

# Assessment of detection capability of Mongolian seismic station

Bayaraa Jargalsaikhan<sup>1\*</sup>, Ulziibat Munkhuu<sup>1</sup>, and Nomuun Narantsogt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

\*bayaraa@iag.ac.mn,

Received: 2024-10-23, Accepted: 2024-11-20, <https://doi.org/10.5564/mjag.v11i1.4190>

## Abstract

Assessing the sensitivity of Mongolia's seismic stations and determining the minimum threshold for earthquake detection provide essential information for researchers. To evaluate the detection capacity of these stations, each station calculates its self-noise level using the 90th percentile value of the probability density function (PDF) of the power spectral density (PSD), based on data acquired between January 2018 and May 2021. To simulate earthquake detection in Mongolia, we implemented a grid where each point represents an earthquake epicenter. These points are spaced at 10 km intervals. The detection of a seismic wave is determined based on an amplitude attenuated by distance, which must be at least three times higher than the self-noise level of the station. For a point to be considered detectable, at least four stations must register the seismic wave under these conditions. Using these criteria, a detection capability map is generated to assess the overall detection capacity of the network. From the resulting analysis, it can be concluded that the seismic network in Mongolia is capable of detecting earthquakes with a magnitude of 1.8 across the country. In the western and central regions, where station density and sensitivity are higher, the network can detect seismic events as small as magnitude 1.4.

**Keywords:** Power spectral density, Epicenter, Fourier transform

## 1. Удиртгал

Газар хөдлөлт бүртгэх (ГХБ) станцын тоог нэмэгдүүлэх нь газар хөдлөлийн идэвхжилт ба горим, ерөнхий сейсмшил, хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын механизмыг тодорхойлоход ач холбогдолтой (Bormann & Wendt, 2012).

Сүүлийн 10 жилд Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн (ООГХ), Монгол орны засгийн газартай хамтарч хэд хэдэн станцуудыг маш эрчимтэйгээр байгуулсан. 2013 онд Улаанбаатар хот орчимд Улаанбаатар хотын геофизикийн хяналтын 16 ширхэг өргөн зурвасын станцууд, 2014 онд Сэлэнгэ аймагт, Дундговь аймгийн Сайнцагаан суманд, Баянхонгор аймгийн Богд суманд, 2015 онд Улаанбаатар хотын газар

хөдлөлтийн гамшгаас амжиж анхааруулах хөрсний хурдатгал бичигч хийт 12 станцаас бүрдсэн 3 идэвхтэй хагарал дээр, 2016 онд Хэнтий аймгийн Галшар сум, 2017 онд зүүн 3 аймагт, 2018 онд баруун аймагт 5 ширхэг богино зурвасын станцууд, 2019 онд Говь-Алтайн аймгийн Баян-Уул суманд, 2022 онд Хөвсгөл аймгийн Цагааннуур суманд, 2023 оны 1 сард Өмнөговь аймгийн Гурвантэс суманд тус тус суурилуулсан. Эдгээр станцуудыг мэдээллийг шууд үүрэн холбооны 4G, сансрын антены тусламжтайгаар ООГХ дээр хүлээн авч боловсруулалт хийж байна. Мэдээж станцуудыг олноор суурилуулах нь газар хөдлөлтийг хаана, хэзээ, ямар хүчтэй хөдөлсөн гэдгийн хурдан мэдэж,

цаашид шуурхай арга хэмжээ авах боломжийг олгодог. ГХБ станцыг шинээр суурилуулахад газар хэд хэдэн урьдчилсан ажилууд хийгддэг. Үүнд сейсмо-геологийн нөхцөл, хүний үйл ажиллагаанаас үүсэх сейсмик шумаас хол, мэдээлэл дамжуулах сүлжээтэй байх, хүрч ажиллахад хялбар байх мөн байнгын манаачтай байх гэх мэт олон шалтгааныг урьдчилан судалснаар олж тогтоодог (Bormann & Wendt, 2012) ГХБ станц нь байгуулахад өртөг өндөртэй нарийн бүтэцтэй сейсмометр, тоон хөрвүүлэгч худалдан авах, гаднын нөлөөнөөс хамгаалагдсан аюулгүй нүхэн байр бэлдэх, тогтмол засвар үйлчилгээ хийх гэх мэт санхүүгийн зардлыг ихээр шаарддаг тул станцуудыг олон тоогоор суурилуулахад боломгүй юм. Иймд бага магнитудтай хөдлөлийг бүртгэж авахад шаардлагатай станцын байрлалыг тодорхойлох энэхүү судалгааны ажлын үр дүнгээс гарах боломжтой.

