

# ЦЭВДЭГТЭЙ БҮС НУТАГТ БАРИГДСАН АВТО ЗАМЫН ХИЙЦ, ТЕХНОЛОГИЙН ШИЙДЛҮҮД БА МОНГОЛ ОРНЫ НӨХЦӨЛД АШИГЛАХ НЬ

А.Саруулзаяа<sup>1</sup>, Я.Жамбалжав<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Монгол улс, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн

[saruulzaya@gmail.com](mailto:saruulzaya@gmail.com), [jambaljav@gmail.com](mailto:jambaljav@gmail.com)

## Хураангуй

Уур амьсгалын өөрчлөлтийн нөлөөгөөр дэлхийн бөмбөрцөгийн хойт хагаст тархсан мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй бүсэд цэвдгийн алдрал эрчимтэй явагдаж, тухайн газарт баригдсан хатуу хучилттай замын байгууламжид суулт, деформаци ихээр үүсэж байна. Иймд цэвдэгтэй бүс нутагт уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицсон хийц, технологиор хатуу хучилттай замын байгууламжийг барих нь инженерүүд болон эрдэмтэн судлаачдын анхаарах гол асуудлын нэг болоод байна. Цэвдэгт бүсэд хатуу хучилттай замын даланг тогтвортой байлгах инженерийн олон шийдлүүд байдаг. Эдгээр инженерийн шийдлүүд нь цэвдэг хөрсөнд очих дулааны нөлөөллийг бууруулах үйлчлэлээр нь идвэхтэйгээс идвэхгүй хөлдөөгч аргуудыг ашигладаг. Үүнд термосифонтой, хоолоотой, чулуун дүүргэвчтэй, сүүдэрлэгчтэй болон дулаан тусгаарлагчтай далангууд багтдаг. Монгол орны цэвдэгтэй бүсийг дайран өнгөрч буй хатуу хучилттай замын дагуу цэвдгийн гэсэлтээс үүдэлтэй суулт, деформациуд даланд ихээр үүссэн нь тогтоогдсон. Иймд цэвдэгтэй бүсэд баригдсан хатуу хучилттай замын даланг тогтвортой байлгахын тулд бид Монгол орны нөхцөлд байгаль дээр хүйтний хоолой хийж туршсан.

**Түлхүүр үг:** цэвдэг, замын далан, деформаци, термосифон.

## 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 tin 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.*

**Key words:** permafrost, road embankment, deformation, thermosiphon.

---

<sup>1</sup>А.Саруулзаяа, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн, ЭША, Доктор (Ph.D), Инженерийн цэвдэг судлал, Цэвдэг судлалын салбар

<sup>1</sup>Я.Жамбалжав, ШУА-ийн Газарзүй-Геоэкологийн Хүрээлэн, ЭШТА, Доктор (Ph.D), Цэвдэг судлал, Цэвдэг судлалын салбар

## Удиртгал

Цэвдэг нь дэлхийн бөмбөрцөгийн хуурай газрын 20-25%-ийг эзэлдэг [French, 2007] бөгөөд 48 улс орны газар нутагт ямар нэг хэмжээгээр тархсан байдаг. Энэ нь нийт цэвдэгт бүс нутгийн 95 орчим хувь нь 5 улсын газар нутагт ноогддог [Zhang et al., 2006]. Үүнд ОХУ, Канад, Хятад, АНУ зэрэг орнуудын дараа Монгол орон цэвдгийн тархалтаараа тавдугаарт ордог ба нийт нутаг дэвсгэрийн 29.3%-ийг эзэлдэг [Я.Жамбалжав нар, 2016]. Уур амьсгалын өөрчлөлт болон хүний хүчин зүйлийн нөлөөгөөр мөсжилт ихтэй, дулаан цэвдэг ( $-2^{\circ}\text{C}$ -ээс дээш температуртай)-тэй бүсэд цэвдгийн алдрал эрчимтэй явагдаж, тухайн газарт баригдсан хатуу хучилттай зам, замын байгууламжид суулт, деформаци ихээр үүсэж байна [Ferrell, 2010; Zheng et al., 2010].

