

# GEOPHYSICS & ASTRONOMY

ISSN 2709-1538 (Print)  
ISSN 2709-1546 (Online)

No.10 2023

## ГЕОФИЗИК БА ОДОН ОРОН СУДЛАЛ



Улаанбаатар хот



**МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ**  
**ОДОН ОРОН, ГЕОФИЗИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН**

---

10 (2023)

УЛААНБААТАР ХОТ  
2023 он

“Geophysics and Astronomy” journal published by the Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences, № 10, Ulaanbaatar, 2023, page 226.

**Editor-in-Chief:**

Demberel Sodnomsambuu, Sc.D

**Associate editor:**

Odonbaatar Chimed, Ph.D

**Technical editor**

Buyantogtokh Bazar

Batmagnai Erdenechimeg

Naymbayar Tsend-Ayush

Nyamsuren Batmunkh

Nomin-Erdene Erdenetsogt

Battsetseg Ayushjav

**Editorial board members:**

Demberel Sodnomsambuu, Sc.D

Odonbaatar Chimed, Ph.D

Sukhbaatar Usnekh, Ph.D

Lkhagvajav Chultem, Ph.D

Batmunkh Damdin, Ph.D

Ulziibat Munkhuu, Ph.D

Tsegmid Batuulai, Ph.D

Tungalag Namkhai, Ph.D

Bayarsaikhan Chimedtseren, Ph.D

Batsaikhan Tserenpil, Ph.D

Munkhsaikhan Adya, Ph.D

Baatarchuluun Tsermaa, Ph.D

Tseedulam Khuut, Ph.D

Bayasgalan Amgalan, Ph.D

Bayanjargal Gendenpuntsag, Ph.D

**Principal contact:**

7<sup>th</sup> building of Mongolian Academy of Sciences

Lkhagvasuren street-42

Bayanzurkh district 41<sup>st</sup> khoroo, Ulaanbaatar-13343

Mongolia

Phone: +976-11-453685

Email address: [geophysics\\_astronomy@iag.ac.mn](mailto:geophysics_astronomy@iag.ac.mn)

Website: [www.iag.ac.mn](http://www.iag.ac.mn)

Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн  
“Geophysics and Astronomy” сэтгүүл, № 10, Улаанбаатар, 2023, 226 хуудас.

**Ерөнхий редактор:**

ШУ-ны доктор, профессор С.Дэмбэрэл

**Редакцийн зөвлөлийн нарийн бичгийн дарга:**

Доктор, дэд профессор Ч.Одонбаатар

**Техникийн зөвлөл:**

Б.Буянтогтох  
Э.Батмагнай  
Ц.Нямбаяр  
Б.Нямсүрэн  
Э.Номин-Эрдэнэ  
А.Батцэцэг

**Редакцийн зөвлөл:**

ШУ-ны доктор, профессор С.Дэмбэрэл  
Доктор, дэд профессор Ч.Одонбаатар  
Доктор Ү.Сүхбаатар  
Доктор Ч.Лхагважав  
Доктор Д.Батмөнх  
Доктор М.Өлзийбат  
Доктор Б.Цэгмэд  
Доктор Н.Тунгалаг  
Доктор Ч.Баярсайхан  
Доктор Ц.Батсайхан  
Доктор А.Мөнхсайхан  
Доктор Ц.Баатарчулуун  
Доктор Х.Цээдулам  
Доктор А.Баясгалан  
Доктор Г.Баянжаргал

**Редакцийн хаяг:**

Улаанбаатар хот-13343, БЗД, 41-р хороо, Ж.Лхагвасүрэнгийн гудамж-42,  
ШУА-ийн 7-р байр, Монгол улс  
Утас: +976-11-453683

И-мэйл: [geophysics\\_astronomy@iag.ac.mn](mailto:geophysics_astronomy@iag.ac.mn)

Вэб хаяг: [www.iag.ac.mn](http://www.iag.ac.mn)



## ГАРЧИГ

Tseedulam Khuut, Li Yong, Tsetsegmaa Khuut Test results of recently developed Multi frequency Controlled source electromagnetic (MSEM) system .....	6
Batmagnai E, Javkhlanbold B, Demberel S. Alexey K. Using a geophysical electrical conductivity model for estimating petrophysical parameters: utilization into reservoirs hot springs in Khangai dome .....	10
Ч.Баярсайхан, Л.Тунгалаг, Г.Төгөлдөр Инфра авианы байнгын болон зөөврийн станцаар шуугианы түвшинг тодорхойлох.....	22
М.Дорждаваа, А.Мөнхсайхан, М.Мөнгөншагай, Ч.Одонбаатар Барилгын сейсмик респонсын судалгаа .....	30
Д.Хонгор, Ч.Баярсайхан, Л.Тунгалаг Инфра авианы станцуудын мэдээллийг ашиглан Тонга галт уулын дэлбэрэлтээс үүссэн дууны долгионы тархалтыг судлах .....	36
Л.Тунгалаг Уул уурхайн тэсэлгээнээс үүсэх сигналыг ялгах нь .....	45
Д.Батмөнх, Б.Батбаяр Нарны титэм дэх электрон нягтын өндрийн шатлал.....	51
М.Дэмбэрэлдулам, Ч.Одонбаатар Даланзадгад сумын талбайн хөрсний хурдны загварыг бичил сүлжээ станцаар тодорхойлох нь .....	56
М.Долгормаа, Л.Дагзинмаа, М.Оюун-Эрдэнэ 2021 оны 1 сарын 12-нд Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын нутагт болсон хүчтэй газар хөдлөлтийн макро судалгааны үр дүн .....	66
Д.Баатархүү, Ш.Амаржаргал Дэлхийн ионосферийн давхаргын электроны нийт агууламжийн удаан хугацааны өөрчлөлтийн анализ .....	72
Э.Баярсайхан Газар хөдлөлийн хэв гажилтыг PSI болон Sentinel-1 Sar өгөгдлийг ашиглан хянах .....	80
С.Загдсүрэн, П.Чимэдцэрэн “Ховд” соронзон орны оргилын мэдээлэл боловсруулалт ба соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсон үр дүн.....	89
Д. Эрдэнэзул, А.Дөлгөөн, Э. Баярсайхан Монгол орны царцдасын орчин үеийн шилжих хөдөлгөөний хурд ба деформацийн төрлүүд.....	110
А.Дөлгөөн, Л.Тунгалаг P/s амплитуд харьцаагаар газар хөдлөл болон тэсэлгээний сигналыг ялгах нь .....	122

С.Загдсүрэн, П.Батбаяр Баатархайрхан нурууны хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн горимын судалгаа.....	130
Ц.Баасанбат, Ч.Одонбаатар, Ц.Баатарчулуун, М.Дэмбэрэлдулам, Б.Цогтоо Монгол орны царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны VP/VS харьцаа .....	140
Э.Батмагнай, Б.Энхзул, Ш.Цэрэндүг, Д.Жавхланболд Их Тогоо орчимд хийсэн магнетотеллурикийн хэмжилтийн анхдагч үр дүн ба тайлал.....	156
С.Загдсүрэн, Э.Батмагнай Ховд цахилгаан соронзон оргил: урт үет магнетотеллурикийн багаж суурилуулалт арга зүй ба анхдагч үр дүн .....	168
Г.Болдбаатар, Э.Батмагнай, Э.Номин-Эрдэнэ, Ц.Батсайхан Сейсмик хайгуулын ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтын арга зүй: анхдагч өгөгдлөөс миграци гаргах нь .....	176
Б.Нямсүрэн Тэнгэрийн эрхсийн тойрог замын тооцоолол .....	186
Ц.Нямбаяр, Ш.Чимэддорж Георадарын (GPR) –ийн 3 хэмжээст хэмжилтийн хэвтээ зүсэлтийн арга, Могодын хагарлын жишээн дээр .....	191
Д.Ганзориг, М.Оюун-Эрдэнэ Хөвсгөл орчмын бүс нутаг дахь локал магнитуд (M <sub>l</sub> ) ба момент магнитуд (M <sub>w</sub> )-ын хамаарал .....	204
Ц.Батсайхан, Г.Болдбаатар, А.Нармандах, В.И.Джурик Улаанбаатар хот дахь барилгажих талбайн газар хөдлөлийн аюулын тооцоо .....	211
Б.Буянтогтох, Э.Батмагнай, М.Дорждаваа, Х.Ундармаа Э.Батням Цэнхэрийн халуун рашааны бүсэд хийсэн гравиметрийн судалгаа .....	218

## TEST RESULTS OF RECENTLY DEVELOPED MULTI FREQUENCY CONTROLLED SOURCE ELECTROMAGNETIC (MSEM) SYSTEM

Tseedulam Khuut<sup>1</sup>, Li Yong<sup>2\*</sup>, Tsetsegmaa Khuut<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology and Hydrogeology, School of Geology and Mining, Mongolian University of Science and Technology

<sup>2</sup>Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences

\*Corresponding author: [cgslyong@mail.cgs.gov.cn](mailto:cgslyong@mail.cgs.gov.cn)

Article info: accepted 04 December 2023

**Abstract.** In Mongolia, current exploration of underground minerals holds significance. This study aimed to assess the newly developed multi-frequency CSEM system and explore its potential applicability and localization in Mongolia. The research was conducted in the ore deposit area. Based on the experiment results, geological structure, contact of rocks, which are clear distinguished by their resistivities, were accurately mapped at depths of up to 1.5km. Nevertheless, for result validation, it is advisable to conduct comparisons with other geophysical methods to affirm the effectiveness of the recently developed multi-frequency CSEM system.

**Keywords:** CSEM, multi-frequency electromagnetic

### INTRODUCTION

Controlled Source Electromagnetic (CSEM), typically linked with hydrocarbon exploration, has also been applied in mineral exploration. In this context, CSEM is utilized to identify and analyze conductive minerals and ore bodies beneath the Earth's surface. During the 1950s–1960s, there was notable utilization of frequency-domain CSEM sounding, wherein the depth of investigation is affected by both the frequency and the separation between the transmitter and receiver. The theoretical background and historical application of it are covered in numerous textbooks.

### GEOLOGICAL SETTING

The study area is located in Bayangol soum of Selenge Province. The North Khentei gold belt in central-northern Mongolia is more than 400 km long and 100 km wide and is one of the most important areas for gold exploration and mining in the country.

The North Khentei gold belt is considered to have been formed by granitoid intrusive activity during the final closure of the Mongol-Okhotsk Ocean by the collision along the Mongol-Okhotsk belt in the middle

The frequency-domain controlled source electromagnetic (CSEM) method has become a robust geophysical tool for mineral and hydrocarbon exploration (Constable, 2010; Streich, 2015; Schaller et al., 2017; Malovichko et al., 2019), and geotechnical monitoring challenges (Tietze et al., 2015). This is attributed to the significance of electrical conductivity as a crucial diagnostic physical property.

In Mongolia, thorough research into deep-seated minerals is crucial. Therefore, this study was initiated to assess and deploy a new tool for deep mineral exploration.

Triassic to Middle Jurassic. This belt is limited by two deep faults: the Bayangol fault on its northern border and Yeroogol on its southern border. The Tsagaan Chuluut deposit is situated in the part of the tectonic setting along the Yeroogol fault.

