

ХОВД- ӨЛГИЙ ЧИГЛЭЛИЙН АВТО ЗАМЫН БУРААТЫН ДАВАА ОРЧИМ ДАХЬ ЗАМЫН ДАЛАНГИЙН ЭВДРЭЛТЭЙ ХЭСЭГТ ГҮЙЦЭТГЭСЭН ЦЭВДЭГТ- ИНЖЕНЕР ГЕОЛОГИЙН СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Г.Цогт-Эрдэнэ¹, Я.Жамбалжав¹ Г.Уламбаяр¹

¹ ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Цэвдэг судлалын салбар
Э-шуудан: g.tsogterdene@gmail.com

ABSTRACT:

Under the influence of climate change, the permafrost degeneration on the northern hemisphere has been accelerated, causing deformation on engineering constrictions as paved roads from thaw settlement, especially in ice-rich permafrost regions. Thus, the paved road construction in permafrost regions, under such adaptation technology and designs to climate changes, is one of the most important tasks and presents an ultimate test for permafrost engineers and scientists. In the permafrost regions, there are many engineered solutions available to stabilize paved road embankment materials. These solutions have been classified using a descending order of perceived thermal effects from active cooling to passive cooling such as thermosyphons, cooling pipes, block stone embankments, shading boards, and insulation embankments. Along paved roads in warm permafrost zones, significant settlement and deformations related to creep were found at many places where the embankments are unusually thin in Mongolia. Therefore, the stabilization of the embankments must be taken into consideration based on active cooling and passive cooling methods, we tested out the thermosyphon in natural condition, Mongolia.

We are actively building the auto road connecting the aimag centers, the western vertical road. This road network crosses the permafrost in some parts. Serious deformation and settlements took place on road surface in permafrost regions. We have investigated along the roads in Buraat pass in Bayan-Ulgii province, using the drilling, electric resistivity tomography, relative settlements, and temperature measurements. The amount of relative settlement was approximately 20- 40 cm on road surface within 3 years after construction and 5-10 cm within 1-2 years after construction and the permafrost thaw was observed from top of permafrost.

Түлхүүр үгс: Цэвдэг, авто замын далан, замын далангийн суулт, цахилгаан эсэргүүцлийн томограф, термосифон

ОРШИЛ

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн 29.3 хувьд үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог хэлбэрээр цэвдэг тархжээ[1]. Улсын тогтвортой хөгжлийн үзэл баримтлал 2030, Монгол Улсын Засгийн газрын 2016-2020 оны үйл ажиллагааны хөтөлбөр, манай орны нийгэм, эдийн засгийн хөгжил зэрэгтэй холбоотойгоор аймгийн төвүүдийг хатуу хучилттай авто замаар холбох бүтээн байгуулалтын ажил эрчимтэй өрнөж бүх аймгийн төвүүд нийслэл хоттой хатуу хучилттай замаар холбогдлоо. Монгол улсын үндэсний авто замын сүлжээний урт 109361.1 км. Үүнээс улсын чанартай авто замын сүлжээний 7427.1 км буюу 48 хувь нь хатуу хучилттай авто зам юм [2]. Эдгээр барьсан болон барихаар төлөвлөж байгаа авто замын тодорхой хэсэг нь Монгол орны цэвдэгт бүс нутаг дундуур дайран өнгөрч байна.

ОХУ, Канад, АНУ, Хятад зэрэг улс орнуудын цэвдэг өргөн тархсан нутаг дэвсгэрт замын далангийн янз бүрийн хийцэд туршилт, судалгаа хийгээд зогсохгүй зарим хэсэгтээ цэвдгийн гэсэлтийг зогсоох тэдгээр хийцийн далангаар замуудаа барьсан байдаг [3]. ОХУ-ын Байгал-Амурын төмөр замыг 1950-1960 оны үед барьж байгуулахад цэвдгийн улмаас асар их хохирол амссан байдаг [4]. Уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний хүчин зүйлийн нөлөөгөөр мөсжилт ихтэй, дулаан цэвдэг (-2°C-ээс дээш температуртай)-тэй бүсэд цэвдэг эрчимтэй алдарч, тухайн газарт барьсан хатуу хучилттай зам, замын байгууламжид суулт, деформаци ихээр үүсгэж байна [5,6].

Сүүлийн үеийн судалгаагаар дэлхийн бөмбөрцөгийн хойд хагаст агаарын жилийн дундаж температур 2100 он гэхэд 2.6°C - 4.8°C-ээр дулаарна гэж таамаглал дэвшүүлсэн [7].

Монгол улсын замын бүтээн байгуулалтын ажил эрчимтэй өрнөж байгаа боловч инженерийн цэвдгийн судалгаа хангалтгүй байна. Цэвдэгт бүс нутагт барьсан авто замын хэсэгт цэвдгийн гэсэлтийн суулт, деформаци, хагарал зэрэг эвдрэл олноор ажиглагдах болсон.