Сүүлийн үеийн судалгаагаар дэлхийн бөмбөрцөгийн хойт хагаст жилийн дундаж агаарын температур 2100 он гэхэд  $2.6^{\circ}\text{C}$  -  $4.8^{\circ}\text{C}$ -ээр өснө гэж таамаглал дэвшүүлсэн [IPCC, 2013]. Үүнээс гадна уур амьсгалын дулаарлын нөлөөгөөр бүс нутгийн болон тив, дэлхийн хэмжээнд цэвдгийн алдралын ирээдүйн өөрчлөлтийг эрдэмтэн судлаач нар мөн тогтоосон. Жишээлбэл 2100 он гэхэд АНУ-ын Аляска, БНХАУ-ын Төвдийн Тэгш Өндөрлөгийн хэмжээнд нийт цэвдэгт бүс нутгийн 50%-иас илүү нь алдралд орох бол ОХУ-ын Дорнод Сибирийн цэвдгийн 25% хүртэлх хувь нь алдралд орно гэж төсөөлсөн байдаг [Я.Жамбалжав, 2017]. Иймд тухайн цэвдэгтэй бүс нутагт уур амьсгалын өөрчлөлтөд дасан зохицсон хийц, технологиор хатуу хучилттай замын байгууламжийг барих нь цэвдгийн инженерүүд болон эрдэмтэн судлаачдын анхаарах гол асуудлын нэг болоод байна.

Цэвдгийн тархалттай бүс нутагт замын эвдрэлд 2 чухал хүчин зүйлийг тооцож үзээгүйн улмаас эвдрэлд ордог.

- Цэвдгийн дээд хилийг хөдөлгөөнгүй байгалийн нөхцөлд байлгах нь хамгийн чухал үзүүлэлт юм. Мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй газарт зам барихад тухайн засмын байгууламж доорх цэвдгийн дээд хилийг байгалийн нөхцлөөр нь хадгалан, хэвийн хэмжээнд байлгахаар тооцон барих шаардлагатай.

- Газрын доороос хөрсний ус дээшээ гарч ирхэд мөсөн линзүүд үүсдэг бөгөөд өвлийн нөхцөлд овойлт үүсэж ан цав үүсгэх гол шалтгаан болдог. Энэ үзэгдэл нь ерөнхийдөө хөрсний усны миграц буюу микро овойлт, суулт үүсэх үзэгдэл юм.

Цэвдэгтэй бүс нутагт зам, замын байгууламжийг дээрх нөхцлийг харгалзан үзэлгүйгээр төлөвлөн барьснаар ямарч бат бөх чанартай зам барьсан эвдрэл явагдах гол шалтгаан болдог. Сибир, Аляска, Канад болон Төвдийн цэвдэгт бүсэд инженерүүд-судлаачдын хамтарсан багууд нэгдэж зам, замын байгууламжийг уур амьсгалын өөрчлөлтөнд дасан зохицсон хийц, технологийн олон янзын шийдлүүдийг өргөн ашиглаж чанартай, бат бөх, олон жилийн ашиглалттай, даацын тэсвэртэй инженерийн байгууламжийн оновчтой шийдлүүдийг дэвшүүлж, онол-практикт нэвтрүүлсэн олон сайн туршлага байдаг бөгөөд цэвдэгт бүсэд тулгамдаж буй инженерийн байгууламжийн асуудлаа шийдвэрлэж чадсан. Эдгээр инженерийн шийдлүүд нь цэвдэг хөрсөнд үзүүлэх дулаан, техникийн нөлөөллийг бууруулах үйлчлэлээр нь идвэхтэйгээс (active method) идвэхгүй (passive method) хөлдөөгч аргууд гэж ангилдаг [Ferrell, 2010]. Дээрх аргуудыг Зураг 1-д үзүүлэв. Үүнд: термосифонтой далан, хоолоотой далан, чулуун дүүргэвчтэй далан, сүүдэрлэгчтэй далан, дулаан тусгаарлагчтай далан гэх мэт ангилдаг.

Харин монгол орны хувьд уур амьсгалын өөрчлөлт дэлхийн дунджаас илүү эрчимтэй явагдаж байгаа нь нэгэнт тодорхой болсон [MARCC, 2014]. Монгол орны цэвдэгтэй бүсэд баригдсан хатуу хучилттай замын дагуу цэвдгийн гэсэлтээс үүдэлтэй суулт, деформациуд замын даланд (ихэвчлэн намхан далан) ихээр үүсэж байна [Saruulzaya et al., 2018]. Иймд цэвдэгтэй бүсэд баригдсан хатуу хучилттай замын даланд үүсэж буй эвдрэл, деформацийг бууруулж, түүнээс урьдчилан сэргийлхийн тулд энэхүү судалгаагаар дээрх инженерийн оновчтой шийдлүүдээс тохиромжтой аргыг Монгол оронд туршин, нутагшуулахыг зорьсон.