The North Khentei gold belt contains four major lithological components Late Proterozoic to early Paleozoic meta-sedimentary rocks of the Kharaa Formation and late Ordovician Boroogol granitoid

complex intrusions;  
 Early Permian Zuunmod felsic plutonic-volcanic and sedimentary rocks;  
 Late Triassic to Early Jurassic Khazaar granite complex Late Mesozoic coal-bearing sedimentary rocks and Tertiary sedimentary rocks containing placer gold deposits.

The Tsagaan Chuluut (Figure 1) deposit

is situated in 4 blocks which are divided by Northwest (Myagmar et al., 2003) and northeast-trending thrust fault structures. The area is composed of weakly alkaline granite, granodiorite, and granite porphyry of early-middle Devonian, which cut phase-1 gabbro diorite, diorite, and monzodiorite of the mid-late Ordovician Boroogol intrusive complex.

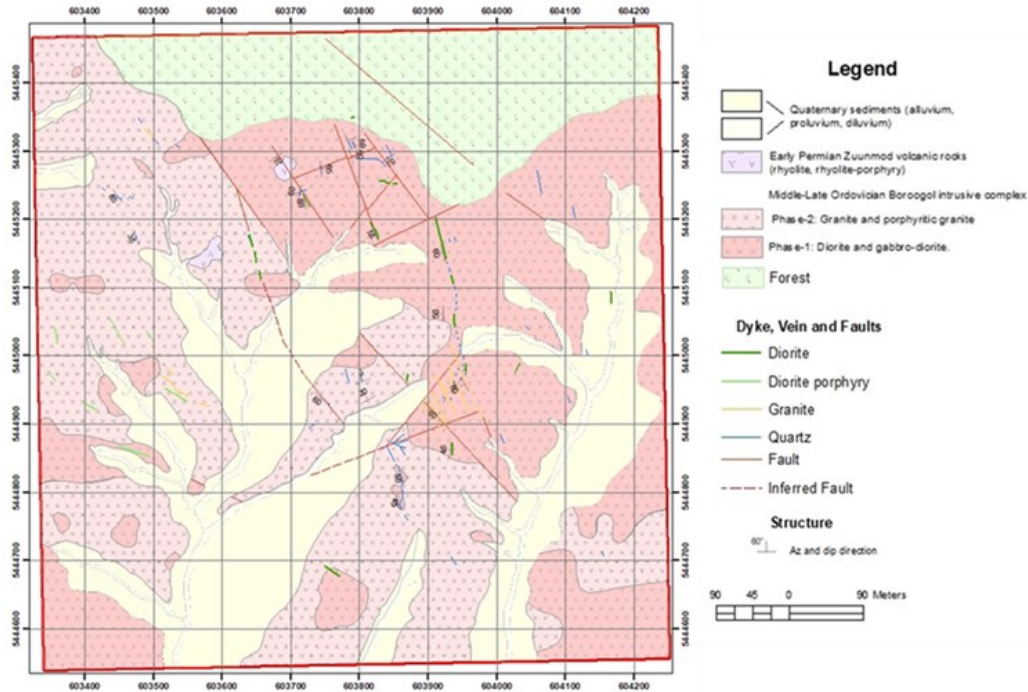


Figure 1. Geological map of the study area

**METHODOLOGY**

In the experiment, we used multi-frequency CSEM system (Figure 2) developed by the Institute of Geophysics and Geochemistry of the Chinese Academy of Sciences under the 2018YFE0208300 project. The multi frequency CSEM system can operate frequencies between 0.01Hz-10000Hz simultaneously and it weights approximately 5kg, excluding battery and positing system.

The nominal spacing of the nodes was 20 meter in MSEM survey. The equipment configurations employed included: Three pieces of MSEM electromagnetic receivers with 3 channels for electric, and 3 channels for magnetic field, 60 kW high transmission system, 120 kW generator system.

The survey comprised 7 profile lines running from northwest to east, as illustrated in Figure 3, depicting the planned locations.



Figure 2. Multi-frequency CSEM system

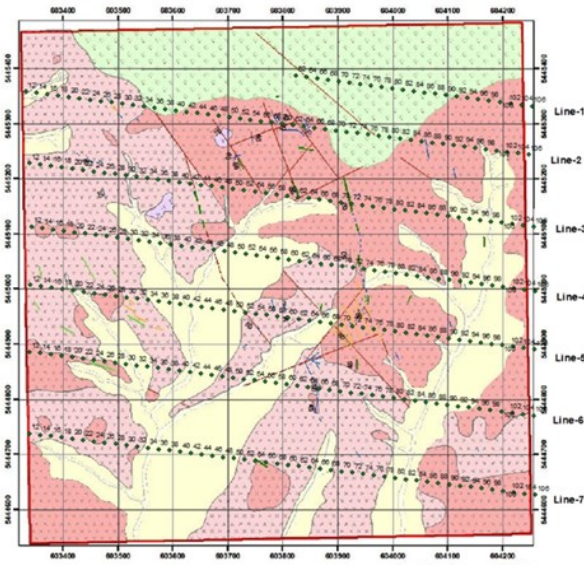


Figure 2. Multi-frequency CSEM system

**RESULT**

Experiment included inversions on 2D and 3D models, based on electric, electric and magnetic component both.

Figure 4 shows the result obtained using the Ex electric data.

Based on measurement results and inversions, it is evident that the newly implemented multi-source CSEM system offers high-resolution information reaching depths of up to 1.5 km below the surface.

Line-1, covering the densely forested northwest part, was extended to a length of 480m, while the remaining survey lines were set at a length of 980m each.

The multi-frequency CSEM data was inverted with a finite-element based inversion method. The algorithm employed was developed by Yang et al. (2021) under the 2018YFE0208300 project, and a total of 20 iterations were performed. An illustrated resistivity cross-section is presented in Figure 4, where the estimated depth (m) increases downward on the right, and the elevation (m) decreases downward on the left. The length of the profile line (m) increases from left to right.

**SUMMARY**

According to the results of the inversion of 2D and 3D, it can be seen that the notable contrast in electrical resistivity, and contacts of the rock, units are clearly delineated. To maximize the effectiveness of the CSEM method, it is crucial to integrate and compare it with other geophysical methods.

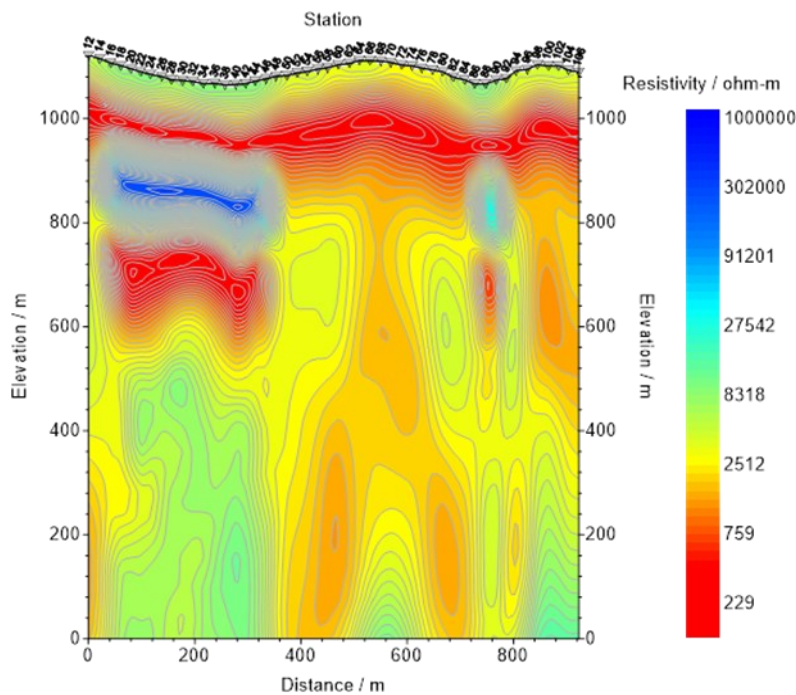


Figure 2. Multi-frequency CSEM system



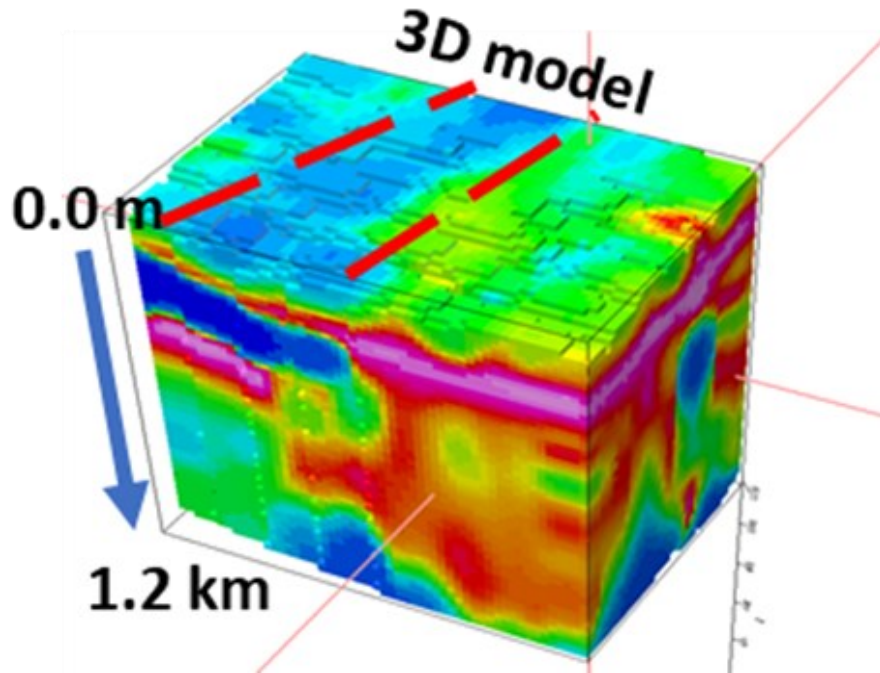


Figure 5. 3D inversion result of CSEM data

#### ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported in part by the Project of the State Key Research and Development Plan under Grant 2018YFE0208300.

We express our gratitude to the field team and colleagues for their assistance and valuable suggestions.

#### REFERENCES

- Andreas Schaller, Rita Streich, Guy Drijkoningen, Oliver Ritter (2017). A land-based CSEM method for oil field exploration: An example from Schoonebeek oil field. *Geophysics journal*, 83(2), 1-71.
- Kristina Tietza, Oliver Ritter, Paul C.H.Veeken. (2015). Controlled source electromagnetic monitoring of reservoir oil saturation using a novel borehole-to subsurface configuration. *Geophysical prospecting*, 63(6), 1468-1490.
- M.Malochko, A.V.Tarasov, N.Yavich and M.S.Zhdanov. (2019). Mineral exploration with 3D controlled-source electromagnetic method: a synthetic study of Sukhoi log gold deposit. *Geophysical Journal International*, 219,1698-1716.
- Myagmar et al..(2003). Exploration report of Tsagaan chuluut, Saarliin khutul area
- Rita Streich. (2015). Controlled-Source Electromagnetic Approaches for hydrocarbon and monitoring on land. *Surveys in geophysics*, 37(1).
- Constable S. (2010). Ten years of marine CSEM for hydrocarbon exploration. *Geophysics*, 75(5), doi:10.1190/1.3483451
- Xiaodong Yang, Mingxin Yue, Daiming Hu, Yong Li and Xiaoping Wu. (2021). Goal-Oriented 3-D Time-Domain Marine CSEM Modeling with anisotropy and topography, *IEEE transactions on Geoscience and Remote sensing*.