Эдгээр замуудын эвдрэлийн шалтгааныг тодорхойлох зорилгоор, Боловсрол, Соёл, Шинжлэх ухаан, Спортын яамны захиалгаар

“Зарим авто замын дагуух цэвдгийн судалгаа 2017-2019” сэдэвт суурь судалгааны ажлыг хэрэгжүүлж, цэвдэгт бүс нутагт дахь замын далангийн эвдрэлийн зонхилох шалтгааныг тодорхойлж, тайлан зөвлөмжийг холбогдох байгууллагуудад хүлээлгэн өгсөн. Баруун бүсийн босоо тэнхлэгийн авто замын төслийн зүгээс дээрх судалгааны ажлын үр дүнгээс улбаалан Баян-Өлгий аймгийн Толбо сумын нутаг Бураатын даваа орчмын авто замын далангийн эвдрэлтэй хэсгүүдэд цэвдэгт- инженер геологийн нарийвчилсан судалгаа хийлгэх хүсэлт тавьсан болно. Бид энэхүү судалгааны хүрээнд Бураатын даваа орчмын замын далангийн эвдрэлтэй хэсгүүдэд цооног өрөмдөж, хөрс чулуулгийн физик механик бүрэлдэхүүн, чийгийн хэмжээг тодорхойлж, температур хэмжих зорилгоор цооног тоногловсон. Мөн замын далангийн хэсгүүдийг хөндлөн огтолж геофизикийн цахилгаан эсэргүүцлийн томографын хэмжилт хийж гүйцэтгэсэн. Судалгааны ажлын үр дүнг нэгтгэж, замын далангийн эвдрэлийн шалтгааныг тодорхойлж, цаашид авах арга хэмжээг тодорхойлсон үр дүнгээ танилцуулна.

СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

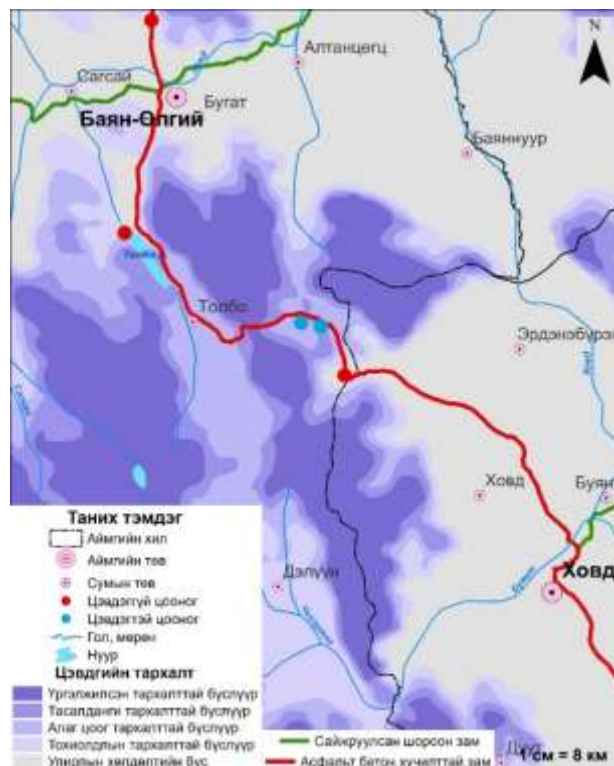
Энэхүү судалгааны талбай нь Баян-Өлгий аймгийн Толбо сумын нутагт хамаарах, далайн төвшнөөс дээш 2300 - 2650 м-т өргөгдсөн Монгол Алтай нурууны гол нурууны салбар уулс, уулс хоорондын хөндийг хамарна (Зураг 1).



Зураг 1. Бураатын даваа орчим

Монгол Алтайн уулархаг бүс нутаг нь жилийн хүйтэн үеийн үргэлжлэх хугацаа урт, агаарын температурын жилийн болон хоногийн хэлбэлзэл ихтэй, эх газрын эрс тэс уур амьсгалтай нутаг юм. Уур амьсгалын гол онцлог нь жилийн дөрвөн улирлын ялгаа ихтэй, энэ чанараараа агаарын температурын хэлбэлзэл өндөр, уур амьсгалд өргөргийн болон өндрийн бүсийн ялгаа тодорхой илэрнэ.

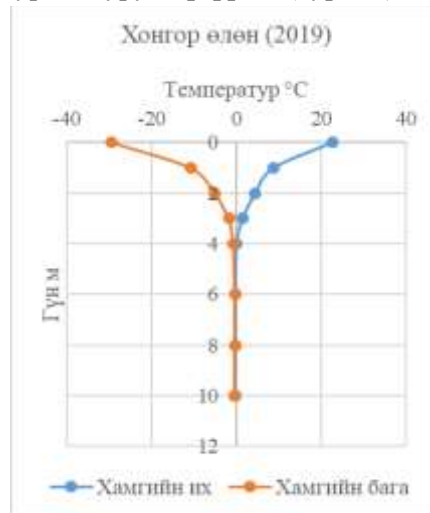
Судалгааны талбай нь Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт үзүүлснээр үргэлжилсэн, тасалданги, алаг цоог тархалттай бүслүүрт хамаарч байна (Зураг 2).



