

# ЦЭВДЭГТ БҮС НУТГИЙН АВТО ЗАМЫН ЭВДРЭЛИЙН ШАЛТГААН ТҮҮНИЙГ ШИЙДВЭРЛЭХ АРГУУД

Г.Цогт-Эрдэнэ<sup>1</sup>, Я.Жамбалжав<sup>1</sup>, А.Саруулзаяа<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэн, Цэвдэг судлалын салбар  
Э-шуудан: [g.tsogterdene@gmail.com](mailto: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 pavement 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 soils. 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. The permafrost occupies 1/3 of the country's territory in Mongolia[1]. 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 started the investigations along the roads in Chuluut river valley, in Terkh river valley of Arkhangai aimag, in Khurental of Telmen soum of Zavkhan aimag, in Tsagaannuur of Bayan-Ulgii aimag, in Alag-Erdene soum Hovsgol aimag using the drilling, electric resistivity tomography, relative settlements, and temperature measurements. The amount of relative settlement was approximately 30 cm on road surface within 5 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:* Авто зам, цэвдэг, далан, суулт, цахилгаан эсэргүүцлийн томограф

## ОРШИЛ

Монгол 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, ихэнх аймгийн төвүүд холбогдлоо. Мянганы замын хэвтээ тэнхлэгийн дагуух авто замууд баригдаж дуусах шатандаа байгаа бол зарим хэсэгт барихаар төлөвлөж байна. 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.

Цэвдэг өргөн тархсан бүс нутагт орших ОХУ, Канад, АНУ-ын Аляск муж, Хятад зэрэг улс орнуудад замын далангийн янз бүрийн хийцэд туршилт, судалгаа хийгээд зогсохгүй зарим хэсэгтээ уг 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)-гэй 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. Жишээлбэл: Архангай аймгийн Өндөр-Улаан сумын нутгийн Чулуутын голын хөндий, Тариат сумын нутгийн Тэрхийн голын хөндийд авто зам ашиглалтад орсноос хойш 1-5 жилийн дотор зөвшөөрөгдөх

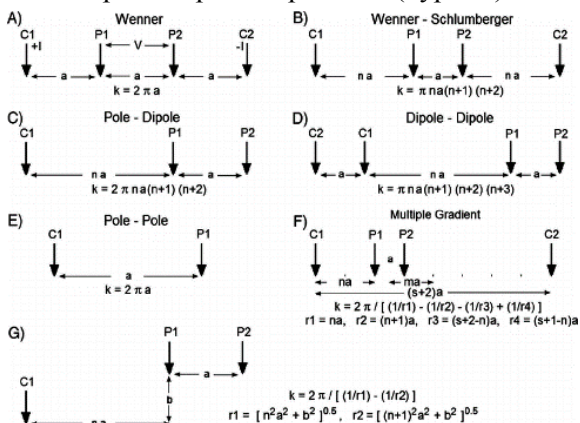
хэмжээнээс илүүтэй сууж, хотойж зорчих нөхцөлд сөргөөр нөлөөлж эхлээд байна. Эдгээр замуудын эвдрэлийн шалтгааныг тодорхойлох зорилгоор, Боловсрол, Соёл, Шинжлэх ухаан, Спортын яамны захиалгаар “Зарим авто замын дагуух цэвдгийн судалгаа 2017-2019” сэдэвт суурь судалгааны ажлыг хэрэгжүүлж эхлээд байна. Энэхүү сэдэвт ажлын хүрээнд Архангай аймгийн Өндөр-Улаан сумын Чулуутын голын хөндий, Тариат сумын Тэрхийн голын хөндий, Завхан аймгийн Тэлмэн сумын Хүрэн талын хөндий, Хөвсгөл аймгийн Алаг-Эрдэнэ сумын төв орчим, Баян-Өлгий аймгийн Цагааннуур тосгоны нутагт тус тус судалгааны талбай байгуулж эхний хэмжилт хийгээд байна. Энэ өгүүлэлд дээр дурдсан талбайд хийсэн хэмжилтийн анхдагч үр дүнгээс танилцуулах болно. Мөн цэвдэгтэй бүс нутагт зам барилга барьж байгуулахад хэрэглэдэг аргуудыг судалж, тэдгээрээс термосифон буюу дулааны хоолойг Улаанбаатар хотын Бэлхийн зусланд туршив. Хоёр цооног өрөмдөж, термосифон хоолойн дээд хэсэг, цооногийн гүнүүдэд температур хэмжиж туршсан үр дүнг танилцуулна.