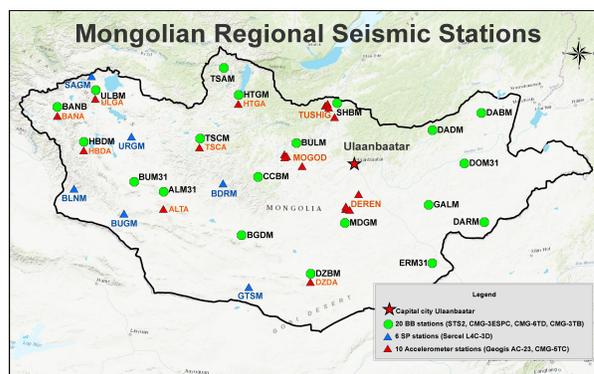
### 1.1. Судалгааны ажлын зорилго

Энэхүү судалгааны ажлын зорилго нь хэр бага магнитудтай хөдлөлтүүдийг Монгол орны хэмжээнд бүртгэж авч байгааг зураглан гаргаж түүн дээрээ үнэлгээ хийх явдал юм.

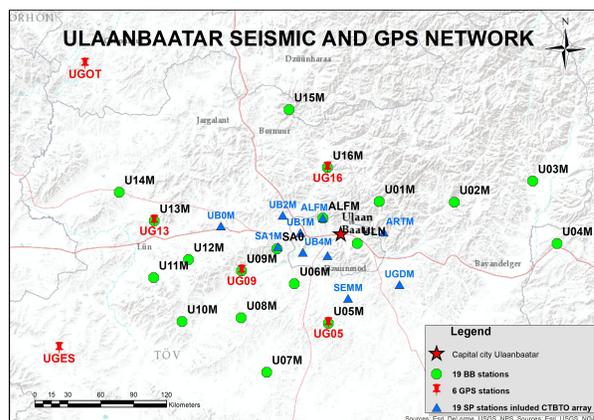
Анхны фото бичлэг бүхий аналог ГХБ станц 1957 онд Улаанбаатар хотод байгуулснаас хойш 10 аймгийн төвд 1998 хүртэл байгуулсан байдаг. Монгол орны хэмжээнд аналог станцын хувьд 1990 оны байдлаар магнитуд 3.5-аас 4-тай хөдлөлийг бүртгэж авах боломжтой гэж тооцоолсон байдаг. ГХБ тоон бичлэгтэй станц нь 1994 оноос хойш суурилуулсан байдаг ба үүнээс хойш анх удаа тус судалгааны ажлыг хийж байна. Монгол орны газар хөдлөлийн станцуудын тархалтын зураг 2024 оны 4 сарын байдлаар Зураг.1 – т харуулав. Улаанбаатар хот орчмын газар хөдлөлийн станцуудын тархалтын Зураг.2 – т харуулав.

## 2. Станцын хувийн мэдрэх чадварын тооцоолол

Станцын хувийн мэдрэх чадварыг тухайн сонирхсон давтамж дээр далайцаар нь тооцоолж гаргахад олон жилээр зурсан тус станцын чадлын спектрын нягтралын McNamara & Boaz (2006) тооцоонд ашигладаг. Монгол орны хэм-



Зураг 1. 2024 оны байдлаар Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн харьяанд ажиллаж байгаа газар хөдлөл бүртгэх станцууд. Үүнд орон нутагт өргөн зурвасын 20 станц, богино үет 6 станц, сүлжээ станц 5 станц.



Зураг 2. Улаанбаатар хот орчмын газар хөдлөл бүртгэх станцын байрлалын зураг Үүнд өргөн зурвасын 19 станц, богино үет 19 станц.