Зураг 2. Бураатын даваа орчмын цэвдгийн тархалт

Судалгааны талбайтай хамгийн ойр орших Монгол орны цэвдгийн мониторингийн цооног нь “Хонгор өлөн” болно. Энэхүү цооногийн 2009 онд өрөмдөж, түүнээс хойш тасралтгүй температурын хэмжилт хийж байна. Хонгор өлөн цооногийн 10 м-ийн гүний цэвдгийн температур -0.42°C байна. Идэвхтэй давхаргын гүн 3.9 м байна.

Хонгор өлөн цооногийн 2019 оны температурын муруйг үзүүлэв (Зураг 3).



Зураг 3. Хонгор өлөн цооногийн температурын муруй.

АРГАЗҮЙ, МАТЕРИАЛ

Ховд- Өлгий чиглэлийн хатуу хучилттай авто замын эвдрэлтэй хэсгүүдэд дараах мэдээ материалыг ашиглав. Үүнд : Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг (1: 1000 000) Монгол орны цэвдгийн мониторингийн сүлжээний цооногийн мэдээ, хээрийн өрөмдлөгийн бичиглэл, цооногуудаас авсан хөрс чулуулгийн дээжид хийсэн лабораторийн шинжилгээний мэдээ материал, тухайн хэсгүүдэд хийсэн геофизикийн хэмжилтийн мэдээ, цооногт хэмжсэн температурын мэдээ зэргийг хэрэглэлээ. Уг судалгаанд ашигласан арга, аргазүйг доор дэлгэрэнгүй бичив.

Хуурай өрөмдлөгийн арга

Цооног өрөмдөх механикжсан арга нь газрын царцдас дахь чулуулгийг цохилтот, эргэлтэт аргаар эвдэн хэмхэлж, бутлах тул цохилтот, эргэлтэт өрөмдлөгийн арга гэж ангилдаг. Эргэлтэт өрөмдлөгийн онцлог нь өрөмдлөгийн явцад цооногийн ёроолд бий болсон чулуулгийн хэмхдэсний үе давхаргыг холихгүйгээр гаргадаг. Эргэлтэт өрөмдлөгийг кернтэй, кернгүй өрөмдлөг гэж ангилна. Кернтэй өрөмдөхөд цооногийн ёроол цагариг хэлбэртэй өрөмдөж голд нь керн буюу “чөмгөн дээж” бий болно[8].

Бид энэхүү судалгаандаа дээж авах зорилгоор хуурай өрөмдлөгийн аргыг хэрэглэсэн (Зураг 4). Бураатын даваа орчмын авто замын далангийн хотойж, сууж эвдэрсэн хэсгүүдийг дайруулан геофизикийн хэмжилт хийж, хэмжилтийн үр дүнг баталгаажуулах зорилгоор 5-7 м гүнтэй 18 цооног өрөмдөж, цооногт температурын хэмжилт хийх зорилгоор тоногдсон. Эдгээр өрөмдсөн цооногуудаас лабораторийн шинжилгээнд зориулж дээж авах, цэвдгийн идэвхтэй давхаргын зузааныг тодорхойлох, цэвдэгт агуулагдаж буй мөсний агууламжийг тодорхойлох, температурын хэмжилт хийх ажлуудыг хийж гүйцэтгэсэн болно.



Зураг 4. Цооног өрөмдөж буй нь.

Температурын хэмжилтийн арга

Судалгааны талбайн сонгосон цэгүүдэд цооног өрөмдөж хэмжилт хийхээр PVC хоолойгоор тоноглоно. Өрөмдөж PVC хоолойгоор тоногдсон цооногийн температурыг АНУ-ын Onset компанид үйлдвэрлэсэн НОВО U12-008 загварын алдааны нарийвчлал (± 0.1) хувьтай температур бичигч төхөөрөмж ашиглан, цооногуудын шаталсан гүнүүдэд тодорхой хугацааны давтамжтай хэмждэг. Тэдгээр тоон мэдээг НОВОware программ хангамжийн тусламжтайгаар тооцоолуурт боловсруулж, цэвдгийн температурын төлөв байдлыг тооцоолох арга юм. НОВО U12-008 загварын температур хэмжигч нь дөрвөн мэдрэгчтэй учраас дөрвөн төвшний хэмжилтийг нэг багажаар хийх боломжтой юм. Энэхүү аргыг хэрэглэснээр цэвдгийн идэвхтэй давхаргын зузаан, цэвдгийн төлөв байдлыг тодорхойлдог.



Зураг 5. Температур хэмжигч

Цахилгаан томографийн арга

Геофизикийн цахилгаан хайгуулын арга нь хөрс чулуулгийн цахилгаан эсэргүүцлийн физик хэмжигдэхүүнийг тодорхойлж, хувийн цахилгаан эсэргүүцэл (Ом) Ω -ын утгаар хөрс чулуулгийн тархалтыг тодорхойлно.