### АРГАЗҮЙ, МАТЕРИАЛ

Энэ судалгаанд хуурай өрөмдлөгийн арга, дээжний хээрийн бичиглэл, цэвдэг хөрсний гэсэлтийн чөлөөт суулт зэргийг хээрийн нөхцөлд тодорхойлсон. Геофизикийн цахилгаан эсэргүүцлийн томографын арга ашиглаж замын даланг хөндлөн огтолсон зүсэлтүүд хийв.

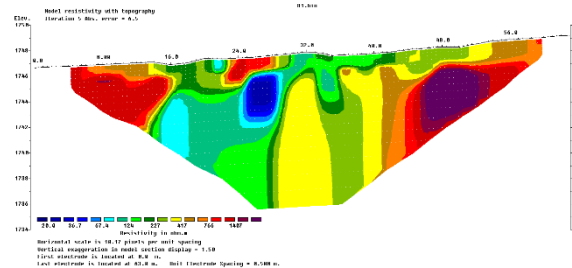
Япон улсын “Танака” компанийн гар өрмөөр замын далангийн ойролцоо өрөмдлөж, өрмийн дээжид хөрсний үзүүлэлтүүдийг тодорхойлохоос гадна температур хэмжих зорилгоор хоолойгоор тоноглон.

Геофизикийн хайгуулын цахилгаан эсэргүүцлийн болон албадмал туйлшралын аргууд нь 2 болон 3 хэмжээст зүсэлтийг талбайн болон цооногийн хэмжилтээр байгуулах орчин үеийн аргачлал юм. Энэхүү судалгаанд Веннер, Веннер-Шлюмбергийн аргыг хэрэглэсэн(Зураг 1).



Зураг 1. Геофизикийн хэмжилтийн аргууд

Францын “IRIS INSTRUMENTS” компанийн SYSCAL R1+ болон SWITCH PRO багажуудыг ашиглаж цахилгаан томографын хэмжилт хийсэн. Тус багаж нийт 2 суваг, 96 электродтой бөгөөд электрод хоорондын зай хамгийн ихдээ 5 м, нэг удаагийн хэмжилтээр 480 м сунаж, 82 м хүртэлх гүнд газрын доорх цахилгаан эсэргүүцлийн мэдээллийг цуглуулах боломжтой юм (Зураг 2).



Зураг 2. Цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зүсэлт

Мөн асфальт гадарга, замын далангийн хоёр хажуу, энгийн байгалийн нөхцөл дэх газрын гадарга зэргийн ялгааг гаргах зорилгоор товчин температур бичигчийг замын далангийн гадаргуудад 3-5 см гүнд байрлуулсан. Уг температур бичигч товчин температур хэмжигч нь 1.7 см голчтой, 0.6 см зузаантай -40°C-ээс +85°C хооронд 0.5°C нарийвчлалтайгаар 2048 удаагийн хэмжилтийн утга хадгалах багтаамжтай.

### Термосифон

Термосифон буюу дулааны хоолойг 80 хувиас дээш мөсний агууламжтай, дулаан цэвдэгтэй хөрсөнд энэхүү төхөөрөмжийг ашигладаг. Термосифон хоолой нь маш бага жинтэй боловч хүйтэн дамжуулах чадвараараа зэс, мөнгө гэх мэт цул дамжуулагчаас хэдэн зуу дахин илүү хүчин чадалтай гэдгээрээ онцлог. 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 3).