жээнд бүх газар хөдлөл бүртгэх станцуудын нийт тоо 114, станцын сувгийн нийлбэр тоо 242, мөн босоо суваг нь 114 байна. ГХБ станц болгоны газар хөдлөлт мэдрэх чадварыг тодорхойлохдоо 2018 оны 1 сарын 1-ээс 2021 оны 5 сарын 12-ны хоорондох станцуудын босоо байгуулагчийн сигналыг цаг тутамд хурдан Фурье хувиргалт Cooley & Tukey (1965)-ын аргаар чадлын спектрын нягтын муруйг байгуулав. Ойролцоогоор нэг ГХБ станц 75000 ширхэг хүртэл чадлын спектрын муруйг давхцуулсан ба нягтралын магадлалын функцийг 90 хувь дэх утгыг сонирхсон давтамж дээр авч ашиглав. Тус утга ГХБ станцад гадны шуугианыг нөлөөллийг оруулж байгаа болно. Давхцалын магадлалын утгын хувийг баруун

баганад харуулав. Зураг.3-т станцын спектруудын давхцал магадлал 30 хүртэл хувь хүрсэн бол улаан өнгөөр харуулав.

Орон нутгийн станцуудаас (Зураг.1) жишээ болгон Баян-Өлгий аймгийн BANB, Дорнод аймгийн Хөлөнбуйр сумын DOM31, Хөвсгөл аймгийн Хатгал сумын НТГВ, төвийн хэсэгт Архангай аймгийн ССВМ, Өмнөговь аймгийн DZBM станцуудын чадлын спектрын нягтын магадлалын функцийг (McNamara & Boaz, 2010) зургийг .3-т харуулав.

Зурагт тархалтын магадлалын функцийг моод (хар зураас), 90%-дэх утгыг тасралтай цагаан, саарал зураасаар Петерсоны хамгийн бага болон их сейсмик шуугианыг (Bormann & Wendt, 2012) зураасаар харуулсан байна. Ихэнх ойрын газар хөдлөлийн хамгийн өндөр далайц өгөх давтамж нь 2-10Гц байдаг (Demuth et al., 2016). Ойрын хөдлөлтийн сонирхсон давтамж дахь децибелээр илэрхийлсэн утгыг сигналын далайцын утга руу хувиргах хэрэгтэй. Ингэхдээ децибелийн утгыг эхлээд сигналын хурдатгалын чадлаар тооцоолоход доорх Тэг.1 ашиглана (Havskov, 2006).

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P_a}{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2 / Hz} \quad (1)$$

Үүнд dB -децибел,  $P_a$  сигналын хурдатгалын чадал. Хурдатгалын сигналын чадлыг шилжилтийн чадал руу шилжүүлэхэд Тэг.2 , Тэг.3 (Havskov, 2006)

$$P_d = \frac{P_a}{(2\pi f_0)^4} \quad (2)$$

Үүнд  $P_d$  сигналын шилжилтийн чадал.

$$d_{RMS} = \int_{f_1}^{f_2} P(\omega) df \approx \sqrt{P_d(f_2 - f_1)} \quad (3)$$

Үүнд  $d_{RMS}$  дундаж квадрат далайц. Энэ Parseval-ийн томъёогоор чадлын нягтын спектрээс дундаж квадрат далайцыг  $d_{RMS}$  Тэг.3 томъёогоор олж болдог (Havskov, 2006).

$$d_{ap} = 1.25 \cdot d_{RMS} \quad (4)$$

Нэг октав фильтрээр авсан сейсмик сигналын ( $d_{RMS}$ ) дундаж квадрат далайц нь Гауссын тархалттай байдаг тул хамгийн их амплитуд ( $d_{ap}$ )

нь ойролцоогоор 1.25 дахин их байдаг (Peterson, 1993).

$$d_{ap} = 1.25 \cdot \sqrt{P_d(f_2 - f_1)} \quad (5)$$

Шилжилтийн далайцын хамгийн их утгыг Möllhoff et al. (2019) -р

$$d \approx 3 \cdot d_{ap} = \frac{3.75}{(2\pi f_0)^2} \cdot \sqrt{P_d \cdot (f_2 - f_1)} \quad (6)$$

Үүнд  $d$  станцын хувийн шумын сигналын далайц. Дээрх томъёо нь Тэг.6 чадлын нягтын спектрээс авсан утгыг авч ашиглахад дундаж хамгийн их далайц ( $d_{ap}$ ) нь тухайн авсан цонхны хамгийн их амплитудаас ойролцоогоор 3 дахин бага байсан учраас 3-аар дахин ихэсгэж авна. Сонирхсон давтамж нь  $f_0 = 2$  бөгөөд  $n = 0.5$  хагас октаваар  $f_1$  болон  $f_2$  доорх томъёогоор Тэг.7 тооцоололд оруулав.