Термосифонтой далан



Хоолойтой далан



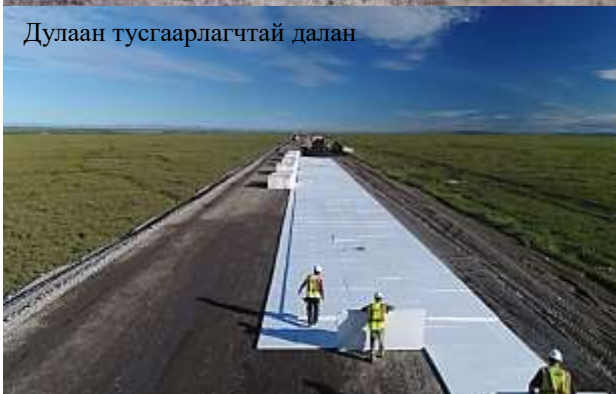
Чулуун дүүргэвчтэй далан



Сүүдэрлэгчтэй далан



Дулаан тусгаарлагчтай далан



Дулаан тусгаарлагчтай далан



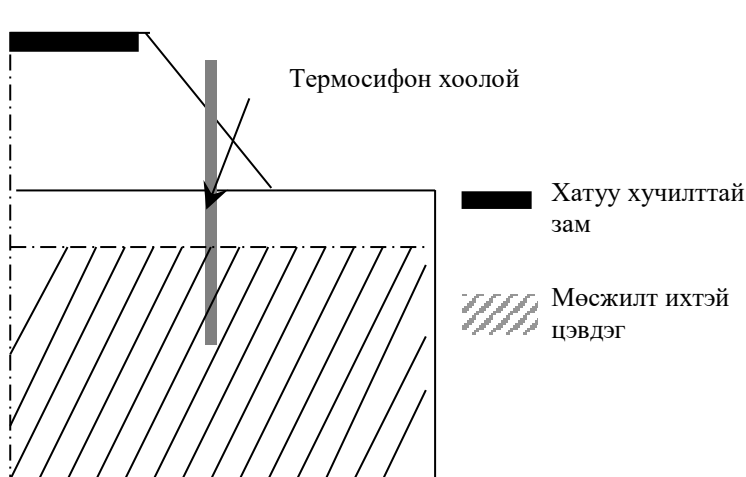
*Зураг 1. Цэвдэгтэй бүсэд барих замын далангийн оновчтой шийдэлүүд*

## Судалгааны аргазүй

Энэхүү судалгаанд бид мөсжилт ихтэй цэвдэгтэй газруудад барьсан замын даланд элбэг хэрэглэдэг аргын нэг болох термосифоныг замын далан болон далангийн доод ул хөрсийг хөргөх зорилгоор монгол орны нөхцөлд 2017 оны 12 сараас эхлэн туршиж байна (Зураг 2). Энэ аргыг цэвдэгтэй улс орнууд өргөн хэрэглэдэг бөгөөд замын далангийн хоёр талаар байрлуулж, далангийн доод ул хөрсийг хөргөж цэвдгийн температурыг тогтмол байлгадаг төхөөрөмж юм [Саруулзаяа, 2014].

## 1. Термосифон хоолой

Термосифон хоолойг цэвдгийн мөсжилт 80%-иас 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 байдгаараа 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 2. Замын далан болон далангийн доод ул хөрсийг термосифон ашиглан хөлдөөх ерөнхий схем болон байгалийн нөхцөлд туршиж буй термосифон**

Термосифон хоолойн ажиллах зарчмын хамгийн гол үзүүлэлт нь хоолойг цэнэглэсэн ажлын шингэний буцлах температураас хамаардаг. Хөрсөнд хүйтэн хуримтлуулахын тулд нам температурт буцалдаг ажлын шингэн (аммиак, фреон г.м)-ээр 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 чадснаар далангийн хэв гажилтийг бий болгодгүйгээр давуу талтай. Бид байгалийн нөхцөлд туршсан термосифон хоолойг фреоноор цэнэглэсэн бөгөөд хоолойн хүйтэн бүтээмж, хөлдөөх радиусыг Л.Н. Хрусталевын [1990] арга зүйгээр тодорхойлсон (Томьёо 1-2).

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

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

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

$\tau_u$  - хоолойн диаметр, м.

Термосифон хоолойн хүйтэн бүтээмжийг 2 томьёогоор тооцоно.

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

Энд,  $\Pi$  - хоолойн хүйтэн бүтээмж, кВт.