Зураг 3. Бэлхийн термосифон

Термосифон хоолойн ажиллах зарчмын хамгийн гол үзүүлэлт нь хоолойг цэнэглэсэн ажлын шингэний буцлах температураас хамаардаг. Хөрсөнд хүйтэн хуримтлуулахын тулд нам температурт буцалдаг фреоноор цэнэглэдэг бөгөөд энэ нь гаднаас нэмэлт энерги, техникийн засвар үйлчилгээ шаарддаггүй бие даасан байдлаараа давуу талтай. Термосифон нь температурын фазын зөрүүн дээр ажилладаг учир агаарын хүйтнийг газрын гүнд маш сайн дамжуулах бөгөөд цэвдэг хөрсөнд хүйтний хуримтлал зохиомлоор үүсгэж цэвдгийн дээд хилийг хөдөлгөөнгүй байлгах зориулалттай. Иймээс цэвдэгтэй бүсэд баригдсан замын далангийн доод ул хөрсийг хөргөж чадсанаар далангийн хэв гажилт үүсгэдэггүй давуу талтай. Бид байгалийн нөхцөлд туршсан термосифон хоолойг фреоноор цэнэглэсэн бөгөөд хоолойн хүйтэн бүтээмж, хөлдөөх радиусыг Л.Н. Хрусталевын арга зүйгээр тодорхойлсон (Томьёо 1-2).

$$\tau_{\delta} = \eta_a \tau_u \quad (\text{томьёо } 1)$$

Энд,  $\tau_m$  - хоолойн хөлдөөх радиус, м.

$\eta_e$  - нэгжгүй параметр (номограммаар тодорхойлно).

$\tau_u$  - хоолойн голч, м.

Термосифон хоолойн хүйтэн бүтээмжийг (2) томьёогоор тооцно.

$$P = Q / \tau^* \quad (2)$$

Энд, P - хоолойн хүйтэн бүтээмж, кВт.

Q - хөрс хөлдөөхөд зарцуулагдах хүйтний хэмжээ, кВт.цаг.

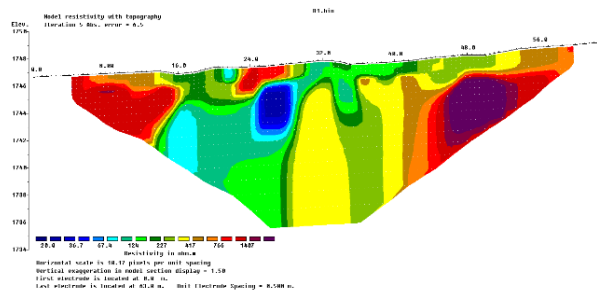
$\tau^*$  - хөрс хөлдөөхөд зарцуулагдах хугацаа, цаг.

Бэлхийн зусланд туршсан термосифон хоолойн нийт урт нь 8 м бөгөөд гадаргаас доош 4 м-ийн гүнд хоолойг суурьлуулсан. Термосифон хоолойн нь дээд хэсэг нь конденсатор дээрх ирмэгжүүлсэн гадаргуугийн температур ба орчны температурыг хэмжснээр гадаргуу орчин хоёрын хоорондох дулаан солилцоог тодорхойлох боломжтой болно. Хөрс рүү шилжих дулааны урсгалыг хэмжих зорилгоор тодорхой гүнүүдэд температур хэмжих дата логерууд байрлуулж, дөрвөн цагийн давтамжтайгаар байнгын хэмжилт хийсэн.

## ҮР ДҮН

**Чулуутын голын хөндий** нь Архангай аймгийн Өндөр-Улаан сумын нутагт орших бөгөөд Монгол орны цэвдгийн алаг цоог тархалттай бүслүүрт оршино. Цэвдгийн алаг цоог тархалттай бүслүүрт цэвдэг нь уулсын огцом ар хажуу, түүнтэй залгаа орших ам, хөндийд тохиолддог. Чулуутын голын хөндийн хэвтээ тэнхлэгийн авто зам дайран өнгөрч байгаа хэсэгт мөсжилт ихтэй цэвдэгт нутагт тархдаг хүйтний гаралтай үзэгдлүүд болох бөөрөг, дулааны хөндийлжийн нуурууд (термокарст) элбэг тархсан байдаг. 1975 онд Чулуутын голын хөндийд орших нэг бөөргийн орой дээр өрөмдлөг хийж цэвдгийн зузааныг 36 м гэж тогтоож байжээ[8]. Чулуут голын хөндийд Монгол орны цэвдгийн мониторингийн 2 цооног оршдог. Дээрх цооногуудын мэдээгээр улирлын гэсэлтийн гүн нь 2-3 м, 10-15 м гүний цэвдгийн температур нь -0.45°C. 2017 оны 9 сарын байдлаар Чулуутын голын хөндийн энэхүү замын зурвас хэсэгт хэд хэдэн газарт янз бүрийн хэмжээтэй хotoйж суусан байна.