$$Pt = K \frac{\Delta U}{J} \text{ (Томьёо 1)}$$

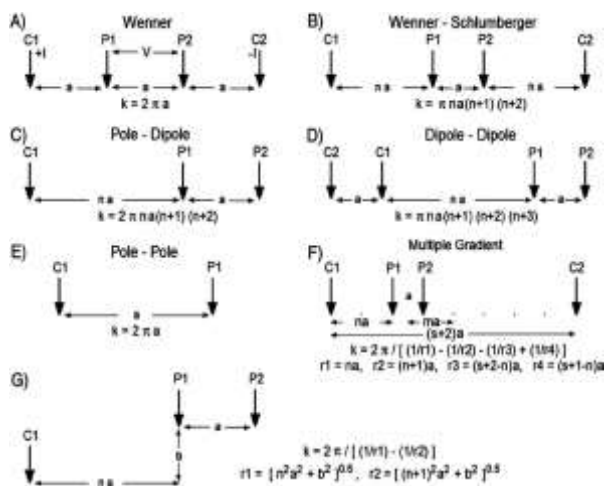
Үүнд: Pt- Цахилгаан эсэргүүцэл (Ом),
K-Геометрийн итгэлцүүр,
 ΔU -Потенциалын ялгавар (мВ),
J-Гүйдлийн хүч (мА).

Геофизикийн цахилгаан хайгуулын хэмжилтийн өгөгдлийг тусгай программ хангамжийн тусламжтайгаар боловсруулж, инверсийн зүсэлтийг зураг хэлбэрээр үр дүн болгон гаргадаг [9]. Энэхүү аргаар 5-80 м гүний өнгөн хурдсанд тархсан цэвдгийн тархалтыг нарийн тодорхойлоход ашиглана.

Цахилгаан эсэргүүцлийн аргачлал нь харьцангуй эртний геофизикийн аргачлалуудын нэг болно [10]. Цахилгаан эсэргүүцлийн хэмжилт нь газрын гадарга дээрээс газрын гүний хөрсний эсэргүүцлийн тархалтыг тодорхойлдог. Хөрс чулуулгийн цахилгаан эсэргүүцэл нь геологи орчны эрдэс чулуулаг, ус чийг, нүх сүвшилт, усаар ханасан байдал зэргээс хамаарч харилцан адилгүй байна.

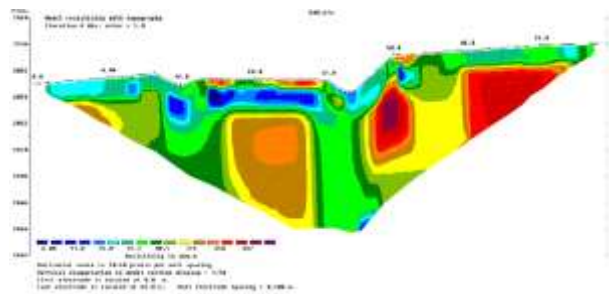
Цахилгаан эсэргүүцлийн хэмжилтийг гидрогеологи, уул уурхай, геотехник, байгаль орчин зэргийн судалгаанд өргөн хэрэглэдэг [11].

Цахилгаан томограф нь цахилгаан эсэргүүцэл болон албадмал туйлшралын аргыг хослуулан хоёр хэмжээстээр зураглах арга юм. Цахилгаан эсэргүүцлийн хэмжилтийн өгөгдлийг тусгай программ хангамжуудын тусламжтайгаар боловсруулж инверсийн зүсэлтийн зураг хэлбэрээр үр дүнг гаргадаг (Зураг 6).



Зураг 6. Геофизикийн аргууд

Уг хэмжилтийг Франц улсад үйлдвэрлэсэн “IRIS INSTRUMENTS” компанийн SYSCAL R1+ болон SWITCH PRO багажуудыг ашиглан хийв. Судалгааны төрөл, зорилгоос хамааран дамжуулагч гадас хоорондын алхмыг 1-5 м хүртэл тохируулж, хэдий хэмжээний гүнийг хамарсан хэмжилт хийхээ тогтоно. Мөн Веннер, Веннер-Шлюмбержер, Поле-диполе, Диполе-диполе, Поле-поле, Олон шатлалт зэрэг хэмжилтийн аргууд байдгаас энд Веннер-Шлюмбержерийн аргыг хэрэглэв (Зураг 7). Цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зургийг Res2Dinv программын тусламжтайгаар өндрийн утга оруулж, инверсийн боловсруулалт хийв. Тухайн зүсэлт дээр орших цооног, өрөмдлөгийн мэдээгээр хөрс чулуулаг, цэвдгийн идэвхтэй давхарга зэргийн хил заагийг ялган зураглахад лавлах мэдээлэл болгон ашиглав.



Зураг 7. Веннер-Шлюмбержерийн аргыг ашигласан геофизикийн зүсэлт

Лабораторийн шинжилгээний арга

Хээрийн нөхцөлд малтсан, шурфны хананд илэрсэн, өрөмдсөн цооногийн ул хөрсний үе тус бүрээс хөнгөн цагаан саванд дээж авна. Авсан чийгтэй дээжээ техникийн жинд жигнэж, жинг тодорхойлж, 100-105°C-ийн халуунтай хатаах шүүгээнд хийж 5-6 цаг байлгана. Ингэж хатаасан дээжээ техникийн жингээр жигнэж жинхэнэ хуурай жинг тодорхойлно.