## USING A GEOPHYSICAL ELECTRICAL CONDUCTIVITY MODEL FOR ESTIMATING PETROPHYSICAL PARAMETERS: UTILIZATION INTO RESERVOIRS HOT SPRINGS IN KHANGAI DOME

Batmagnai Erdenechimeg<sup>1,2\*</sup>, Javkhlanbold Dorjsuren<sup>3</sup>, Demberel Sodnomsambuu<sup>1</sup>, Alexey Kuvshinov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Astronomy and Geophysics, MAS

<sup>2</sup>ETH Zurich

<sup>3</sup>Mintores LLC

\*Corresponding author: [batmagnai@iag.ac.mn](mailto:batmagnai@iag.ac.mn)

Article info: accepted 05 December 2023

**Abstract.** The petrophysical parameters such as porosity and permeability are vital for geothermal reservoir modelling because they provide sufficient information on the fluid flow in the medium. The electromagnetic methods commonly probe the distribution of electrical conductivity models of the Earth's subsurface. The electrical conductivity links with porosity via Archie's law, and porosity relates to permeability using experimental relations. This paper represents a numerical implementation of estimating petrophysical parameters from the electrical conductivity model and the method used to obtain a preliminary understanding of the hot springs in the Khangai dome. We used the multidimensional Magnetotelluric models from previous studies in Mongolia to obtain an electrical conductivity model. As a result, most of the hot springs in Khangai Dome are located along the faults and fractured zone. Therefore, geothermal systems of the hot springs could be related to fault-controlled geothermal reservoirs, and petrophysical parameters suggested classifying hot springs as low, moderate, and high potential for future geothermal prospection.

**Keywords:** Geothermal systems, Magnetotelluric, Modelling

### INTRODUCTION

In general, the factors, such as permeability and porosity, that control fluid flow pathways play a significant role in numerous disciplines, including oil, gas, geothermal exploration, and CO<sub>2</sub> sequestration studies (Eliasson, Magnusson, Dorj, & Johannesson, 2004).

The paths of the natural fluid flow are often controlled by permeable and porous materials, which are created by geological features such as fractures, joints and faults (Jolie, et al., 2021). For geothermal reservoir engineering, the patterns of the fracture zones or faults indicate the flow distribution in reservoirs and control heat convection within geothermal systems. With this concept, accumulating knowledge of the faults and fracture medium of the research region for geothermal exploration is vital in modelling the viability of natural geothermal systems. Numerous

methods, such as numerical modelling (structural and laboratory studies, geochemical studies and geophysical measurements, have been used to evaluate fluid flow pathways and their parameters for the various geothermal reservoirs in the world. The majority of the studies are considered to estimate porosity and permeability to understand the fluid flow of the natural geothermal systems by either laboratory measurements or numerical models.

Using the geophysical method as the Magnetotelluric (MT) integrating with laboratory data provides a more detailed and reservoir-scale estimation of the physical properties with depths of investigation down to hundreds of kilometers. The Khangai Dome in central Mongolia has one of the highest potential places for exploring and extracting geothermal energy. There are 32 hot springs with temperatures of 30 - 95 °C, as indicated in Khangai

Dome (Benderitter & Cormy, 1990). Previous studies to summarize geothermal energy potential based on the manifestation of the hot springs and their physics parameters and chemical components in the whole of Mongolia conclude that the Khangai region is an open-source geothermal region (Tseesuren, 2001), and the permeable faults and fractures control locations of hot springs in the Khangai (Tseesuren, 2001).

Furthermore, the geochemical study determines the source of the hot water as mostly meteoric water (Tseesuren, 2001). A feasibility study based on the thermo-economic analysis for the Khangai region and Tsenkher hot springs has been done by (cites). It suggests that heat and electricity production are economically viable using the hot springs for geothermal energy but should be systematically investigated. Most studies mainly aimed to understand the nature of the hot springs and extract geothermal energy based on the regional-scale geological mapping (and geochemical analysis (Tseesuren, 2001) at the Tsenkher hot springs in the Khangai Dome.

In order to explore geothermal water, numerous exploration wells have been drilled around regions with high-temperature hot springs, such as Tsenkher, Khujirt and Sharгалжуут (Tseesuren, 2001). However, they have failed because insufficient exploration methods were missed for imagining reservoir-scale structures. With this challenge, a multidisciplinary project including gravity, passive seismic, ground and drone magnetic and MT commenced from 2019 to 2022 to establish a deployed method for geothermal exploration in Mongolia with a case study at Tsenkher hot springs. As a result of the project, a 3-D MT-based electrical conductivity model was obtained at the Tsenkher geothermal region. The model suggests a better understanding of the electrical conductivity and petrophysical parameters.

Electrical conductivity is one of the most valuable physical parameters for geothermal exploration and reservoir modelling since it is considered a function dependent on

the medium's porosity, rock composition, fluid content, and temperature. In geothermal systems, where fluid circulation is controlled by fault and fracture zones, the electrical conductivity could be expressed as a function of porosity and permeability.

MT-driven electrical conductivity model can define the subsurface structure based on natural electromagnetic measurement (EM) at the surface. Previous regional MT studies in central Mongolia described a deep structure and magmatic features beneath Khangai Dome, and it is relationships to explain deep root, and potential geothermal systems approached first. A more comprehensive fine-gridded MT data set was collected in 2019 and 2020 to understand structures from a few hundred meters to reservoir-scale depth in the Tsenkher geothermal region. From our MT studies, the well-explained geological formation of the geothermal system provided a possible interpretation of potential reservoir and fracture zones. The Tsenkher study's main highlight was that fracture networks could explain geothermal springs. With the previous studies, we used empirical relationships between petrophysical factors and the electrical conductivity model in order to determine spatial relations between the main geological units and fluid circulation in the potential geothermal reservoirs in this paper.

To calculate the petrophysical factors of the possible geothermal region, we used a regional-scale 3-D electrical conductivity model and physical parameters from geochemical analysis. In addition, this work was an initial step in establishing the method to estimate petrophysical parameters using the MT-driven electrical conductivity models. These petrophysical parameters, either the MT model or laboratory data, drive to define permeable pathways that control the upflow of geothermal fluids.

Furthermore, the study suggests the classification of geothermal hot springs in Khangai Dome as a low, moderate and high potential for future exploration.

## STUDY AREA

### Regional Background

The Mongolian Plateau is a high-elevation intracontinental structure located in central Asia. It includes the Gobi-Altai, Mongolian-Altai, Hovsgol, Sayan, Hentai and Khangai mountains Fig. (1). The highest surface altitudes reach 4362 m in the Mongol-Altai, and it is known that the lithosphere below the plateau is significantly thinner when compared to neighboring areas (Windley & Allen, 1993). The plateau is situated north of the Altai orogen and south of the Siberian craton (Windley & Allen, 1993), and it developed after the tectonic evolution of the Central Asian Orogen Belt (CAOB). The CAOB is one of the world's largest accretionary orogens, which form through collision at inter-oceanic and continental margin convergent plate boundaries. Accretionary orogens typically include many tectonic units with supra-subduction zone fore-arc, magmatic-arc and back-arc components. The CAOB formed dur-

ing the late-Paleozoic to early Mesozoic with the closure of the Mongolia-Okhotsk Ocean and is characterized by various tectonic units that include Precambrian micro-continental blocks, ancient island arcs, ocean islands, accretionary complexes, ophiolites and passive continental margins (Jahn, 2004). As a part of the CAOB, Mongolia contains more than 40 tectonostratigraphic terranes (Badarch, Cunningham, & Windley, 2002). The creation of CAOB was accompanied. An overview of the survey area by the emplacement of large volumes of granitic magma, which sourced the formation of granitoid that nowadays primarily built up the basement of the Mongolian plateau and is part of the larger basement-forming Precambrian block.

### Khangai Dome

The Khangai is the most prominent uplifted dome of the Mongolian plateau. It consists of a dome-shaped mountain range characterized by a maximum elevation of 4031 m

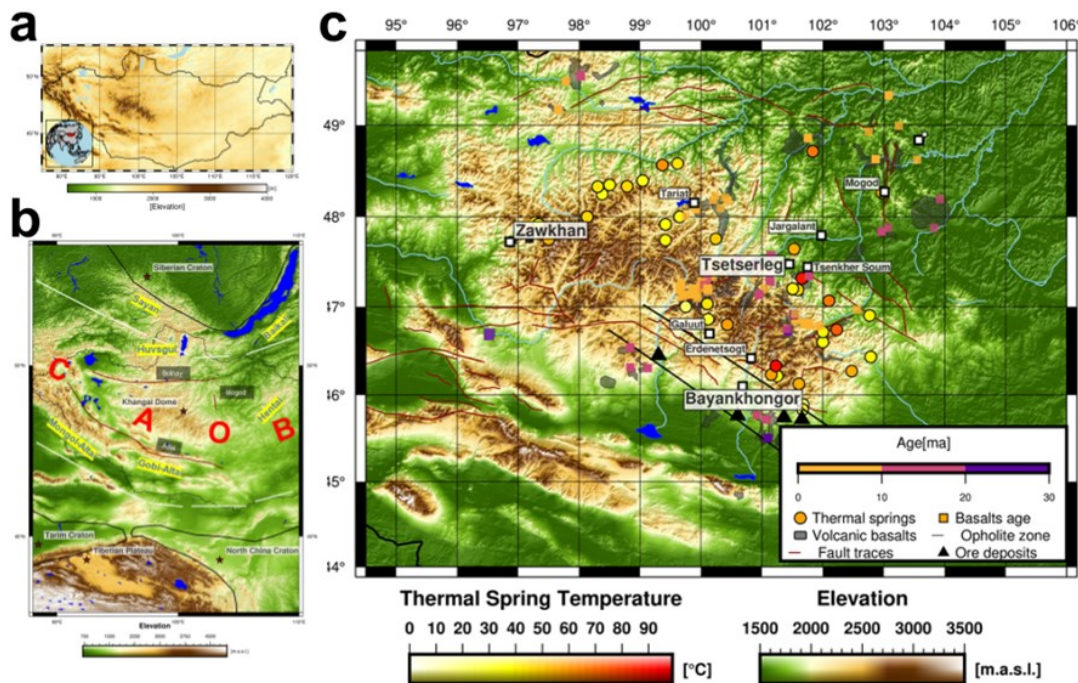


Figure 1: a) Map of the Mongolian territory, b) showing the location of the Khangai Dome in Mongolia within the larger CAOB, bounding faults and surrounding cratons, and c) showing the distribution of the hot springs, volcanic basalts and their ages (Ancuta, Zeitler, Idleman, & Jordan, 2018) and geological faults (Walker, Molor, Fox, & Bayasgalan, 2007). The black triangles indicate the most extensive ore deposits (Orolmaa, et al., 2008) in the ophiolite zone (black lines).

but is generally a low-relief landscape with an average elevation of  $> 2000$  m Fig. (1). It extends about 500 km in the east-west and 200 km in the north-south direction. Due to its unusual location within a continental interior far away from plate boundaries, the formation of the dome and the mechanism of uplift are subject to ongoing debates. According to GPS studies, the Mongolian plateau is affected by the northward movement of the Tibetan plateau and the Tarim craton toward the Siberian craton caused by the India-Asian collision (Calais, et al., 2003). The deformation stress is accommodated by a system of active seismic strike-slip faults (Walker, Molor, Fox, & Bayasgalan, 2007). Three major strike-slip faults bound the Khangai Dome: the Bolnay, the Gobi-Altai and the Mongol-Altay fault systems to the north, south and west, respectively Fig. (1). These fault systems belong to the seismically most active inner-continental areas, with several earthquakes  $M \geq 8$  recorded in the last century.