$$f_1 = f_0 \cdot 2^{-\frac{n}{2}}, \quad f_2 = f_0 \cdot 2^{\frac{n}{2}} \quad (7)$$

Жишээ дээрх томъёогоор Тэг.6 Баян-Өлгий аймгийн BANB станцын далайц тооцоолоход Зураг.4 – т үзүүлснээр 2Гц дээрх утга -144Дб байв.

$$d \approx \frac{3.75}{2 \cdot \pi \cdot 2} \sqrt{10^{-\frac{144}{10}} \cdot 2(2^{\frac{0.5}{2}} - 2^{-\frac{0.5}{2}}) 10^9} = 1.25058 \quad (8)$$

Дээрх томъёогоор Тэг.8 Монгол оронд ажиллаж байгаа станцуудыг хувийн шуугианыг тооцоолж доорх Хүснэгт.1 үзүүлэв. Станцын хувийн шуугиан нь суурилуулсан газрын салхины түвшин, сейсмо-геологийн нөхцөл, топограф, тухайн газар нутгийн сейсмо шуугиан, усны урсац, цаг агаарын нөхцөл, станцын нүхэн байрны дэд бүтэц, болон сейсмометрын өөрийн мэдрэх чадваруудаас шалтгаалдаг.

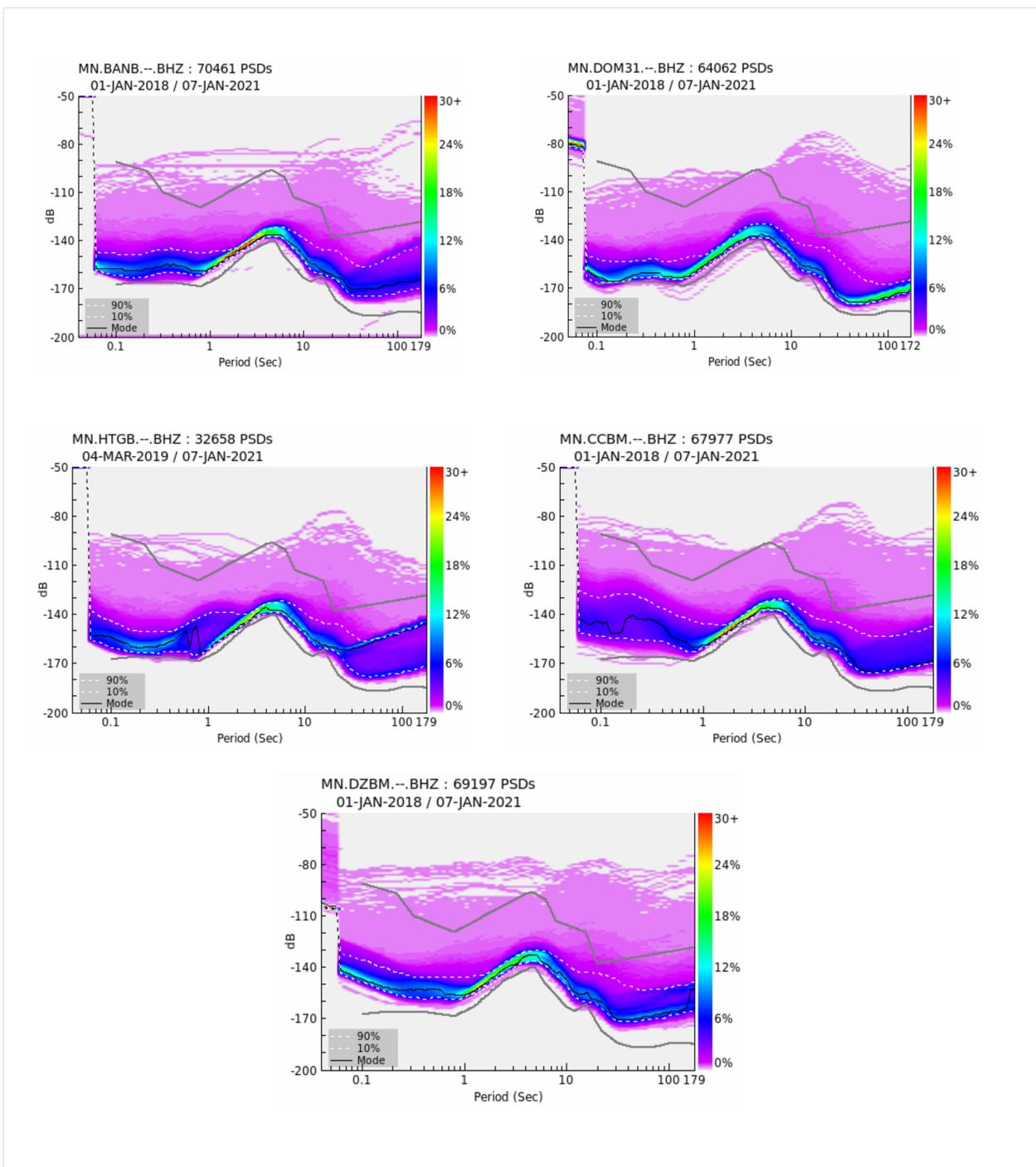
### 3. Загварчлал

Станц болгоны хувийн шумын түвшинг тооцоолсноор доорхи нөхцөлийн дагуу загварчлал хийв.