Ул хөрсний байгалийн чийгшлийг дараах томъёогоор тодорхойлно (Томьёо 1).

$$W = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} \times 100\%$$

- g₁- нойтон хөрстэй савны жин, гр
- g₂- хатаасны дараах хуурай хөрстэй савны жин, гр
- g₀- савны жин, гр

Хоёр фазын термосифон хоолойн хөлдөөх чадварын тооцооны аргазүй

Термосифон нь битүүмжилсэн хоолой доторх шингэний фазын шилжилтийн зөрүүгээр ажилладаг бөгөөд их хэмжээний хүйтнийг багахан температурын ялгавартай үед газрын гүнд дамжуулах чадвартай төхөөрөмж юм (Зураг 8). Термосифон хоолойг дотор нь агаарын хөргөлттэй, хөлддөггүй шингэний хөргөлттэй, 2 фазын термосифон гэж ангилж үздэг. Термосифон хоолойн хөлдөөлтийн радиус, чадал зэргийг тодорхойлоход доорх дифференциал тэгшитгэлийг тухайн захын болон анхны нөхцлийг дараах томъёогоор тооцдог (Томьёо 2).

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

t – температур
r – радиус



Зураг 8. Термосифон

ҮР ДҮН, ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

78+980 : K79+240 зурваст хийсэн судалгааны үр дүн

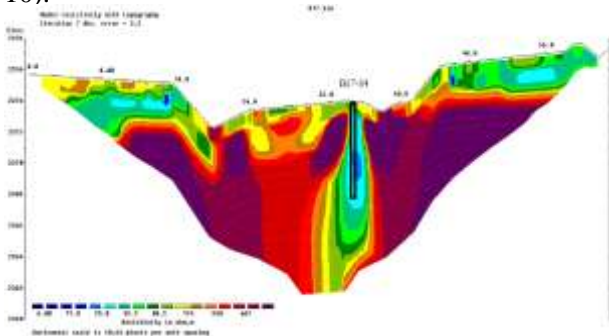
Энэ зурвас хэсгийн нийт урт 260 м бөгөөд энэ хэсэгт замын даланг торлож 64 м урт, 13 м хүртэлх гүнийг хамарсан геофизикийн 10 удаагийн хэмжилт хийсэн. Мөн 5 – 7 м гүнтэй 6 цооног өрөмдөж, цэвдгийн идэвхтэй давхаргын зузаан, цэвдэгт агуулагдах мөсний агууламж, хөрс чулуулгийн ширхэгийн бүтэц зэргийг тодорхойлсон (Зураг 9). Замын далангийн хатуу хучилттай хэсэгт 10-40 см сууж, хотойсон хэсгүүд ажиглагдана. Түүнчлэн замын далангийн урд хажуугийн хананаас цэвдгийн дээрх ус шүүрнэ. Энэ нь замын далангийн доорх цэвдгийн гээлтэд нөлөөлж байгаа нь энэ хэсэгт өрөмдсөн цооногуудын идэвхтэй давхаргын зузаанаас тодорхой харагдаж байна.



Зураг 9 . 78+980 : K79+240 зурваст өрөмдлөг хийж буй нь.

Энэхүү зурваст хийсэн геофизикийн зүсэлтүүдэд нэлээн төстэй үр дүн гарсан учраас зарим зүсэлтийг төлөөлүүлэн авч үзье.

Замын далангийн хамгийн их хотойсон хэсгийг дайруулан хийсэн цахилгаан томографын 17-р хэмжилтээр 32 Ω м хүртэлх эсэргүүцэлтэй хэсгийн гэсгэлэн чийглэг хэсэг(цайвар ногоон өнгөтэй) гэж үзсэн бол 32-243.6 Ω м хооронд эсэргүүцэлтэй хэсгийг (улбар, шар, тод ногоон өнгөтэй) замын далангийн материал болон уян, гэсэж байгаа цэвдэгтэй хэсэг гэж авч үзсэн. Харин 243.6 Ω м-ээс дээш эсэргүүцэлтэй хэсгийг (улаан, ягаан өнгөтэй) мөсжилт ихтэй цэвдэг чулуулаг гэж үзэв (Зураг 10).



Зураг 10 . Геофизикийн 17-р зүсэлт

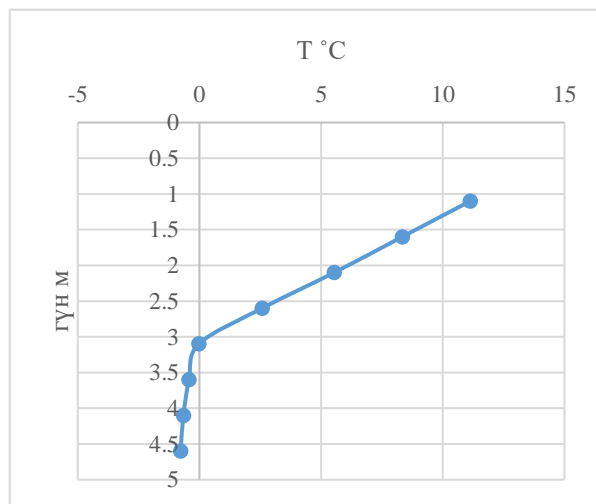
Геофизикийн зүсэлтийн утгуудыг өрөмдлөгийн мэдээгээр баталгаажуулахын тулд зүсэлтийн шугамын дагуу замын далан дээр болон замын далангийн хажууд хэд хэдэн цооног өрөмдсөн.