As of now, there has yet to be a consensus on how the Khangai dome was uplifted. One theory for surface uplift invokes a mantle plume (hot spot) that rises from that lower mantle or the mantle transition zone. Other possible mechanisms are asthenospheric flow induced by lithospheric delamination, lateral asthenosphere flow related to mantle upwelling under western Gobi Altai or redirection of flow caused by the thick lithosphere of the Siberian craton in the north (Ancuta, Carlson, Idleman, & Zeitler, 2013).

An alternative model suggests uplift due to the deep roots of the Khangai craton that may force the deeper lithospheric to flow around the edges of the craton, causing an upward component. Gravity studies revealed a long-wavelength low-gravity anomaly in the Khangai area, which can be related to a mass deficit in the lower crust, subcontinental lithospheric mantle and asthenosphere. Such a mass deficit results in buoyancy effects that can also explain the uplift of the Khangai dome. However, the controlling factors that lead to observed gravity anomaly and mass

deficit remain unclear. Recent geophysical studies shed more light on possible uplift mechanisms and revealed localized deep mantle upwelling that generated magma in the asthenosphere and subcontinental lithospheric mantle beneath the Khangai. Geochemical analyses of the erupted basalts suggest that they were generated by partial melting of enriched mantle source at  $> 60$  km depth, consistent with the electrical conductivity anomaly in the MT studies. The ages of erupted basalts in the Khangai range from 30 Ma to only 5 ka (Ancuta, Zeitler, Idleman, & Jordan, 2018). The absence of a systematic spatial age progression of Cenozoic basalts suggests that there is no evidence for the movement of central Mongolia over a fixed mantle plume source.

The basement of the Khangai dome is built up by the earlier mentioned Precambrian block that contains tonalitic and trondhjemitic gneisses, potassic granitoid and various migmatites and high-grade schists and gneisses. Intensely deformed Carboniferous-Devonian overlies the basement, and more sparsely distributed Permian-Triassic sedimentary rocks are deposited on the basement and intruded by late Paleozoic and early Mesozoic granite and granodiorite massive bodies. Late Cenozoic, numerous high potassium alkaline basaltic provinces are distributed throughout the Khangai area. Unconsolidated Quaternary sediments cover them.

The heat flow below the Khangai is also exceptionally high, reaching values as high as  $110$   $\text{mW/m}^2$ , which exceeds the heat flow in the surrounding regions of the Khangai by a factor of two ( $50\text{--}60$   $\text{mW/m}^2$ ). Earlier studies found evidence that the elevated heat flow in the Khangai has a deep-rooted cause, such as an anomalously hot mantle anomaly below a thinned lithosphere. Heat flow values are the largest south of the city of Tsetserleg. The elevated heat flow and past volcanic activity in the Khangai region are commonly cited to explain the existence of more than 30 hot springs with temperatures of up to  $95$   $^{\circ}\text{C}$  and flow rates reaching  $25$   $\text{l/s}$ .



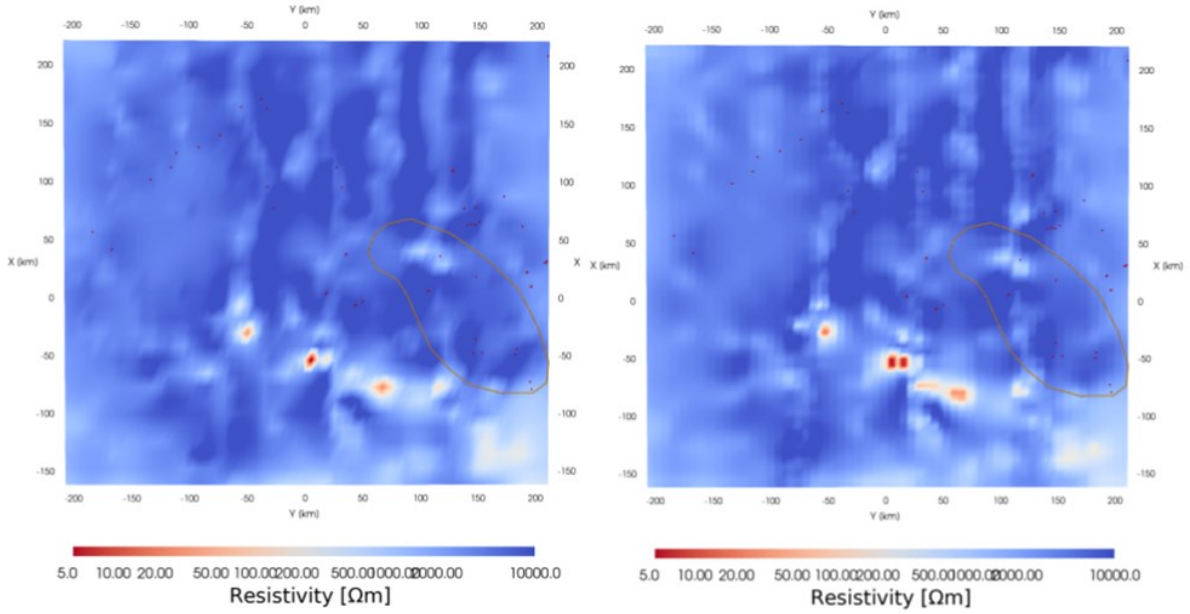


Figure 2: Maps of the electrical resistivity ( $1/\sigma$ ) or conductivity of the Khangai Dome at the surface and 5 km below the surface, where the red dots indicate manifestations of hot springs.

## DISCUSSION AND CONCLUSION

### Archie's law, Porosity and Permeability

Geophysical EM methods are often used to determine electrical conductivity due to the electrical conductivity property depending on rock types, which could provide reliable information about the reservoirs and their characteristics in the subsurface. In terms of the relationship between electrical conductivity and porosity, Archie's law (Archie & others, 1942) is considered for two phases of materials:

$$\sigma_b = \sigma_s(1 - \phi)^s + \sigma_w\phi^m, \quad (1)$$

where  $\sigma_b$  is the electrical conductivity of the medium,  $\sigma_s$  is the electrical conductivity of the solid rock matrix, and  $\sigma_w$  is that of the fluid occupying the pore space. The factors  $s$ ,  $m$  exponents describe the electrical connectedness of its phases, where

$$s = \frac{\log(1 - \phi^m)}{\log(1 - \phi)}, \quad (2)$$

And  $m=1.15-1.25$ .

The mixing model of Archie's law has two conducting phases and allows the electrical connectedness of the two phases to be varied. The Porosity  $\phi$  is the amount of

pore space in a medium, and the permeability  $k$  measures the capacity to pass the fluid in the porous medium. These petrophysical parameters define the ability of fluid to flow in geothermal reservoirs. Another way to estimate porosity in fracture zones is based on the geometrical property, expressed as

$$\phi = w \times \left( \frac{1}{D_i} + \frac{1}{D_j} \right) \quad (3)$$

$w$  is fracture aperture (m), and  $D$  is spacing (m)  $i, j$  directions, with these factors, by using Eq. (1), we calculate the permeability  $k$  ( $m^2$ ) by following the relation

$$k = (8.33 \times 10^{-4} \times w \times \phi) \times 9.86 \times 10^{-16}, \quad (4)$$

where fracture aperture is in mm.

In this paper, we first built a model to show a correlation between porosity and permeability using equations (3,4). Here, we considered the hot springs in the Khangai dome to be mainly characterized by a fracture zone. As a second step, we used equations (1,2) to calculate the porosity of the regions with hot springs. In this scenario, we obtained the electrical conductivity of the solid rocks from a regional 3-D conductivity model and the electrical conductivity of the hot springs

from geochemical studies.

*Motivation to use a 3-D regional-scale MT model and parameter selection.*

The regional magnetotelluric survey was conducted in central Mongolia from 2016 to 2018. We measured the MT data at more than 350 individual sites during the survey, and it covered the Khangai Dome entirely. Fig. (2) shows the electrical conductivity distribution at the surface and 5 km below the surface. The map covers the whole Khangai region. As we can see from Fig. (2), the hot springs scatter mainly in the eastern part of Khangai Dome, and hot springs are located as a line in the central and western parts of Khangai Dome.

Colours on an electrical resistivity map represent high resistivity features in dark blue, moderate or weak resistivity features in light blue or white, and low resistivity or high conductivity features in red. According to the interpretation of the electrical conductivity map, high resistivity features indicate the Precambrian basement of the Khangai Dome, and the moderate resistivity features could be associated with the source of the geological formation at the surface, such as remnant volcanic activity, faults, mineralization and hot springs.

The electrical conductivity model needs to be better explained in hot springs. However, a previous study mentioned that the eastern part of the Khangai Dome, especially around the Tsenkher and Shargaljuut hot springs, is more prominent in conducting geothermal exploration because the conductivity anomalies in the eastern Khangai were coincident with the higher value of the heat flow. To better understand the Tsenkher geothermal region, a local-scale MT survey was conducted with a spacing of 500m-1.2 km.

This study better explained the geological formation of the geothermal regions, which are formed in non-volcanic and far away from active tectonic margins, such as Mongolian Khangai.

The MT model evidenced that the thermal water, which feeds hot springs, flows and circulates through the permeable fault zone.

Obviously, a local-scale MT model provided a better resolution to identify pathways where fluid flows. However, information on the bulk rock's conductivity was similar in regional and local-scale models. Therefore, the 3-D electrical resistivity model could serve us to obtain geoelectrical information on the bulk rocks of the geothermal hot springs in Khangai Dome. The 3-D model also represents an interaction between moderate and high-resistivity structures, coinciding with geological faults.

Fig. (3) shows the 3-D electrical resistivity model covering Khangai Dome, including the hot springs and geological faults. As we can see from Fig. (3a), most of the geological faults are located along moderate or weak resistive zones, and the hot springs are around the faults. Fig. (3b) represents the deep structure of the three main resistive structures beneath the Khangai Dome, and the Khangai upwelling process may generate weak deformation zones near the surface, such as faults and fracture zones. Since the Khangai Dome consisted of several regional strike-slip faults and local normal faults (see Walker 2007), their traces control the scatters of the geothermal hot springs Fig. (3c), it is believed that fracture zones and faults control the characteristics of all hot springs.

Fig.3c shows the NE-W cross-section with the depth of the lower-crust scale, which crosses hot springs in NW, and it provides better correlations of the hot springs and weak resistivity zones in the upper crust. The high-resistivity features in Fig.3 indicate 3000-7000 Ohm m, which will be used for future calculations to evaluate petrophysical factors. In Fig. (4), the selected resistivity at each hot spring is listed together with the electrical resistivity of the hot springs.

Geochemical study measured geochemical samples from 23 hot springs in the Khangai region in 2012 and 2013. At the sampling site, the electrical resistivity and PH are also measured. As a result of the measurement, the surface temperature of hot springs varied from 34 to 88°C Fig. (4) while



their pH varied from 8.4 to 9.6, indicating alkaline characteristics. Further, the hot springs' electric resistivity (ER) varied from 12 to 35.

As we can see from Fig. (4) hotter springs are densely located in the central part of Khangai Dome near the higher heat flow

value. This information from the geochemical measurements and sampling from wells is significant for this study to estimate petrophysical factors. The following sections will describe porosity and permeability using the above-mentioned methods and materials.