Судалгааны талбай нь замын гадаргад 30 см хүртэл хotoйсон. Энд авто зам хөндлөн огтолсон геофизикийн томографын зүсэлтийг Чулуутын гүүрний ойролцоо 1 м алхамтайгаар 64 электродтой, 12 м хүртлэх гүнд хийсэн ба 41 дэх электрод байрлах цэг дээр 8 м гүнтэй цооног өрөмдсөн (Зураг 4).



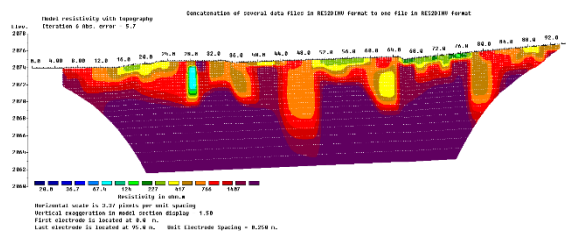
Зураг 4. Чулуутын хөндийн геофизикийн зүсэлт

Ул хөрс нь нимгэн органик үе давхарга, тоосорхог нарийн ширхэгтэй элс, элсэн чигжээстэй хайр, хайрга, шавранцарын үеэс тогтоно. Геофизикийн цахилгаан зүсэлтээр хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь <20 Ом\*м -ээс 2100 Ом\*м хооронд хэлбэлзэнэ. 1000 Ом\*м-ээс өндөр хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсэг нь замын далангийн доор гүехэн гүнд ба замаас тодорхой зайнд хоёр талд тодорхой гүнд илэрсэн. Энд 1000 Ом\*м-ээс дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсгийг элсэн чигжээстэй хуурай хайр, хайрга ба хөлдүү хөрс гэж ялган зураглав.

**Тэрхийн голын хөндий** нь Архангай аймгийн Тариат сумын нутагт орших бөгөөд Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт үзүүлснээр цэвдгийн үргэлжилсэн ба тасалданги тархалттай бүслүүрт оршино. Тэрхийн голын хөндийн цэвдгийн зузааныг 105 м хүрнэ гэж 1975 онд Н.Шархүү тогтоож байжээ. Энд Монгол орны цэвдгийн мониторингийн 3 цэг байрладаг. Уг цооногуудын мэдээгээр улирлын гэсэлтийн гүн 3-4 м, улирлын хөлдөлтийн гүн 5.5 м бол 14-15 м гүн дэх цэвдгийн температур  $-1.2^{\circ}\text{C}$ . 2017 оны 9 сарын эхээр Тэрхийн голын хөндийд замын гадаргад хэд хэдэн газарт янз бүрийн хэмжээтэй хotoйж суусан байна. Бид энд 2 ажиглалтын талбай байгуулсан болно. Нэгдүгээр ажиглалтын талбай нь Тэрхийн голын хөндийн адаг хэсэгт бөөрөг бүхий газрыг сонгосон бол хоёрдугаар талбай Тэрхийн голын гүүрнээс зүүн чиглэлд зам дагуу 5 км зайд харьцангуй өөрчлөлт багатай талбай сонгосон болно.

Нэгдүгээр талбай дээр бөөрөг хөндлөн огтолсон зүсэлт хийсэн. Цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зүсэлтээр уг бөөрөг нь хаалттай системийн бөөрөг байх боломжтой. Хоёрдугаар талбай дээр зам хөндлөн огтолсон цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зүсэлтийг 1 м алхамтайгаар 128 электродтой, 12 м хүртэлх гүнд хийсэн ба 54 дэх электрод байрлах цэг дээр 3.4 м гүнтэй цооног өрөмдсөн (Зураг 5).

Өрөмдлөгөөр 2017 оны 8 сарын 24 байдлаар 3.4 м-г хөлдүү хөрс илэрсэн. Ул хөрс нь нимгэн органик үе давхарга, элсэн чигжээстэй хайр, хайрга, хайр, хайргатай бүдүүн ширхэгтэй элснээс тогтоно. Хөлдүү хөрсөнд гэсэлтийн харьцангуй чөлөөт суулт 0.89 байв.

