\circ}\text{C} \div -18^{\circ}\text{C}$  хүртэл буурсан бол тогтвортойгоор  $-8^{\circ}\text{C} \div -10^{\circ}\text{C}$  хооронд оршино.

Харин термосифоноос 1.5 м зайнд орших хяналтын хоолойд хөрсний температур нь  $-2.3^{\circ}\text{C} \div -8^{\circ}\text{C}$  хооронд ялгаатай байгаа нь тухайн хэсгийн хөрс, ус, чийгний онцлогтой холбоотой байна.

#### ТАЛАРХАЛ

Геокрио ХХК-ийн инженер техникийн ажилчид болон уг замын барилга угсралтын ажлыг гүйцэтгэж байгаа Чайна Хуаши ХК-ний хамт олон, багийн ахлагч Дэнзэн (Deng zheng), орчуулагч Б.Содбилэг, хяналтын Ай Си Ти Сайн Консалтинг ХХК-ний хамт олонд хамтран ажиллаж тус ажлыг амжилттай гүйцэтгэсэнд талархал илэрхийлье. Мөн Эрдэнэбүрэн сумын иргэн Отгонбаяр, Эрдэнэдалай нарт тусалж хамтарч ажилласанд талархал илэрхийлье.

#### НОМ ЗҮЙ

- [1] Hugh M. French, 2007. "The Periglacial Environment", Third Edition, The University of Ottawa, John Wiley & Sons, Ltd. 1-401 pp.
- [2] Gruber S. Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation. *The Cryosphere* 2012; 6:221–233. <https://doi.org/10.5194/tc-6-221-2012>
- [3] Zhang T, Barry RG, Knowles K, Heginbottom JA, Brown J. Statistics and characteristics of permafrost and ground-ice distribution in the Northern Hemisphere. *Polar Geography* 2008; 31:47–68. <https://doi.org/10.1080/10889370802175895>
- [4] Жамбалжав Я, ба бусад, "Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000".
- [5] IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. *World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.*
- [6] Romanovsky, V. E., Smith, S. L., Shiklomanov, N. I., Streletskiy, D. A., Isaksen, K., Kholodov, A. L., Christiansen, H. H., Drozdov, D. S., Malkova, G. V., & Marchenko, S. S. (2017). Terrestrial permafrost. In J. Blunden & D. Arndt (Eds.), *State of the Climate in 2016* (pp ES1–ES32). Boston, MA. Bulletin of the American Meteorological Society
- [7] Жамбалжав Я. "Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт". УБ. Колорфул ХХК, 2017 он. 1-80 х.
- [8] Я.Жамбалжав, А.Саруулзаяа, Г.Цогт-Эрдэнэ, Я.Гансүх, Ё.Амарбаясгалан, "Зарим авто замын дагуух цэвдгийн судалгаа" Сэдэвт ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан, 2017-2019, Улаанбаатар, 2019
- [9] Shane M. Ferrell, 2010. "Rail Embankment Stabilization on Permafrost - Global Experiences", Report of Civil/Railroad Designer Hanson Professional Services. 1-25 pp
- [10] Bo Zheng, Jianming Zhang, Yinghong Qin, 2010. "Investigation for the deformation of embankment underlain by warm and ice-rich permafrost". *Cold Regions Science and Technology* 60(2010) 161-168 pp
- [11] <https://www.montsame.mn/mn/read/245625>
- [12] N.Sharkhuu et. al., 2012, Effects of Climate Warming and Vegetation Cover on Permafrost of Mongolia, Publisher: Springer Netherlands, Editors: M. J. A. Werger, M. A. van Staaldunin, In book: [Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World \(pp.445-472\)](#)
- [13] Хрусталева Л.Н., Емельянова Л.В., "Инженерная геокриология". Москва, 1990 г.
- [14] Cheng, G., 2005. A roadbed cooling approach for the construction of Qinghai-Tibet Railway. *Cold regions science and technology*, 42(2), pp.169-176.
- [15] Orlando B. Andersland & Branko Ladanyi, An Introduction to frozen ground engineering, ISBN 978-1-4757-2292-5, © 1994 Springer Science+Business Media Dordrecht Originally published by Chapman & Hall, Inc. in 1994