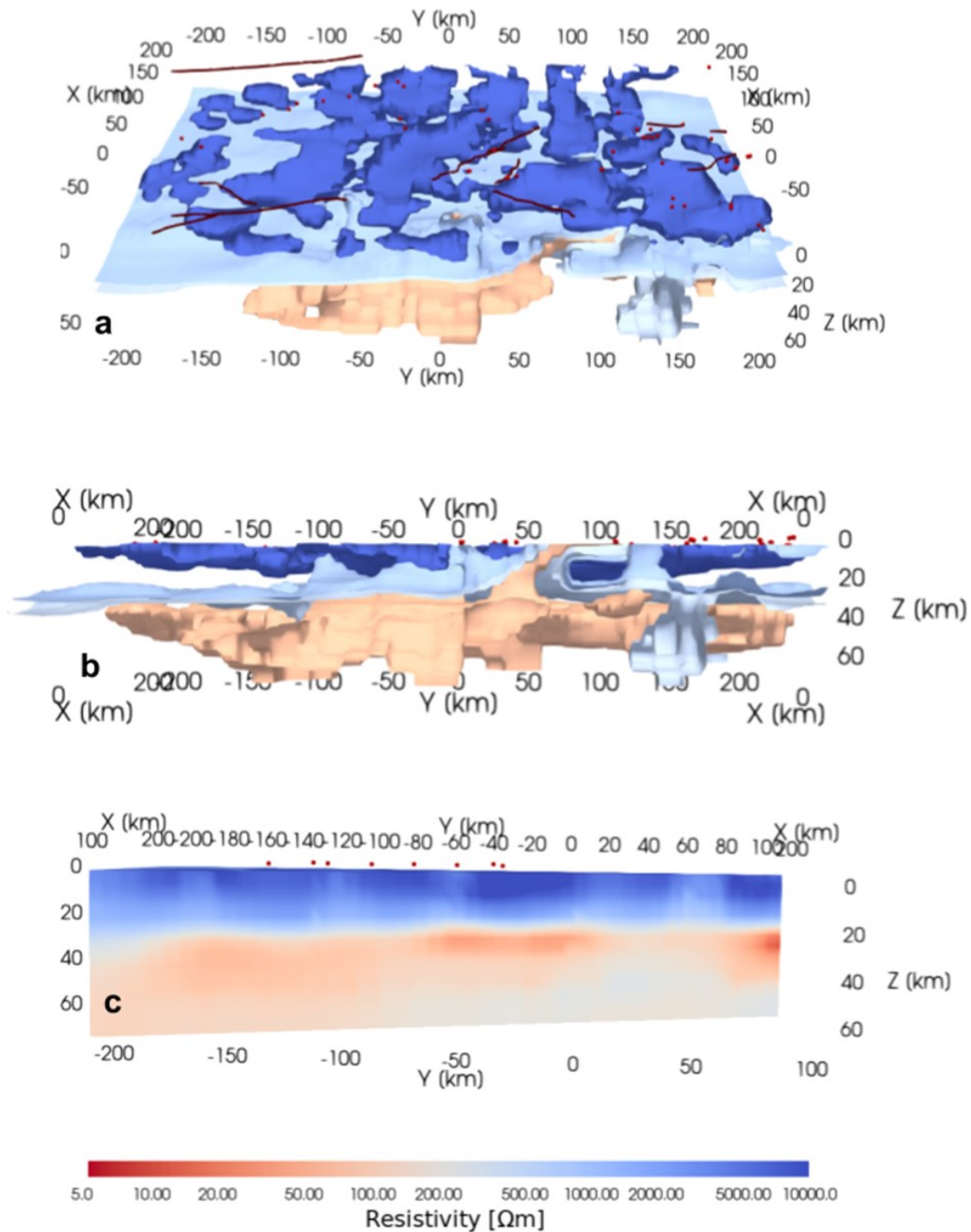


Figure 3 .The 3-D MT model of the Khangai region SW-NE (where, minus sign indicates SW from center), including information on the geological faults and hot springs. Here, the high resistivity is 3000-5000  $\Omega$  m, moderate 500-1000  $\Omega$  m and low 10-70  $\Omega$  m. A more detailed description of the model is discussed in the main text.

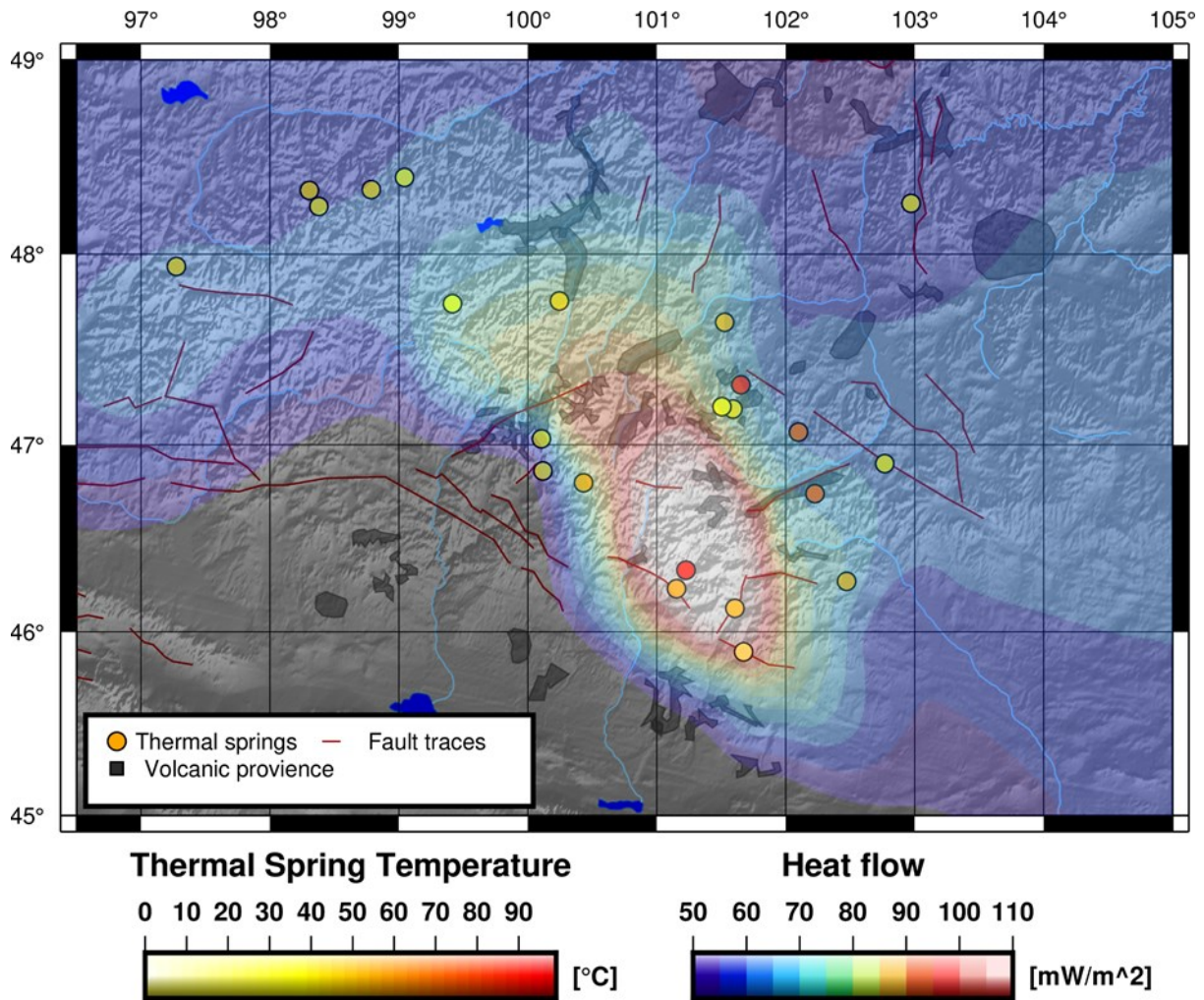


Figure 4: A map of the Khangai dome with the hot springs distribution and their temperature. The contour shows the heat flow distribution over the Khangai.

**METHODS AND MATERIALS**

*Porosity*

Fig. (5) represents the electrical resistivity of the hot springs in the Khangai dome measured by (Oyuntsetseg et al., 2015). As we can see from Fig. (5), the electrical resistivity of the hot springs was measured in the range of 13-35  $\Omega$  m. Only a few hot springs, Ulaanhaalga, Tsenkher, Shivert, and Ukhleg have the highest conductivity/lower resistivity up to 20  $\Omega$  m. Overall, the electrical resistivity of hot springs deviated from 24.6  $\Omega$  m to  $\pm 12$   $\Omega$  m. Considering Eq. (1) and the meaning of the electrical resistivity of the hot springs in the Khangai, we can estimate the porosity. In this scenario, we approached the electrical conductivity of the thermal fluid as 24.6  $\Omega$  m and the cementation factor as 1.15 (Glover, Hole, & Pous, 2000).

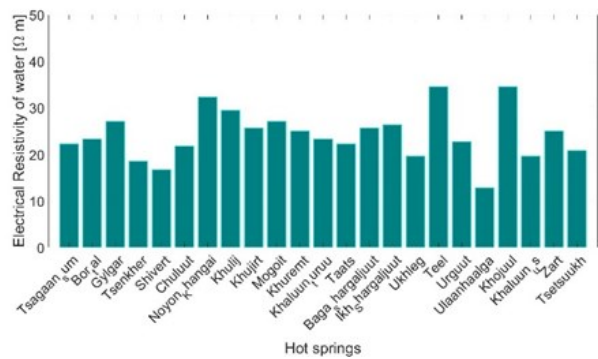


Figure 5: The electrical resistivity of the hot springs in Khangai dome.

Fig. (6) shows the locality of the hot springs and their relationship with the porosity. Here, the porosity map illustrates the porous medium at the surface. According to Fig. (6), except for three springs northeast of



Khangai, the hot springs are clearly correlated with the high porosity of the region. The rest of the hot springs are mostly related to lower and higher porosity contact zones. Overall, the line-shaped high porous mediums are well coincident with traces of the major strike-slip faults. Furthermore, the porosity map of the Khangai dome at 5000 m is shown in Fig. (7), which serves us to view deeper correlations between the porosity and locality of the hot springs. The region is characterized as a low porous medium since the Precambrian blocks are dominated beneath the Khangai region. However, the hot springs are located along the high porous lines in the central and eastern areas. The most prominent structure in the northwest Khangai expresses the western Khangai conductivity structure (Käufel, et al., 2020). But there is no relation to the southern and eastern conductors.

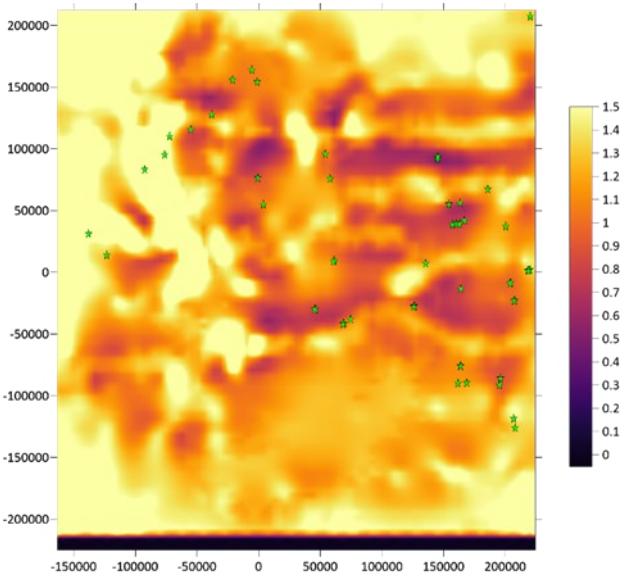


Figure 6: The porosity map at the surface of the Khangai dome: light yellow indicates a highly porous medium.