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

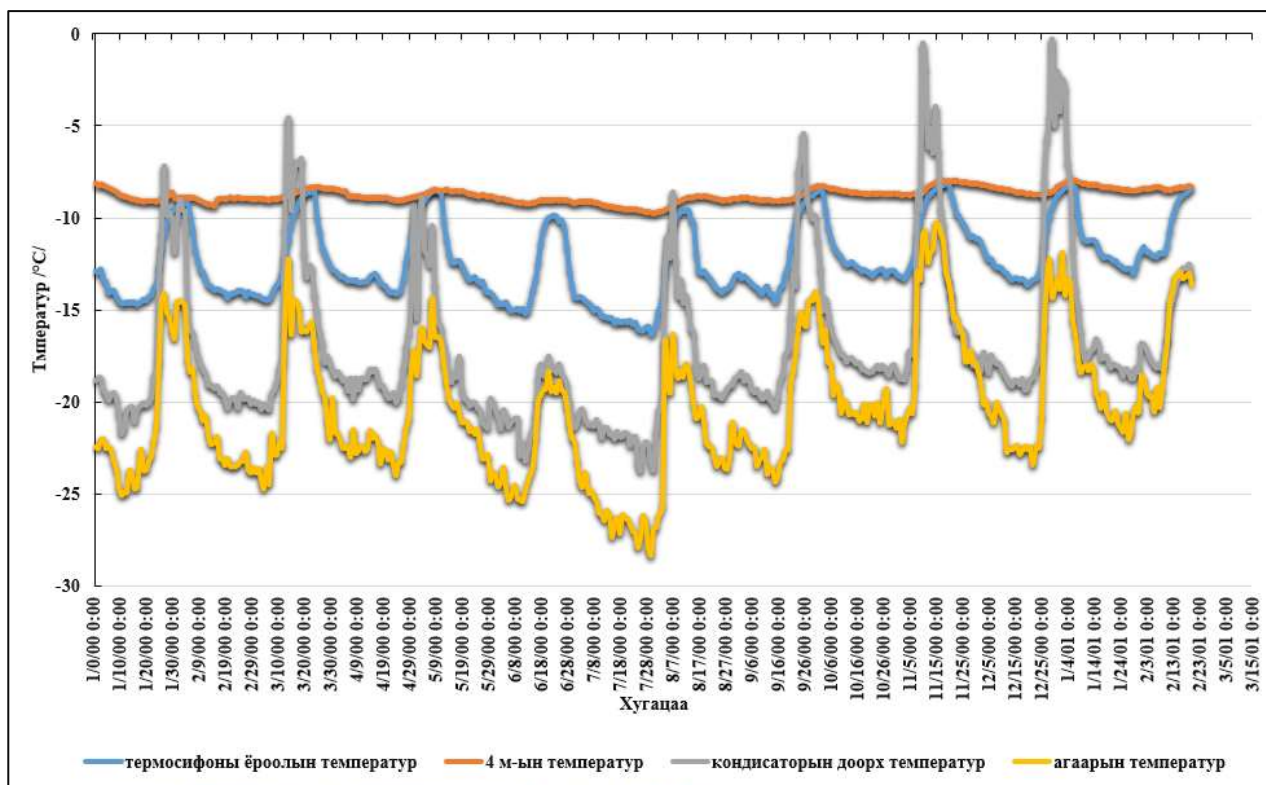
$\tau^*$  - хөрс хөлдөөхөд зарцуулагдах хугацаа, цаг.

Байгаль дээр 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 хэмжсэнээр гадаргуу орчин хоёрын хоорондох дулаан солилцоог тодорхойлох боломжтой болно. Хөрсрүү өгөгдөх дулааны урсгалыг хэмжих зорилгоор тодорхой гүнүүдэд температур хэмжих дата логерууд байрлуулж байнгийн хэмжилт хийсэн.

### Судалгааны үр дүн

Бидний хийсэн туршилтын үр дүнгээс харахад өвлийн улирлын агаарын дундаж температур  $-16.8^{\circ}\text{C}$ , өвлийн үргэлжлэх хугацаа 5328 цаг байхад, 8м урттай 0.052 м диаметртэй термосифон хоолойн хөлдөөх радиус  $\tau_m=1.0$  м, хүйтэн бүтээмж хүйтэн бүтээмж  $\Pi=6273$  кВт гарсан. График 1-д байгаль дээр туршсан термосифон хоолойн тодорхой түвшнүүд дэх температурын хэлбэлзлийг үзүүлэв.