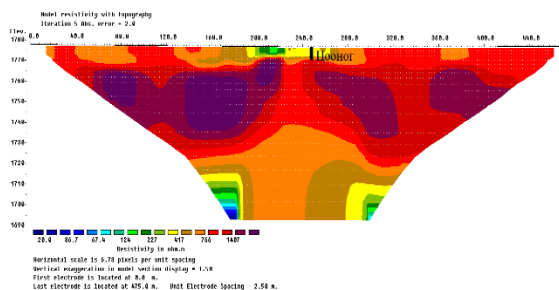


Зураг 5. Тэрхийн хөндийн геофизикийн зүсэлт

Геофизикийн цахилгаан зүсэлтээр хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь  $<20 \text{ Ом}^*\text{м}$ -ээс  $2100 \text{ Ом}^*\text{м}$  хооронд хэлбэлзэнэ.  $1000 \text{ Ом}^*\text{м}$ -ээс өндөр хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсэг нь зүсэлтийн дагуу тодорхой гүнүүдэд илэрсэн. Энд  $1000 \text{ Ом}^*\text{м}$ -ээс дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсгийг хөлдүү хөрс гэж ялган зураглав.

**Хүрэн талын хөндий** нь Завхан аймгийн Тэлмэн сумын нутагт орших бөгөөд Монгол орны цэвдгийн үргэлжилсэн болон тасалданги тархалттай бүслүүрт оршино. Үргэлжилсэн тархалттай цэвдгийн бүслүүрт цэвдэг нь бараг бүх геоморфологийн элементэд тархсан байх бөгөөд зөвхөн томоохон нуур, голын ёроолын хурдасанд, зарим нэгэн идэвхтэй тектоник хагарлын дагуу цэвдэггүй байдаг. Хүрэн талын хөндийн хэвтээ тэнхлэгийн авто зам Улиастай, Улаангом чиглэлийн замууд дайран өнгөрөх бөгөөд замын барилга угсралтын ажил ирэх жилүүдэд хийхээр төлөвлөж байна. Энд гадаргаасаа хаьцангуй хуурайвтар боловч зарим хэсэгтээ нохойн хонхор, дов сондуул тарсан байдаг. 1971 онд Гравис болон бусад судлаачид Идэрийн голын хөндийд цэвдгийн зузааныг 24-28 м гэж тогтоож байжээ. Завхан аймгийн Тосонцэнгэл, Нөмрөг сумын төв дээр Монгол орны цэвдгийн мониторингийн 2 цооног оршдог. Дээрх цооногуудын мэдээгээр улирлын гэсэлтийн гүн нь 3-5.5 м, 10-15 м гүний цэвдгийн температур нь  $-0.4^{\circ}\text{C}$ .

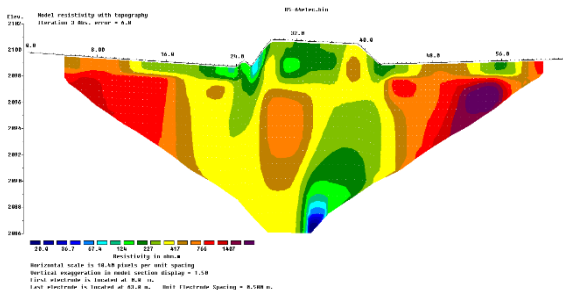
Энд зам барихаар төлөвлөж байгаа зурвасаас тодорхой зайнд геофизикийн томографын зүсэлтийг 5 м алхамтайгаар 96 электродтой 80 м хүртэлх гүнд хийсэн ба 46-47 дугаар электродуудын хооронд 4 м гүнтэй цооног өрөмдсөн (Зураг 6). Өрөмдлөгөөр 2017 оны 9 сарын 5 ны байдлаар 3 м-ээс хөлдүү хөрс илэрсэн. Ул хөрс нь нимгэн органик үе давхарга, тоосорхог нарийн ширхэгтэй элс, хайрга агуулсан нарийн ширхэгтэй элс, элсэн чигжээстэй хагас мөлгөржсөн хайргын үеүдээс тогтоно. 3 м-ээс цулдмал мөсөн талсттай, элсэн чигжээстэй хөлдүү хайрга илэрсэн.



Зураг 6. Хүрэн талын хөндийн геофизикийн зүсэлт

Геофизикийн цахилгаан зүсэлтээр хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь  $<20 \text{ Ом}^*\text{м}$ -ээс  $2100 \text{ Ом}^*\text{м}$  хооронд хэлбэлзэнэ. Энд  $1000 \text{ Ом}^*\text{м}$ -ээс дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсгийг хөлдүү хөрс гэж ялган зураглав. Цахилгаан томографын хэмжилтээр цэвдгийн зузаан 30-45 м гэж үзлээ.