*Permeability*

Assuming that the hot springs are located along the fracture zone, then the porosity could be described as fracture porosity. Thus, Eq. (3) indicates the fractured medium's porosity. According to (Younger & Manning, 2010), we choose aperture density as 0.5 m in both directions; hence, aperture fracture  $w=\phi/4$ , and substituting it into Eq. (4), the per-

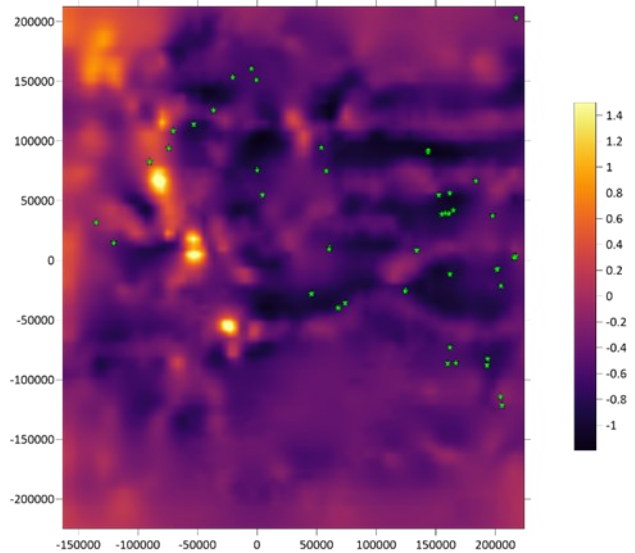


Figure 7: The porosity map at the surface of the Khangai dome: light yellow indicates a highly porous medium.

meability could be obtained.

Fig. (8) shows permeability maps at the surface (left) and 5000 m (right) below sea level, which are estimated from the porosity. As we discussed, the permeability value provides valuable information about the production of both thermal and electrical energy from the geothermal hot springs. As we can see from Fig. (8), the western part of the Khangai Dome is more permeable than the eastern and central parts. However, the hottest hot springs are in the eastern part of Khangai Dome, is broadly investigated in order to construct geothermal plants.

*Classification of geothermal resources in the Khangai Dome*

According to the deep structure of the Khangai Dome, which is explained by our reference electrical conductivity model (Käufel, et al., 2020), the temperature-driven gravitational regime played a major role (Stein, Comeau, Becken, & Hansen, 2022) in uplifting and forming Khangai Dome. As a result of such a procedure, numerous volcanic activities occurred in the Khangai Dome. The majority of the studies in Khangai Dome that attributed to the source of the hot springs are explained by the magmatic or lasting volcanic heat sources.

As we discussed, the Shargaljuut and

Tsenkher hot springs are located in the eastern part of the Khangai but have low permeability from Fig (8). It requires thinking clearly about where we should conduct geothermal exploration in future. Both temperature and permeability are vital for geothermal reservoirs. However, permeability is the most essential when extracting energy from geothermal reservoirs.

In Fig. (6-8), we can clearly see that the western part is a more porous and permeable medium than other regions. The high permeability value expresses a high potential for fluid flow in the medium that could be fractured or a water drainage zone with a low rock matrix density. Explaining preliminary high and low permeability with our current knowledge requires some understanding of the regional tectonic and geology (see Section 2). Our permeability map might show the results of different tectonic activities; the western part is located under stress from tectonic movement from the Tibetan plateau than the eastern part; thus, this

region could be more deformative and permeable. But other regions that have low permeability and high temperature might be indicated by Neogene activity (Walker, Molor, Fox, & Bayasgalan, 2007) sourced faults controlled geothermal systems since the highest heat flow indicates latest activations. The left of Fig. (8) represents the permeability related to shallow structure; it is mostly permeable due to the porous sediments. But deeper permeable attributed to the deep of the geothermal reservoir is shown on the right of Fig. (8); it well-indicates permeability values in the range of . In the Khangai dome, permeability values with respect to the geothermal hot springs are defined as . These values agree that most hot springs' petrophysical parameters are valuable to producing geothermal plants. However, this conclusion only followed very intensive parameters from the electrical conductivity model in order to obtain initial information on the petrophysical factors.

Based on the discussion above and the

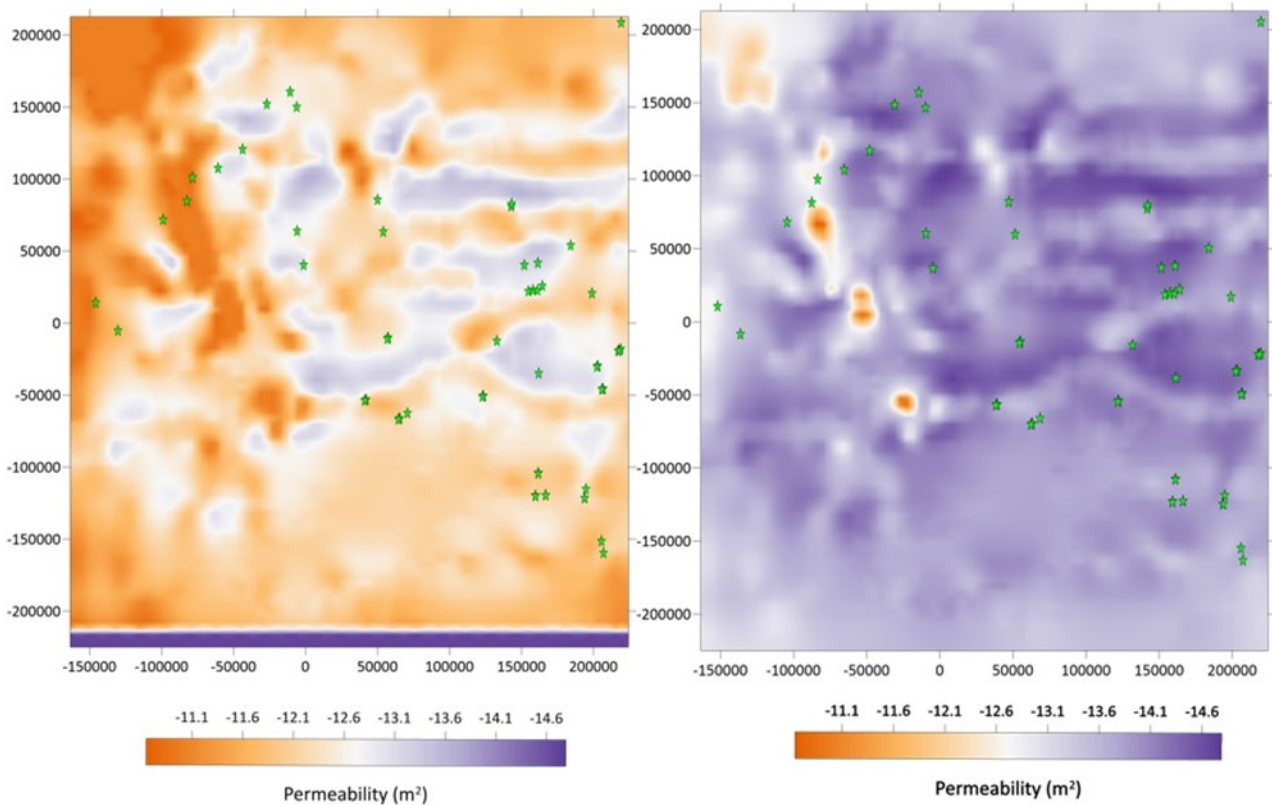


Figure 8: The permeability map at the surface and 5000 m of the Khangai dome: light yellow indicates a highly permeable medium.

map of the permeability and porosity, we suggest classifying geothermal resources, such as low-temperature Khangai geothermal clusters and intermediate-temperature Khangai geothermal clusters. This classification will help to establish systematic knowledge about hot springs to develop geothermal power plants.

In summary, we successfully initiated the study of indirect expressions of the petrophysical factors from the electrical conductivity. The method was used for the Khangai 3-D MT model, and it carried out valuable conclusion that the hot springs as clusters in the western and central Mongolia could be classified by their petrophysical parameters.

## REFERENCES

- Ancuta, L. D., Carlson, R. W., Idleman, B. D., & Zeitler, P. K. (2013). Geochemistry and geochronology of Hangay Dome volcanic rocks: exploring the source of high topography and volcanism in an intracontinental setting. *AGU Fall Meeting Abstracts, 2013*, pp. T42B–08.
- Ancuta, L. D., Zeitler, P. K., Idleman, B. D., & Jordan, B. T. (2018). Whole-rock  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology, geochemistry, and stratigraphy of intraplate Cenozoic volcanic rocks, central Mongolia. *Bulletin, 130*, 1397–1408.
- Archie, G. E., & others. (1942). The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transactions of the AIME, 146*, 54–62.
- Badarch, G., Cunningham, W. D., & Windley, B. F. (2002). A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences, 21*, 87–110.
- Benderitter, Y., & Cormy, G. (1990). Possible approach to geothermal research and relative costs. *Small geothermal resources: A guide to development and utilization, UNITAR, New York*, 59–69.
- Calais, E., Vergnolle, M., San'Kov, V., Lukhnev, A., Miroshnitchenko, A., Amarjargal, S., & Déverchère, J. (2003). GPS measurements of crustal

The locality of the hot springs explained as fault/fracture-controlled manifestations for regionally.

To establish deploy understanding, we will conduct multi-scale MT, estimate heat flow based on the geomagnetic survey, and jointly interpret geological and geochemical results.

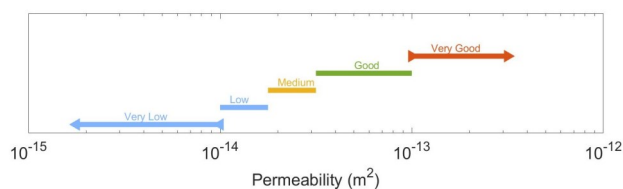


Figure 9: Permeability value with respect to the geothermal reservoir

deformation in the Baikal-Mongolia area (1994–2002): Implications for current kinematics of Asia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108*.

- Eliasson, E. T., Magnusson, J. M., Dorj, P., & Johannesson, T. (2004). Geothermal project in Tsetserleg, Mongolia. Pre-feasibility study. *Rafhönnun Consulting Engineers, Reykjavik, Iceland*.
- Glover, P. W., Hole, M. J., & Pous, J. (2000). A modified Archie's law for two conducting phases. *Earth and Planetary Science Letters, 180*, 369–383.
- Jahn, B. M. (2004). The Central Asian Orogenic Belt and growth of the continental crust in the Phanerozoic. *Geological Society, London, Special Publications, 226*, 73–100.
- Jolie, E., Scott, S., Faulds, J., Chambefort, I., Axelsson, G., Gutiérrez-Negrín, L. C., . . . others. (2021). Geological controls on geothermal resources for power generation. *Nature Reviews Earth & Environment, 2*, 324–339.
- Käüfl, J. S., Grayver, A. V., Comeau, M. J., Kuvshinov, A. V., Becken, M., Kamm, J., . . . Demberel, S. (2020). Magnetotelluric multiscale 3-D inversion reveals crustal and upper mantle structure beneath the Hangai and Gobi-Altai region in Mongolia.