**График 1. Байгалийн нөхцөлд туршсан термосифон хоолойн температурын муруй**

Дээрх үр дүнгээс харахад өвлийн улиралд агаарын температур өдөртөө дунджаар  $-10^{\circ}\text{C}$ -аас  $-15^{\circ}\text{C}$ , шөнөдөө  $-20^{\circ}\text{C}$ -аас  $28^{\circ}\text{C}$  хэлбэлзэж байхад 4м-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 сайн дамжуулж  $-10^{\circ}\text{C}$ -аас  $-15^{\circ}\text{C}$ -аар хөрсийг хөлдөөж байсан.

### Дүгнэлт

Хасах температуртай, урт үргэлжилсэн өвлийн улиралтай, цэвдгийн тархалттай Монгол орны нөхцөлд замын даланд термосифон хоолойг ашиглаж хөрсөнд зохиомол хүйтэн хуримтлуулж болох нь

энэхүү туршилтын үр дүнгээс тодорхой харагдаж байна.

1. Өвлийн үргэлжлэх хугацаа дунджаар 5328 цаг байхад 8 м урттай,  $P=6273$  кВт хүйтэн бүтээмжтэй термосифон хоолой нь туршилтын хугацаанд  $\tau_m=1$  м радиусаар хөрсийг хөлдөөж байгаа нь туршилтын үр дүнгээр тогтоогдсон. Энэ нь байгаль дээр термосифон хоолой нь богино хугацаанд хүйтнийг хуримтлуулж байгааг нотлож чадлаа.
2. Зам нь маш өндөр өртөгтэй байгууламж бөгөөд 1 км зам тавихад дунджаар 1 тэрбум төгрөгийн зардал, зам баригдаж дууссаны дараах урсгал зардал гэх мэт зардлууд нэмэгддэг. Цэвдэгт бүсэд зам тавьхад ашигладаг орчин үеийн дэвшилтэт арга, технологийг Монгол орны нөхцөлд нутагшуулан, одоо барихаар төлөвлөж буй, баригдсан замуудад ашиглах бүрэн боломжтой бөгөөд энэ нь ашиглалтын хугацаа урт, эвдрэл, дэржигнүүрийг бууруулж, зардал хэмнэх эдийн засгийн чухал ач холбогдолтой болно.

## **НОМ ЗҮЙ**

### **I. Монгол хэл дээр хэвлэгдсэн зохиол бүтээл**

1. Жамбалжав Я, Гансүх Я, Тэмүүжин Х, Цогт-Эрдэнэ Г, Ундрахцэцэг Ц, Саруулзаяа А, Амарбаясгалан Ё, Дашцэрэн А, Нарангэрэл Ш, "Монгол орны цэвдгийн тархалтын зураг, масштаб 1:1000 000". ЭШТ, 2016 он. 1-95 х.
2. Жамбалжав Я. "Монгол орны цэвдгийн тархалт, өөрчлөлт". УБ: Колорфул ХХК, 2016 он. 1-80 х.
3. Саруулзаяа А, Жамбалжав Я. "Авто замын эвдрэлд цэвдгийн үзүүлэх нөлөөлөл ба түүнийг шийдвэрлэх аргууд". 2014 он. АЗХ, Авто зам сэтгүүл №15, 24-31 х.

### **II. Гадаад хэлээр хэвлэгдсэн зохиол бүтээл**

#### **2.1 Орос хэл дээр хэвлэгдсэн зохиол бүтээл**

1. Хрусталева Л.Н, Емельянова Л.В, "Инженерная геокриология". Москва, 1990 г.

#### **2.2 Англи хэл дээр хэвлэгдсэн зохиол бүтээл**

1. Hugh M. French, 2007. "The Periglacial Environment", Third Edition, The University of Ottawa, John Wiley & Sons, Ltd. 1-401 pp.
2. Tingjun Zhang, Mark A. Parsons, and Roger G. Barry., 2006. "Statistics of Global Permafrost Distribution", Proceedings of Asian Conference on Permafrost, August 7-9, 2006, Lanzhou, China. 152-158 pp.
3. Shane M. Ferrell, 2010. "Rail Embankment Stabilization on Permafrost - Global Experiences", Report of Civil/Railroad Designer Hanson Professional Services. 1-25 pp.
4. 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.
5. Saruulzaya A, Jambaljav Ya, Gansukh Ya, Tsogt-Erdene G, 2018. "High-resolution

*Electrical Resistivity Tomography (ERT) measurements along paved roads in permafrost regions of Mongolia", Proceedings of the Fifth European Conference on the Permafrost, Chamonix, Mont Blanc, 23 June - 1 July 2018. (Accepted).*