- Газар хөдлөлтийн далайц зайнаас хамаарч тухайн станц дээр далайц нь хэр хэмжээтэй буурч очихыг тооцоолно.

- Замхралын хууль (Доктор М.Өлзийбат)

$$ML = \log A + 0.816 \log \Delta + 0.00045 \Delta - 1.22$$



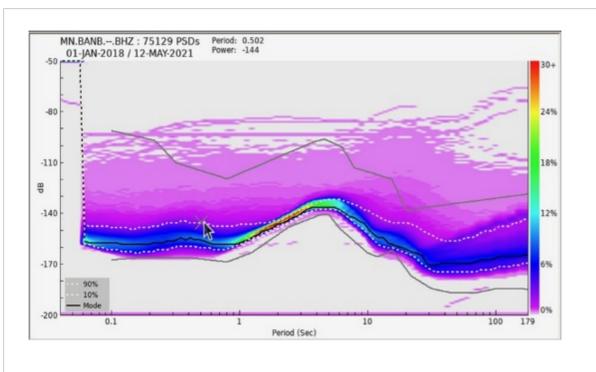
Зураг 3. BANB, DOM31, HTGB, CCBM, DZBM станцуудын босоо байгуулагчийн сигналын магадлалын функцын зургуудыг харуулав. Зураг болгоны баруун талын баганад магадлалын тохиолдох хувийг өнгөөр харуулав.

Δ - Станцаас гакар хөдлөлийн төв хүртэлх зай.

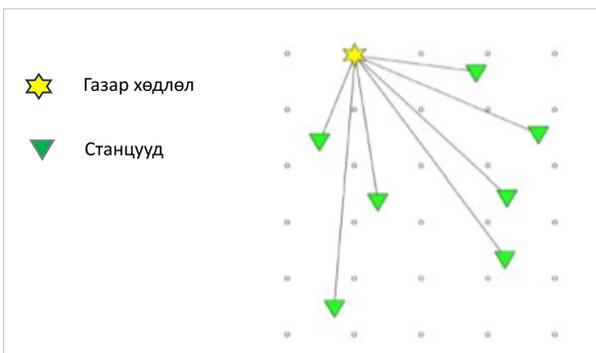
A - газар хөдлөлийн сигналын далайц.

53, уртрагийн 87-оос 122 хооронд 10, 10 км-ээр тор (grid) татаад газар хөдлөлт тухайн цэг дээр магнитудын утга -2-оос дээш 0.1 алхмаар ихэсгэж тооцоолов.

- Монгол орныг оруулаад өргөргийн 41-ээс



Зураг 4. BANB станцын хувьд 2Гц (0.5 сек) дээрх утга -144Дб утгыг сумаар заасан.



Зураг 5. Тор татан газар хөдлөл үүсгэн станцад зайнаас хамаарсан замхралын хууль ашиглан тооцоолсон зураг.