- GeoJ*, 599.
- Orolmaa, D., Erdenesaihan, G., Borisenko, A. S., Fedoseev, G. S., Babich, V. V., & Zhmodik, S. M. (2008). Permian-Triassic granitoid magmatism and metallogeny of the Hangayn (central Mongolia). *Russian Geology and Geophysics*, 49, 534–544.
- Stein, C., Comeau, M. J., Becken, M., & Hansen, U. (2022). Numerical study on the style of delamination. *Tectonophysics*, 827, 229276.
- Tseesuren, B. (2001). Geothermal resources in Mongolia and potential uses. *United Nations University, Reports 2001*, 15. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10802/7269>
- Walker, R. T., Molor, E., Fox, M., & Bayasgalan, A. (2007). Active tectonics of an apparently aseismic region: distributed active strike-slip faulting in the Hangay Mountains of central Mongolia. *Geophysical Journal International*, 174, 1121–1137.
- Windley, B. F., & Allen, M. B. (1993). Mongolian plateau: Evidence for a late Cenozoic mantle plume under central Asia. *Geology*, 21, 295–298.

## ПЕТРОФИЗИКИЙН ПАРАМЕТРУУД ҮНЭЛЭХЭД ГЕОФИЗИКИЙН ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ЧАДВАРЫН ЗАГВАР АШИГЛАХ НЬ: ХАНГАЙ НУРУУ ДАХЬ ХАЛУУН РАШААНЫ РЕЗЕВОРУУД

Э. Батмагнай<sup>1,2</sup>, Д. Жавхланболд<sup>3</sup>, С. Дэмбэрэл<sup>1</sup>, А. Кувшинов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон орон геофизикийн хүрээлэн

<sup>2</sup>ETH Цюрих

<sup>3</sup>Минторес ХХК

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [batmagnai@iag.ac.mn](mailto:batmagnai@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 05

**Хураангуй.** Сүвэрхэг чанар, нэвчилт зэрэг петрофизикийн үзүүлэлтүүд нь орчиноор урсах шингэний хөдөлгөөний талаарх мэдээлэл өгдөг тул газрын гүний дулааны нөөцийг загварчлахад эдгээр нь чухал ач холбогдолтой. Цахилгаан соронзон аргууд нь дэлхийн гүний үе давхаргуудын цахилгаан дамжуулах чадварыг тодорхойлдог. Цахилгаан дамжуулах чадвар нь нүх сүвэрхэг байдалтай Арчигийн хуулиар холбогддог ба сүвэрхэг байдал нь нэвчих чадвартай холбоотой болохыг туршилтаар тогтоосон байдаг. Энэхүү өгүүлэлд цахилгаан дамжуулах чадварын загварт тулгуурлан болон хангайн нуруунд орших халуун рашааны талаар урьдчилсан ойлголт авах зорилгын хүрээнд петрофизикийн параметруудийг тооцоолсон үр дүнг үзүүлсэн. Энд Монголд хийсэн олон хэмжээст Магнетотеллурикийн загваруудаас цахилгаан дамжуулах чадварын утгыг гарган авсан. Үр дүнд нь Хангайн нурууны халуун рашаануудын ихэнх нь хагарал, хагарлын бүсэд оршдог болохыг ойлгосон ба халуун рашааны газрын гүний дулааны систем нь хагарлын тогтоц аль эсвэл гүний динамик процесстой холбоотой байж болох юм. Петрофизикийн параметрууд нь халуун рашааныг ирээдүйд газрын гүний дулааны хайгуул хийх боломжит бага, дунд гэж ангилахыг санал болгосон.

**Түлхүүр үг:** Геотермаль систем, Магнетотеллурик, Загварчлал



## ИНФРА АВИАНЫ БАЙНГЫН БОЛОН ЗӨӨВРИЙН СТАНЦААР ШУУГИАНЫ ТҮВШИНГ ТОДОРХОЙЛОХ

Ч.Баярсайхан<sup>1\*</sup>, Л.Тунгалаг<sup>1</sup>, Г.Төгөлдөр<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: bayarsaikhan@iag.ac.mn

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Инфра авианы I34MN сүлжээ станц (байнгын станц) нь Улаанбаатар хот, Таван толгойн цэргийн ангийн ойролцоо байрладаг ба станцын мэдээллээр Улаанбаатар хот орчмын бүс нутагт болж буй өндөр давтамжийн сигналуудыг тодорхойлох, мөн улиралаас хамаарсан сигналын бүртгэгдэх байдлыг тодорхойлох ажлуудыг түлхүү хийж байна. Эдгээр зүй тогтлыг үнэлэх зорилготой зөөврийн станцыг турших, хэрэглээнд нэвтрүүлэхийг зорьж байна. Хэд хэдэн газар зүйн байршилд зөөврийн станцыг суурилуулан мэдээлэл бүрдүүлэх ажлыг эхлүүлээд байгаа. Жижиг хэмжээний станцыг анх Улаанбаатар хот, таван толгой цэргийн ангийн орчим суурилуулж салхинаас үүсэх чимээг бууруулах шийдэл олох, тэсэлгээнээс үүсэх акустик сигналыг бүртгэх зорилготой байв. Энгийн, зардал багатай, хоолой болон сүвэрхэг хоолойн хязгаарлалтыг сайжруулах технологийг хөгжүүлэхийн тулд 0.01-10 Гц-ийн хоорондох хэт авианы давтамжтай (J.R.Abbott. 2014) салхины чимээ шуугианыг багасгахын тулд задгай талбай, багахан модтой талбай, өтгөн модтой талбайг тус тус сонгон түүгээрээ салхины хаалтыг орлуулан туршиж үзсэн үр дүнг танилцуулж байна.

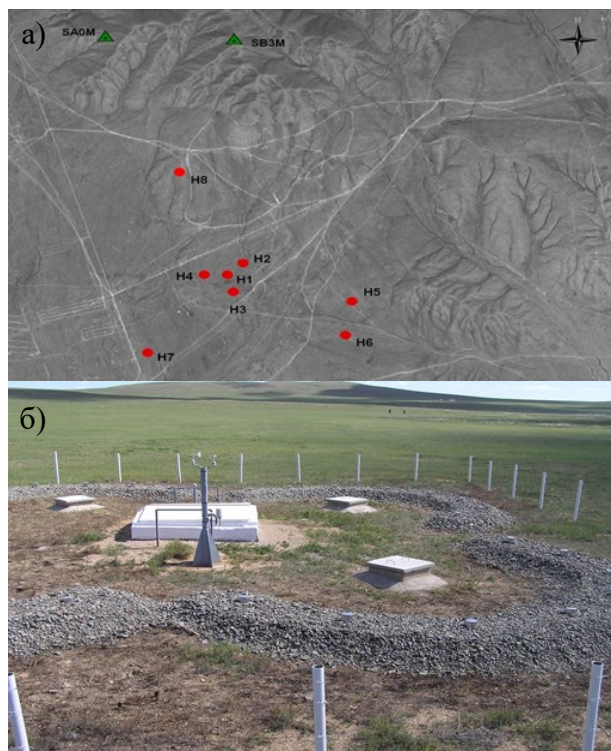
*Түлхүүр үг:* Инфра авианы сүлжээ станц, зөөврийн станц, шуугиа, спектр

### ОРШИЛ

Цөмийн Тэсэлгээг Бүрэн Хориглох Гэрээний Байгууллага (СТВТО), Олон Улсын Хяналтын Систем (IMS)-ээс инфра авианы дэлхийн сүлжээ байгуулах ажлын хүрээнд 2000 оны сүүлчээр 8 элемент бүхий бүлэг станцыг Монгол улсад суурилуулсан байдаг ((Preparatory Commission For the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization) 2002).

Инфра авианы I34MN сүлжээ станц нь Улаанбаатар хотоос 50 км-ийн зайд, Таван толгойн Цэргийн ангийн ойролцоо байрладаг. Сүлжээ станцын бүрэлдэхүүн нь төвдөө нэг станцтай (Н1), дундаа геометрийн зөв дүрс бүхий гурвалжин хэлбэрийн гурван элементтэй (Н2, Н3, Н4), гадна талдаа дөрвөн элементтэй (Н5, Н6, Н7, Н8) ба элементүүд хоорондоо 1-3 км зайтай (Зураг 1).

Нэмж дурдахад элемент бүрийг гурав гурваар нь бүлэглэж 64 дэд бүлгүүдийг



Зураг 1. Инфра авианы I34MN сүлжээ станц: а) байршил, б) станцын бүтэц

үүсгэж сигналын бүртгэх чадварыг нэмэгдүүлэх боломжтой бөгөөд хамгийн ойр орших цэргийн ангийн хээрийн буудлага, хотын шуугиа, тэсэлгээнээс үүсэх акустик долгион зэргийг тасралтгүй бүртгэн авч байна.

Францын цөмийн энергийн комиссариатын зохион бүтээсэн 32 агаарын оролттой салхины дуу чимээг бууруулах

## СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Инфра авиаг бүртгэгдэх байдлыг хязгаарлах хамгийн том хүчин зүйлийн нэг бол салхины чимээ юм (McKenna.S.H 2005). Энэ дуу чимээ нь акустик мэдрэгч сенсороор дамждаг турбулент урсгалын улмаас үүссэн даралтын хэлбэлзлээс үүсдэг. Эдгээр турбулент хэлбэлзлийн хэмжээ нь сантиметрээс хэдэн арван метр ба түүнээс дээш хэмжээтэй байдаг.

Станцын сигнал болон шуугианы харьцаа нь сигналын хүчийг, суурь шуугианы хүчин чадалтай харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдоно (1).

$$SNR = \frac{P \text{ signal}}{P \text{ noise}} \quad (1)$$

## ХЭМЖИЛТ

Анх 2016 онд, Таван толгой цэргийн ангийн дэргэд зөөврийн станцыг суурилуулсан. Салхины дуу чимээний түвшин, зөөврийн станцад бүртгэгдэх сигналын хэлбэр, станцын тохируулга зэргийг байнгын станцтай харьцуулахын тулд зөөврийн станцыг байнгын сүлжээ станцын дэргэд суурилуулсан болно. Зөөврийн станцыг 2 дахин багасгаж 16 агаарын оролттой, 4м цацраг хэлбэрийг 2 метрын уян хоолойгоор холбосон бүтэцтэйгээр зохион байгуулсан болно (Зураг 2).

SIMM зөөврийн станцын тохируулгыг хийж, хэвийн ажиллагаанд оруулан, нэг хоногийн буюу 24 цагийн хугацаатайгаар ажиллуулсан болно. Зөөврийн станцын бүртгэгдэх шуугианы түвшинг тухайн өдрийн байнгын станцын

систем нь 18 метрийн сарнай хэлбэрийн, 8 салаагаар хуваагдсан 4 салаа бүхий уян хоолойноос бүрдэх бүлэг станцыг 2-4 дахин багасгаж 8-16 агаарын оролттой 2-4 м цацрагийг хэлбэрийн 2 метрийн уян хоолойгоор холбож салхинаас үүсэх дуу чимээг бууруулах жижиг системийг (J.Webster 2021) тус тус байгуулж станцуудыг ажиллагаанд оруулсан болно.