17 дугаар зүсэлтийн 34 дүгээр электрод орших цэгт өрөмдсөн цооногт хөлдүү мөсжилт ихтэй элсэн чигжээстэй хайрган хөрс 3.0 м-ээс эхэлсэн (Зураг 11).



Зураг 11 . 17-р зүсэлт дээр өрөмдсөн цооногийн 3.4 м гүнээс илэрсэн мөсжилт ихтэй цэвдэг

Өрөмдлөгийн болон лабораторийн шинжилгээний үр дүнгээс үзэхэд замын энэ хэсэгт нарийн ширхэгтэй хайрга, элс зонхилно. Температурын хэмжилтийн үр дүнгээс үзэхэд замын далангийн доор 3.0 м-ээс цэвдэг илэрсэн (Зураг 12). Энэ нь далангийн хажууд өрөмдсөн цооногтой ижил гүнээс цэвдэг илэрч байгаа хэдий ч асфальт бетон хучилтын доорх цэвдэг далангийн хажуу дахь байгалийн нөхцөлөөрөө байгаа цэвдгийн температураас даруй 1°C-ээр дулаан байна.



Зураг 12 . 17-р зүсэлт дээрх цооногийн температур

Замын далангийн асфальт бетон хучилтын доорх цэвдэг эрчимтэй гэсэхэд замын далангийн хажуугаас орж ирж буй цэвдгийн дээрх усны нөлөө их байна.

K80+360:K80+700 зурваст хийсэн судалгааны үр дүн

Энэ зурвас хэсгийн нийт урт 340 м бөгөөд энэ хэсэгт замын даланг торлож 64 м урт, 13 м хүртэлх гүнийг хамарсан геофизикийн 9 удаагийн хэмжилт хийсэн. Эдгээр хэмжилтийн 4 нь замын далангийн дагуу тууш, 5 нь замын даланг хөндлөн огтолсон зүсэлт болно. Мөн 5 – 7 м гүнтэй 4 цооног өрөмдөж, цэвдгийн идэвхтэй давхаргын зузаан, цэвдэгт агуулагдах мөсний агууламж, хөрс чулуулгийн ширхэгийн бүтэц зэргийг тодорхойлсон (Зураг 13).



Зураг 13. K80+360:K80+700 зурвас хэсэгт үүссэн тууш хагарал болон замын далангийн хотойж суусан хэсгүүд

Геофизикийн цахилгаан томографын хэмжилтийн 5, 6, 7 -аар зүсэлтийн дагуу мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй бол 8, 9 -ээр зүсэлтийн дагуу мөсний агууламж жигд бус бөгөөд харьцангуй бага мөсжилттэй байна (Хүснэгт 1).

Хүснэгт 1. Хөрсний чийгшил

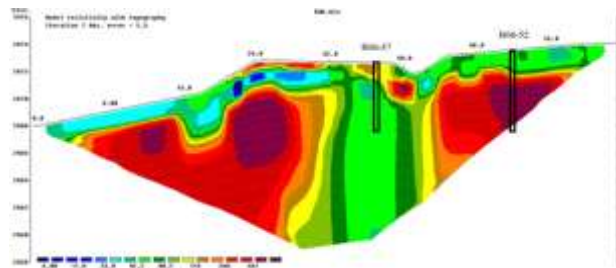
Цооног	B06		B07		B09	
Гүн /м/	3.8	4.0	5	3.8	4.0	6.0
Чийг /хувиар/	13.97	12.32	29.62	9.85	11.53	13.00

6-р зүсэлтийн 52 дугаар электрод байрлах цэгт өрөмдсөн цооногт цэвдгийн гэсэлтийн чөлөөт суултийг хээрийн нөхцөлд тодорхойлоход 10 см цэвдэг хөрс гэсэхэд 1 см суулт үүсэхээр байна. Өөрөөр хэлбэл 1 м цэвдэг хөрс гэсэхэд 10 см хотойлт замын гадарга дээр үүсэх боломжтой байна (Зураг 14).



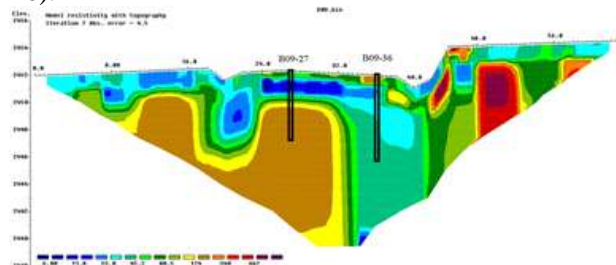
Зураг 14. Хээрийн нөхцөлд тооцсон гэсэлтийн чөлөөт суулт

Замын далангийн доорх үндсэн хөрс нь элсэнцэр, шавранцар чигжээстэй хайрга зонхилох бөгөөд 2.2 - 3.0 м-ээс цэвдэг чулуулаг эхэлнэ. Замын даланг хөндлөн зүссэн цахилгаан томографын 6 болон 9-р хэмжилтээр 32 Ω м хүртэлх эсэргүүцэлтэй хэсгийн гэсгэлэн чийглэг хэсэг, 32-243.6 Ω м хооронд эсэргүүцэлтэй хэсгийг замын далангийн материал болон уян, гэсэж байгаа цэвдэгтэй хэсэг, 243.6 Ω м-ээс дээш эсэргүүцэлтэй хэсгийг мөсжилт ихтэй цэвдэг чулуулаг гэж үзэв (Зураг 15). 6-р зүсэлтийн дагуу мөсжилт ихтэй цэвдэг тархсан байна.