- торын цэг болгоноос ирсэн газар хөдлөлтийн сигналын далайцын утга станцын хувийн шуугианы далайцын утгаас 3 дахин их байх ба хамгийн багадаа 4 станцад бүртгэгдсэн байх үед тухайн цэг дээр газар хөдлөлийг бүртгэнэ гэж үзсэн Зураг. 5.
- Дээрх нөхцөлөөр газар хөдлөлийн цэг болгоны хамгийн бага утгыг авч зураг зохиов Зураг. 6.

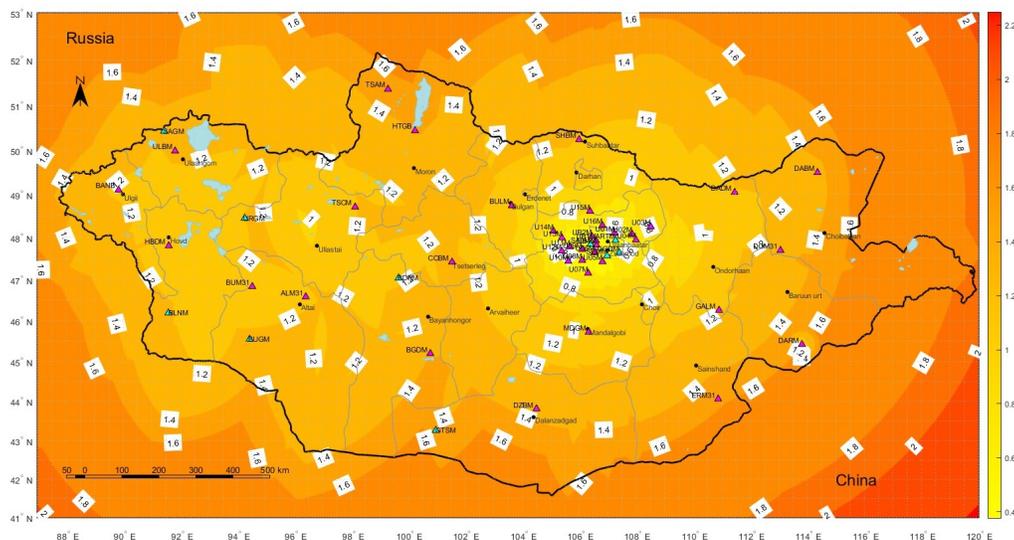
#### 4. Дүгнэлт ба Хэлэлцүүлэг

Нийт уртрагийн хувьд 87 -122, өргөргийн хувьд 41 53 градусын хооронд 3.5 сая км.кв талбай дээр 4204701 цэг дээр газар хөдлөл магнитуд 0.1 алхамтайгаар ихэсгэн загварчлал хийв. Монгол орны хэмжээнд 2022 оны 12 сараас 2024 оны 12 сар хүртэл ажиллаж байсан нийт 52 ширхэг станцын бүртгэх чадвар дээр ашиглан Зураг 6

Хүснэгт 1. Орон нутагт ажиллаж байгаа станцуудын хувийн шуугианы түвшинг нанометрээр үзүүлэв.

Станц	Нанометр	Станц	Нанометр
ALFM	1.403	DARM	7.033
ALM31	0.498	DM031	0.395
ARTM	0.885	DZBM	1.115
BANB	1.251	ERM31	0.627
BDRM	1.251	GALM	0.559
BGDM	0.559	HBDM	0.885
BLNM	0.993	HTGB	0.885
BUGM	0.885	MDGM	1.982
BULM	0.993	SAGM	0.885
BUM31	0.498	SAOM	1.251
CCBM	2.495	SEMM	0.789
DABM	1.403	SHBM	0.789
DADM	1.251	TSAM	0.627
TSCM	0.789	U13M	0.933
U01M	1.403	U14M	0.933
U02M	0.627	U15M	0.627
U03M	0.627	U16M	1.251
U04M	1.251	UB0M	0.885
U05M	1.115	UB1M	3.525
U06M	0.993	UB2M	1.115
U07M	0.627	UB4M	2.800
U08M	0.627	UB5M	1.574
U09M	0.703	UGDM	0.789
U10M	0.627	ULBM	0.789
U11M	1.115	ULN	1.982
U12M	0.993	URGM	0.627

## Монгол орны газар хөдлөлт бүртгэх чадварын зураг



Зураг 6. Монгол орны хэмжээнд магнитуд  $M_l$  1.6-тай хөдлөлийг бүх нутгийн хаана ч болсон бүртгэж авч боловсруулах боломжтой бөгөөд баруун аймгууд болон Улаанбаатар хотод ойрхон төвийн аймгаар магнитуд  $M_l$  1.4-той хөдлөлийг доод тал нь 4 станц бүртгэн авна.