**Цагааннуур тосгоны цэг** нь Баян-Өлгий аймгийн Цагааннуур тосгоны нутагт орших бөгөөд Монгол орны цэвдгийн тархалтын зурагт үзүүлснээр цэвдгийн тасалданги тархалттай бүслүүрт оршино. Монгол орны цэвдгийн мониторингийн хэд хэдэн цэг Өлгий хотоос Цагааннуур тосгон хүрэх зам дагуу байрладаг. Уг цооногуудын мэдээгээр улирлын гэсэлтийн гүн 3.5- 4 м, 10 м гүн дэх цэвдгийн температур - 0.65°C. 2017 оны 9 сарын эхээр Өлгий хотоос Цагааннуур хүрэх замын цэвдэг хөрс тархсан хэсэгт хотойлт суулт, дагуу хагарал хэд хэдэн газарт үүссэн байсан. Цагааннуур тосгоны урдуур өнгөрөх авто зам дээр тодорхой суулт өгсөн хэсэгт судалгааны талбайг сонгосон. Энд зам хөндлөн огтолсон цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зүсэлтийг 1 м алхамтайгаар 64 электродтой, 12 м хүртэлх гүнд хийсэн (Зураг 7). Арван найм дахь электрод байрлах цэг дээр 4 м гүнтэй цооног өрөмдсөн. Өрөмдлөгөөр хөлдүү хөрс илрээгүй. Ул хөрс нь тоосорхог элсэн чигжээстэй хагас мөлгөржсөн хайр, хайрганаас тогтоно.

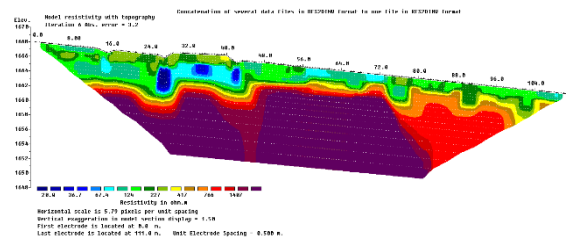


Зураг 7. Цагааннуурын талбайн геофизикийн зүсэлт

Геофизикийн цахилгаан зүсэлтээр хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь <20 Ом\*м ээс 2100 Ом\*м хооронд хэлбэлзэнэ. 1000 Ом\*м-ээс өндөр хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсэг нь зүсэлтийн дагуу замын далангаас тодорхой зайнд илэрсэн. Энд 1000 Ом\*м-ээс дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсгийг суурь чулуулаг, хөлдүү хөрс гэж ялган зураглав.

**Алаг-Эрдэнэ сумын цэг** нь Монгол орны цэвдгийн алаг цоог тархалттай бүслүүрт оршино. Хөвсгөлийн Алаг-Эрдэнэ сумын төв орчим цэвдгийн зузаан 15-40 м байсныг тогтоожээ. Мөрөн Хатгал чиглэлийн замын дагуу Монгол орны цэвдгийн мониторингийн хэд хэдэн цооног оршдог. Дээрх цооногуудын мэдээгээр улирлын гэсэлтийн гүн нь 4.5 м, 6.5м гүний цэвдгийн температур нь -0.7°C.

2017 оны 9 сарын байдлаар Мөрөн Хатгал чиглэлийн энэхүү замын зурваст хэд хэдэн газар 5-10 см гүнтэй хотойж суусан байв. Энд зам хөндлөн огтолсон геофизикийн томографын зүсэлтийг 1 м алхамтайгаар 128 электродтой 12 м хүртэлх гүнд хийсэн ба 64 дэх электрод байрлах цэг дээр 4 м гүнтэй цооног өрөмдсөн (Зураг 8). Өрөмдлөгөөр 2017 оны 9 сарын байдлаар хөлдүү хөрс 4 м-ээс илэрсэн ба ул хөрс нь нимгэн органик үе давхарга, хайрга агуулсан шавранцар, элсэн чигжээстэй хайр, хайрга саарал өнгийн элсний бичил үетэй хэсгүүдээс тогтоно.