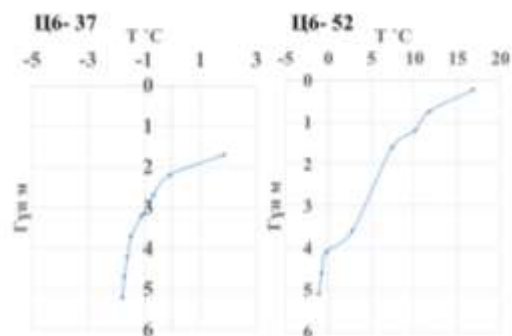
Зураг 15. Цахилгаан эсэргүүцлийн томограф хэмжилтийн 6-р зүсэлт

Харин 9-р зүсэлтийн хувьд далангийн дээд хэсэгт мөсжилт ихтэй цэвдэг тархаж, замын далангийн доор мөсжилт багатай цэвдэг тархсан байна (Зураг 16).



Зураг 16. Цахилгаан эсэргүүцлийн томограф хэмжилтийн 9-р зүсэлт

Цооногийн температурын хэмжилтийн мэдээллээр цахилгаан томографын 6-р зүсэлтийн 52 дугаар электрод орших цэгт өрөмдсөн цооногт тухайн хэмжилт хийсэн хугацаанд 2.2 м-ээс хөлдүү хөрс эхлэх бөгөөд 3.7-5.2 м хооронд -1.5-аас -1.77°C температуртай байгаа нь асфальт-бетон доорх цэвдэг хөрсний температураас даруй 0.5-0.8°C-ээр хүйтэн байна (Зураг 17).



Зураг 17. 6-р зүсэлт дээрх цооногуудын температур

Замын далангийн хэсгүүдэд термосифон хоолойн хөлдөөх радиус тооцсон үр дүн

Бураатын даваа орчмын замын далангийн эвдрэлтэй хэсгүүдэд термосифон хоолой суурилуулах тохиромжтой гэж үзээд замын далангийн өндөр, материал зэрэгт үндэслэн дараах тооцоог хийлээ.

K80+360 : K80+700 хэсэгт термосифон ууршуулагч хоолой дээр температурыг -10°C -тэй 3.5 өдөрт 0.6 м радиусаар, 17 өдөрт 1 м радиусаар, 43 өдөрт 1.5 м радиусаар тус тус хөлдөөх боломжтой байна (Хүснэгт 2). Термосифон хоолой хоорондын зайг 3 м байхаар байна. Өөрөөр хэлбэл замын нэг талд термосифон хоорондын зай 3 м, хоёр талыг тооцвол 1.5 м болно.

Хүснэгт 2. Хөлдөөх радиус, дулаан, хугацаа

№	R, м	Q _l , MJ/m	t _l , өдөр
1	0.3	44.7	1
2	0.6	178.2	3.4
3	1.0	494.0	17.1
4	1.5	1109.8	43.3
5	1.8	1597.2	65.5
6	2.0	1971.2	83.09
7	2.5	3078.1	137.2
8	3.0	4430.4	206.2

K78+980 : K79+240 хэсэгт ууршуулагч хоолой дээр температурыг -5°C -тэй 7.5 өдөрт 0.6 м радиусаар, 24 өдөрт 1 м радиусаар, 59 өдөрт 1.5 м радиусаар, 90 өдөрт 1.8 м радиусаар тус тус хөлдөөх боломжтой байна (Хүснэгт 3). Иймд замын энэ хэсэгт термосифон хоолой хоорондын зайг 1.8 м тохиромжтой. Өөрөөр хэлбэл замын энэ хэсэгт ууршуулагч хоолойн хөлдөөх радиус нь 1.8 м болно. Хонгор өлөнгийн цооногийн мэдээгээр -20°C -тэй хоногийн тоо 30, -10°C -тэй хоногийн тоо 88 байгаа хэдий ч тухайн хэсэгт цэвдгийн дээр устай, мөн давааны өвөр тал гэдгийг харгалзан хөлдөөгч хоолой хоорондын зайг багасгаж 0.5 м болгох шаардлагатай.