бүтээв. Монгол орны хэмжээнд газар хөдлөл бүртгэх тоон станцууд сүүлийн 30 жилд идэвхтэй нэмэгдсэн ба ялангуяа сүүлийн 10 жилд нэн шаардлагатай газруудад суурилуулсан байдаг. Тус станцуудыг суурилуулснаар Монгол орны хэмжээнд газар хөдлөлийг хэрхэн мэдэрч бүртгэж авч байгааг үнэлэх нь маш чухал юм. Тус үнэлэх ажлыг хийж гүйцэтгэхэд станц болгоны мэдрэх чадварыг 3 жилийн хугацаанд бүртгэж авсан станцын босоо байгуулагчийн чадлын спектрын чадлын нягт болон нягтын магадлалын функцийг тооцоолон мэдрэх чадварыг сигналын далайц нанометрээр хувиргав. Тооцоололд хамгийн байж болох станцын бичлэгийн шумтай үеийн далайц нь газар хөдлөлтөөс замхарч ирсэн далайцаас 3 дахин их сигнал шумын харьцааг аван энэхүү нөхцөлийг хангах хамгийн багадаа 4 станц бүртгэх шаардлагаар авсан нь өндөр шаардлага тавьж байгаа явдал юм.

Монгол орныг бүхэлд нь оруулах талбайд уртраг, өргөргийн дагуу 10 км, 10 км-ын алхамтайгаар зохиомол газар хөдлөл үүсгэн загварчлав. Нийт монгол орны хэмжээнд станцын нягтралаас хамааран баруун болон төвийн хэсгээр  $M_l$  магнитуд 1.4, бүх нутгаар 1.8

магнитуд, Улаанбаатар хот орчмоор 0.6 хүртэл магнитудтай жижиг газар хөдлөл бүртгэх чадвартай гэж дүгнэж байна. Судалгааны ажлын үр дүнд 2023 оны 1 сард GTSM нэртэй станцыг Өмнөговь аймгийн баруун хэсэгт станц шинээр байгуулснаар станцын бүртгэх чадварыг нэмэгдүүлэв. Цаашид тус судалгааны ажлыг үргэлжлүүлэн идэвхтэй хагарлуудын орчимд станц байгуулах цэгийг тодорхойлох боломжтой юм.

## Талархал

Энэхүү өгүүлэл нь зохиогчийн докторын судалгааны ажлын нэг хэсэг бөгөөд ООГХ-ийн Техник, Технологийн лабораторийн болон орон нутгийн инженер, техникийн ажилчдад газар хөдлөл бүртгэх станцын хэвийн ажиллагаанд сэтгэл гарган ажилладагт нь чин сэтгэлээсээ баярлаж явдгаа илэрхийлье.

## Ашигласан номзүй

Bormann, P. & Wendt, S., 2012. Preliminary guidelines for using the iaspei standard magnitude reference data set, in *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*, pp. 1–19, Deutsches GeoForschungsZentrum

GFZ.

- Cooley, J. W. & Tukey, J. W., 1965. An algorithm for the machine calculation of complex fourier series, *Mathematics of computation*, **19**(90), 297–301.
- Demuth, A., Ottemöller, L., & Keers, H., 2016. Ambient noise levels and detection threshold in norway, *Journal of Seismology*, **20**, 889–904.
- Havskov, J., 2006. Geof 270.
- McNamara, D. E. & Boaz, R., 2006. *Seismic noise analysis system using power spectral density probability density functions: A stand-alone software package*, US Geological Survey Reston, Virginia.
- McNamara, D. E. & Boaz, R. I., 2010. Pqlx: A seismic data quality control system description, applications, and users manual, *US Geol. Surv. Open-File Rept*, **1292**, 41.
- Möllhoff, M., Bean, C. J., & Baptie, B. J., 2019. Sn-cast: seismic network capability assessment software tool for regional networks-examples from ireland, *Journal of Seismology*, **23**, 493–504.
- Peterson, J. R., 1993. Observations and modeling of seismic background noise, Tech. rep., US Geological Survey.