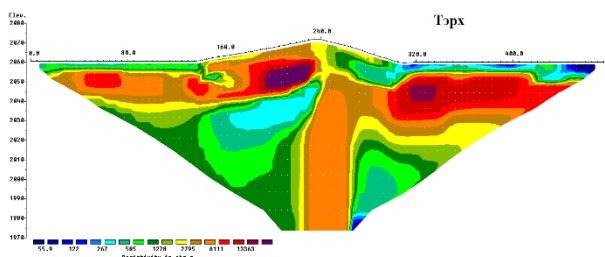
Зураг 8. Алаг-Эрдэнэ сумын талбайн геофизикийн зүсэлт

Геофизикийн цахилгаан зүсэлтээр хөрсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь <20 Ом\*м ээс 2100 Ом\*м хооронд хэлбэлзэнэ. 1000 Ом\*м-ээс өндөр хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсэг нь зүсэлтийн дагуу тодорхой гүнүүдэд илэрсэн. Энд 1000 Ом\*м-ээс дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсгийг хөлдүү хөрс гэж ялган зураглав.

## ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Материалын цахилгаан дамжуулах чадвар, түүний ялгаатай утга зэрэг дээр цахилгаан эсэргүүцлийн томографын аргын зарчим үндэслэдэг. Усны хувийн цахилгаан эсэргүүцэл (~10<sup>1</sup>-ээс 10<sup>2</sup> Ом\*м) ба мөсний хувийн цахилгаан эсэргүүцэл (~10<sup>3</sup>-ээс 10<sup>6</sup> Ом\*м) эрс ялгаатай байдаг нь хөлдүү, гэсгэлэн хөрсний хил заагийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой ч зарим тохиолдолд суурь чулуулагт өндөр эсэргүүцэл илрэх тохиолдол байдаг [9]. Иймийн тулд хэмжилт бүрд цооног өрөмдөж хөлдүү хөрсний илрэх гүнийг тодорхойлсон. Бидний судалгаанд хувийн цахилгаан эсэргүүцэл нь <20-оос Ω > 2000 Ом\*м хооронд хэлбэлзэнэ. Энд бид 1000 Ом\*м-ээр хөлдүү гэсгэлэн хөрсний хил заагийг зурагласан. Энэ нь Тэрх, Хүрэн тал, Алаг-Эрдэнийн судалгааны талбайд маш сайн тохиромжтой байлаа. Чулуутын голын хөндий, Цагааннуурын судалгааны талбайд 1000 Ом\*м-дээш хувийн цахилгаан эсэргүүцэлтэй хэсэг нь зөвхөн хөлдүү хөрс бус суурь чулуулаг, хуурай элсэн чигжээтэй хайрга байх боломжтой.

Тэрхийн голын хөндийн бөөргийг хөндлөн огтолсон цахилгаан эсэргүүцлийн томографын зүсэлтээр 1000 Ом\*м-ээс дээш утга үзүүлж байгаа бол уг зүсэлтийн гол хэсэгт 400 Ом\*м-ээс бага утгатай хаалттай хэсэг байгаа бол зүсэлтийн доод ёроолд гэсгэлэн хэсэг илэрч байна. Эндээс уг бөөргийг хагас хаалттай системийн бөөрөг гэж үзэв(Зураг 9).



Зураг 9. Тэрхийн бөөргийн геофизик зүсэлт

Уур амьсгалын дулааралтай холбоотойгоор улирлын гэсэлтийн гүн алгуур нэмэгдэж байгаа ч хамгийн ихдээ Монгол орны цэвдэгт бүс нутгийн өмнөд захад Эрдэнэ сумын нутагт 8 м хүрдэг [10]. Бидний хэмжилтээр зарим зам, замын байгууламжийн орчимд цэвдэгтэй газар 8 м-ээс ч илүү гүнд цэвдэг илрээгүй нь гадаргын байгалийн нөхцөлийг өөрчилж, хөрс хуулж жил өнжөөх, далан барих зэргээс үүдэн цэвдгийн гэсэлтийг эрчимжүүлж байна гэж бид дүгнэлээ. Мөн хэмжилт хийсэн бүх л талбайд замын далангийн доор ямар нэгэн хэмжээгээр гэсэж эхэлсэн болохыг тогтоолоо.