Хүснэгт 3. Хөлдөөх радиус, дулаан, хугацаа

№	R, м	Q _l , MJ/m	t _l , өдөр
1	0.3	46.4	1.5
2	0.6	185.7	7.5
3	1.0	515.4	24
4	1.5	1159.1	59
5	1.8	1668.7	88.5
6	2.0	2059.88	111.6
7	2.5	3217.8	182.6
8	3.0	4632.8	272.4

ДҮГНЭЛТ

Бураатын даваа орчмын авто замын далангийн эвдрэлтэй хэсгүүдэд хийсэн цэвдэгт инженер геологийн судалгааны ажлын үр дүнгээс дараах дүгнэлтийг хийж байна. Бидний судалгааны дүнгээс үзэхэд Бураатын даваа орчмын авто замын эвдрэлтэй хэсгүүд нь цэвдгийн гэсэлтээ шууд шалтгаалж байна. Тухайн замын далангийн дээр болон далангийн хажууд хийсэн өрөмдлөгийн мэдээ болон температурын хэмжилтийн мэдээг харьцуулан үзэхэд замын далангийн доорх цооногийн температур далангийн хажууд өрөмдсөн цооногоос даруй $0.5-0.8^{\circ}\text{C}$ –ээр дулаан, идэвхтэй давхаргын зузаан 1 м ээр илүү байна. Энэ нь асфальт хучилтын доорх мөсжилт ихтэй цэвдэг далангийн дулаан шингээлтийн нөлөөгөөр идэвхтэй гэссэн болохыг илтгэж байна. Замын далангийн доорх мөсжилт ихтэй цэвдгийн гэсэлтээс үүдэж, замын далангийн хэсэгт гадарга хотойж, суух зэргээр эвдрэл үүсэж байна. Эвдрэлтэй хэсгүүдэд өрөмдсөн цооногийн дээжээс мөсний агууламж тодорхойлоход 10 – 40% байсан нь харьцангуй их мөсжилттэй болохыг илэрхийлнэ. Мөн геофизикийн цахилгаан эсэргүүцлийн томографын хэмжилтээр замын далангийн доорх цэвдгийн тархалт, мөсний агууламж ихтэй хэсгийг ялган тодорхойлсноор замын далангийн эвдрэлтэй хэсгүүдэд тохирох арга аргачлалыг боловсруулахад түлхэц үзүүлж байна.

Цэвдгийн гэсэлтийг зогсоохын тулд замын далангийн асфальт бетон хучилтийн доорх цэвдгийн идэвхтэй давхаргыг тогтвортой барих шаардлагатай. Үүний тулд дэлхийн бусад оронд өргөнөөр ашиглаж буй термосифон хоолойг хэрэглэх шаардлага тулгарч байна. ШУА-ийн ГГХ-ийн Цэвдэг судлалын салбарын судлаачид Монгол орны байгалийн нөхцөлд термосифон хоолойг туршиж, практикт нэвтрүүлэх боломжтой болсон. Ингэснээр авто замын урсгал зардлыг хэмнэж, шинжлэх ухааны үр дүнг практикт нэвтрүүлэх боломжтой юм.

ТАЛАРХАЛ

Тус ажлыг гүйцэтгэхэд хамтарч, бүх талын дэмжлэг үзүүлж ажилласан Баруун бүсийн босоо тэнхлэгийн авто замын зохицуулагч Б.Баян-Амгалан, Ай Си Ти Сайн Консалтинг ХХК-ийн зөвлөх багийн ахлагч Ч.Энхжаргал, замын ажлыг гүйцэтгэгч Чайна Хуаши ХК-ийн багийн ахлагч Дэнзэн (Deng zheng), орчуулагч Б.Содбилиг нарт чин сэтгэлийн талархал илэрхийлье. Хээрийн судалгааны ажилд хамтран оролцсон өрмийн мастер Т.Санжаажамц, жолооч Ц.Дашдондов, туслах ажилтан Отгонбаяр, Эрдэнэдалай нарт талархсан сэтгэлээ илэрхийлж байна.

АШИГЛАСАН НОМ, ХЭВЛЭЛ

- [1] Жамбалжав Я. *"Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт"*. УБ.: Колорфул ХХК, 2016 он. 1-80 х.
- [2] Сэрээтэр Ж, Аялал жуулчлалын гол чиглэлийн дагуу авто замын сүлжээг төлөвлөх нь. 2017
- [3] Arvind Phukan, *Design consideration for roadways on permafrost*, Final report, School of Engineering University of Alaska, Fairbanks 1980
- [4] Э.Д.Ершов, *Общая геокриология*, Издательство МГУ, 2002
- [5] Shane M. Ferrell, 2010. *"Rail Embankment Stabilization on Permafrost - Global Experiences"*, Report of Civil/Railroad Designer Hanson Professional Services. 1-25 pp.
- [6] 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.
- [7] Atmosphere and Surface, Fifth assessment report, 2013.171-173 pp.
- [8] Монгол Улсын норм норматив. Өрөмдлөгийн багажийн норм, 2002
- [9] Loke, M.H., 2011. Electrical resistivity surveys and data interpretation. In Gupta, H (ed), Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2nd Edition) "Electrical & Electromagnetic" Springer-Verlag, 276-283.
- [10] Loke, M.H., et al., 2011a. Instrumentation, electrical resistivity. In Gupta, H (ed), Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2nd Edition) "Electrical & Electromagnetic" Springer-Verlag, 599-604.
- [11] Loke, M.H., et al., 2013a. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. Journal of Applied Geophysics, 95, 135-156.