#### Термосифоны туршилтын үр дүн

Бидний хийсэн туршилтын үр дүнгээс харахад өвлийн улирлын агаарын дундаж температур -16.8°C, өвлийн үргэлжлэх хугацаа 5328 цаг байхад, 8 м урттай 0.052 м диаметртэй термосифон хоолойн хөлдөөх радиус  $r_m = 1.0$  м, хүйтэн бүтээмж хүйтэн бүтээмж  $P = 6273$  кВт гарсан. Байгаль дээр туршсан термосифон хоолойн тодорхой түвшнүүд дэх температурын хэлбэлзлийг үзүүлэв(График 1).

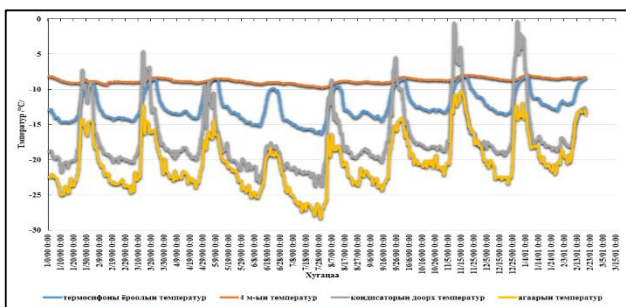


График 1. Термосифоны хэмжилтийн үр дүн

Дээрх үр дүнгээс харахад өвлийн улиралд агаарын температур өдөртөө дунджаар -10°C-аас

-15°C, шөнөдөө -20°C-аас 28°C хэлбэлзэж байхад 4 м-ийн гүнд хөрсний температур (улбар шар өнгөтэй муруй) тогтмол байгаа нь 1-р графикаас харагдаж байна. Харин термосифон хоолой ажиллаж эхлэхэд газрын гүнд агаарын хүйтнийг маш сайн дамжуулж байсан. Жишээлбэл конденсаторын доорх температур (саарал өнгөтэй муруй) нь агаарын температураас (шар өнгөтэй муруй) шууд хамаарч хэлбэлзэж байхад 4 м-ийн гүнд (цэнхэр өнгөтэй муруй) агаарын хүйтнийг маш сайтар дамжуулж -10°C-аас -15°C-аар хөрсийг хөлдөөж байсан.

#### ДҮГНЭЛТ

Цэвдэгт бүс нутгийн авто замын төлөвлөлт, зураг төсөл, гүйцэтгэлийн ажилд цэвдгийн нөхцөлийг огт тооцоогүй нь тодорхой байна. Авто замын далангийн доорх цэвдэг тодорхой хэмжээгээр гэссэн нь хэмжилтээр тогтоогдсон. Далангийн доорх цэвдэг гэссэнээс замын материалд деформац, суулт үүссэн байна. Замын далангийн доорх гэсэлт зарим хэсэгт 10 м-ээс гүн байна. Замын далангийн материалд үүссэх деформац, суултын хэмжээ зам баригдсанаас хойш 2-3 жилийн дараа зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс их болж байна. Цэвдэгтэй бүс нутагт барьсан замын далан байгууламжийн эвдрэлийг засахад ихээхэн зардал гаргаж байна. Иймээс дулааны хоолой гэх мэт замын эвдрэлээс хамгаалах бусад орны арга туршлагыг туршсан судалгааны үр дүнг зам барьж байгуулахад анхаарч үзвэл улс орны эдийн засагт тус дэмтэй ажил болно.

#### ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажилд оролцсон ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн хүрээлэнгийн Цэвдэг судлалын салбарын эрдэм шинжилгээний ажилтнууддаа талархал илэрхийлье.

#### 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 8 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] Н.Шархүү, С.Жамсран, Д.Лувсандагва, Т.Рагчаа, *Монгол орны олон жилийн цэвдгийн үндсэн шинж*, Улаанбаатар хот, 1975
- [9] M.H.Loke, *2-D and 3-D electrical imaging surveys*, 2015
- [10] Я.Жамбалжав, Т.Ванчиг, Д.Баттогтох, А.Саруулзаяа, А.Дашцэрэн, ба бусад, *Монгол орны цэвдгийн урт хугацааны мониторинг судалгаа, сэдэвт ажлын эрдэм шинжилгээний тайлан*, ШУА, Газарзүйн хүрээлэн, 2013