Энд:  $P$  нь дундаж хүч

Сигналыг ихэвчлэх логарифм дицибелийн хуваарийг ашиглан илэрхийлдэг. Тэгвэл Дицибелийн тодорхойлт дээр үндэслэн сигнал ба шуугиаг дБ-ээр дараах байдлаар илэрхийлж болно (1, 3).

$$P \text{ signal, dB} = 10 \log_{10} (P \text{ signal}) \quad (2)$$

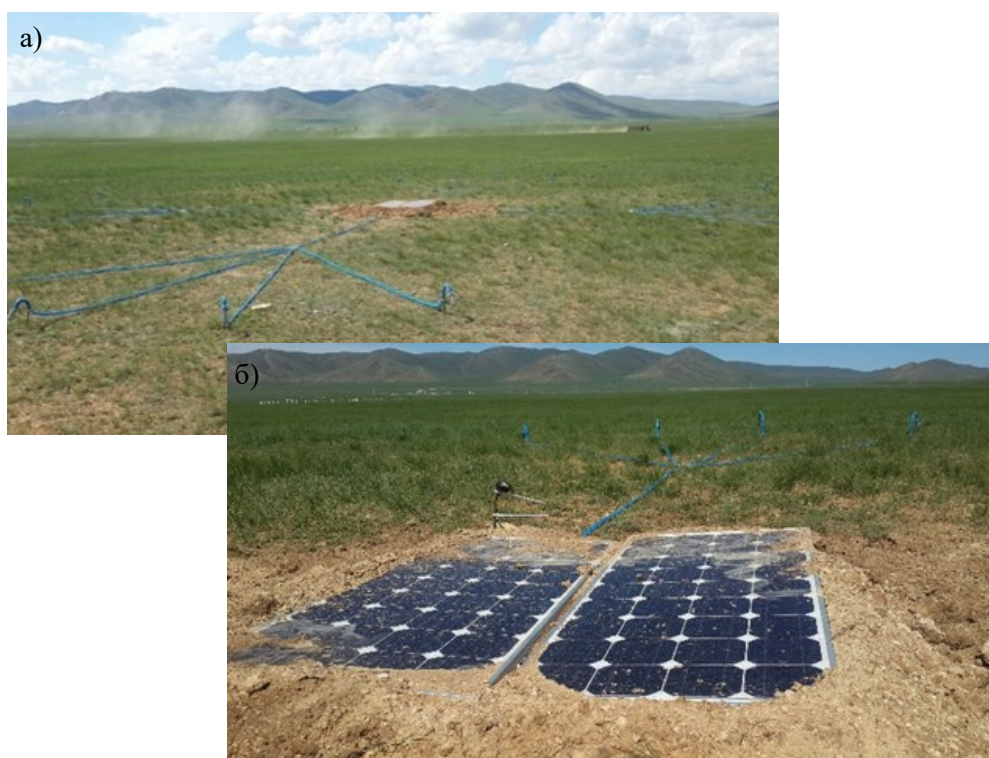
буюу

$$SNR(\text{dB}) = 10 \log \left( \frac{P \text{ signal}}{P \text{ noise}} \right) \quad (3)$$

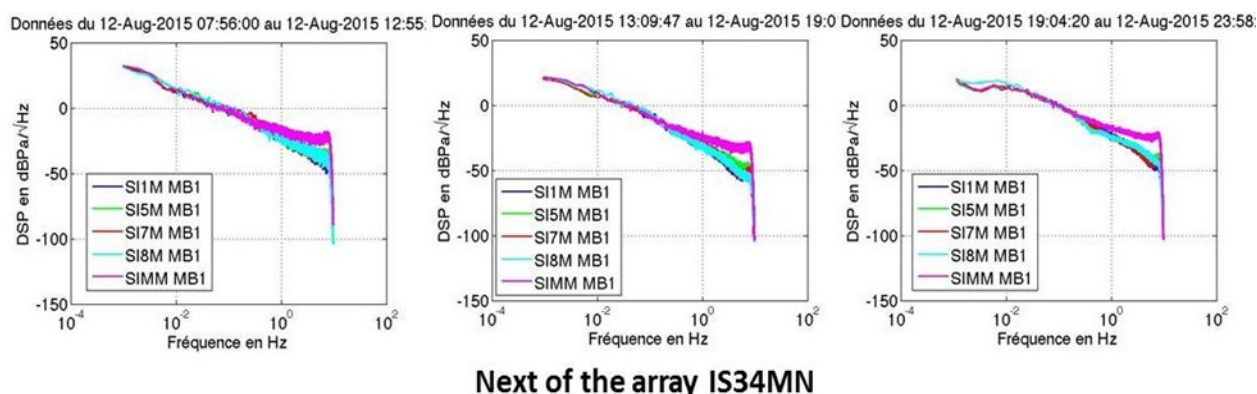
(Wikipedia contributors. 2013)

шуугианы түвшинтэй харьцуулан шуугианы спектрийг тодорхойлоход зөөврийн станцын шуугианы түвшин 12-17 дБ-ээр өндөр байв. Энэ нь зөөврийн станцыг суурилуулахдаа шуугианы түвшинг бууруулах хайрган хучилт хийгээгүйтэй холбоотой гэж үзэж байна. Зөөврийн болон байнгын станцын тухайн өдрийн шуугианы түвшинг харьцуулсан спектрийг (Зураг 3) харуулав.

Үүний дараа, инфра авианы I34MN сүлжээ станцаас баруун хойш 2 орчим км-ын зайд багахан модтой салхи багатай байршлыг сонгон авч зөөврийн станцыг дахин суурилуулан. Энэ удаад зөөврийн станцыг 4 дахин багасгаж 8 агаарын оролттой, 2м цацраг хэлбэрийг 2 метрын уян хоолойгоор холбосон бүтэцтэйгээр зохион байгуулсан (Зураг 4).



Зураг 2. Зөөврийн станц: а) задгай талбайд суурилуулсан байдал: б) тэжээлийн үүсгүүр

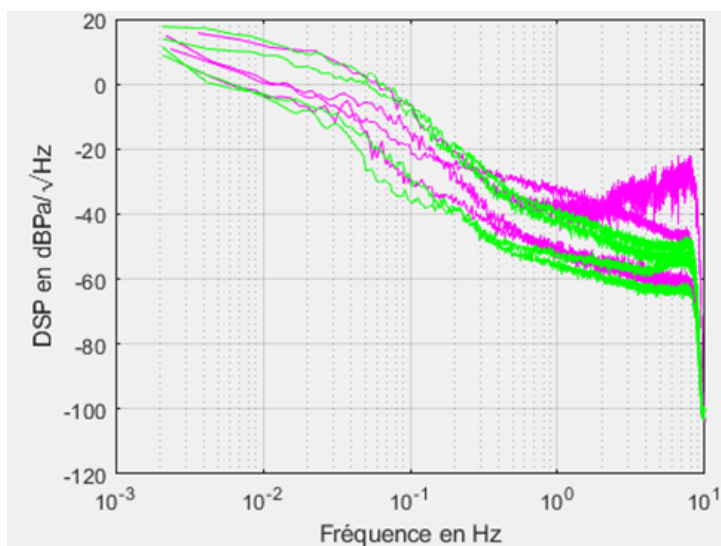


Зураг 3. Байнгын станц болон зөөврийн станцын шуугианы түвшинг харьцуулсан байдал (SIMM зөөврийн станцыг ягаан өнгөөр, I34MN байнгын станцын 8-н элементийг бусад өнгөөр дүрслэв)

Энэхүү станц нь далайн түвшинээс 1350 м өргөгдсөн өвс ургамал ихтэй уулын ам газар байрлана. Модтой талбайг тухайн станцад салхинаас үүсгэгдэх шуугианы түвшнийг бууруулж, дуу үүсгэгчээс ирэх долгион тод бичигдэж, мэдээлэл бүртгэгдэх байдал сайжирна гэж үзсэнээс дээрх газрыг сонгосон болно. (Ч.Баярсайхан. 2012). SIMM гэх зөөврийн

станцад тохируулагыг хийж, 10 хоногийн хугацаатай суурилуулан мэдээллийг бүрдүүлсэн болно. Модтой талбайд суурилуулсан зөөврийн станцын бүртгэгдэх шуугианы түвшинг тухайн өдрийн байнгын станцын шуугианы түвшинтэй харьцуулан шуугианы спектрийг тодорхойлоход зөөврийн станцын шуугианы түвшин 10-15дБ-ээр





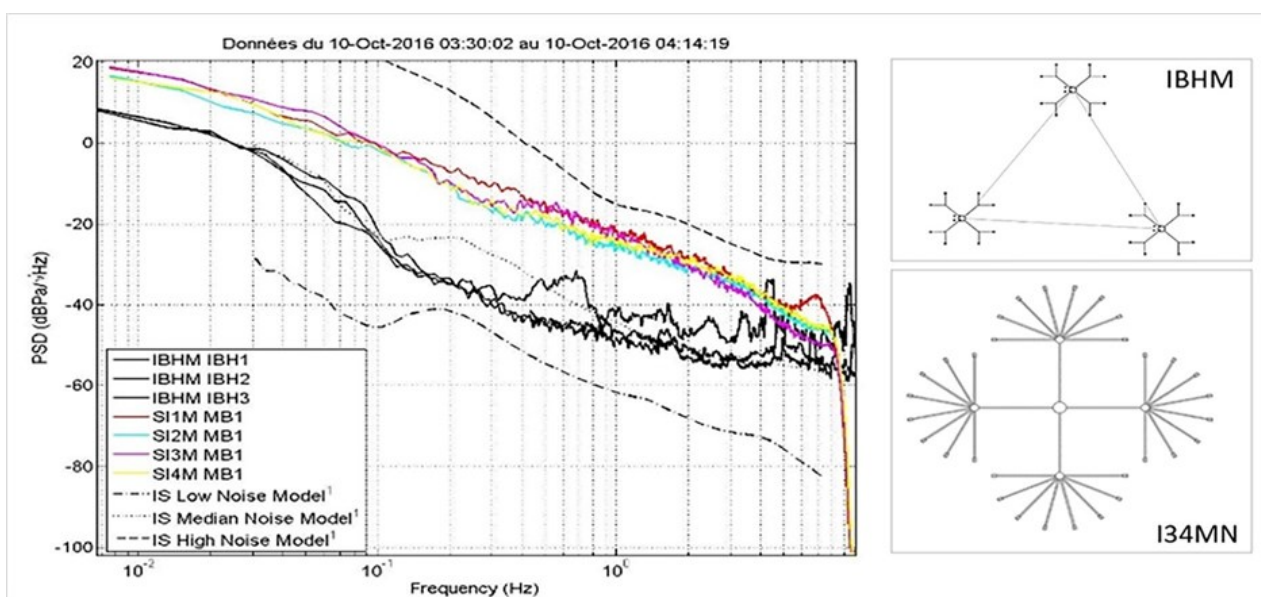
Зураг 6. Хоёр зөөврийн станцуудын шуугианы түвшинг харьцуулсан байдал (модтой талбайн станцын шуугианы спектрийг ногооноор, задгай талбайн станцын шуугианы спектрийг ягаанаар дүрслэв)

буурсан байв. Зөөврийн болон байнгын станцын тухайн өдрийн шуугианы түвшинг харьцуулсан байдлыг (Зураг 5) харуулав.

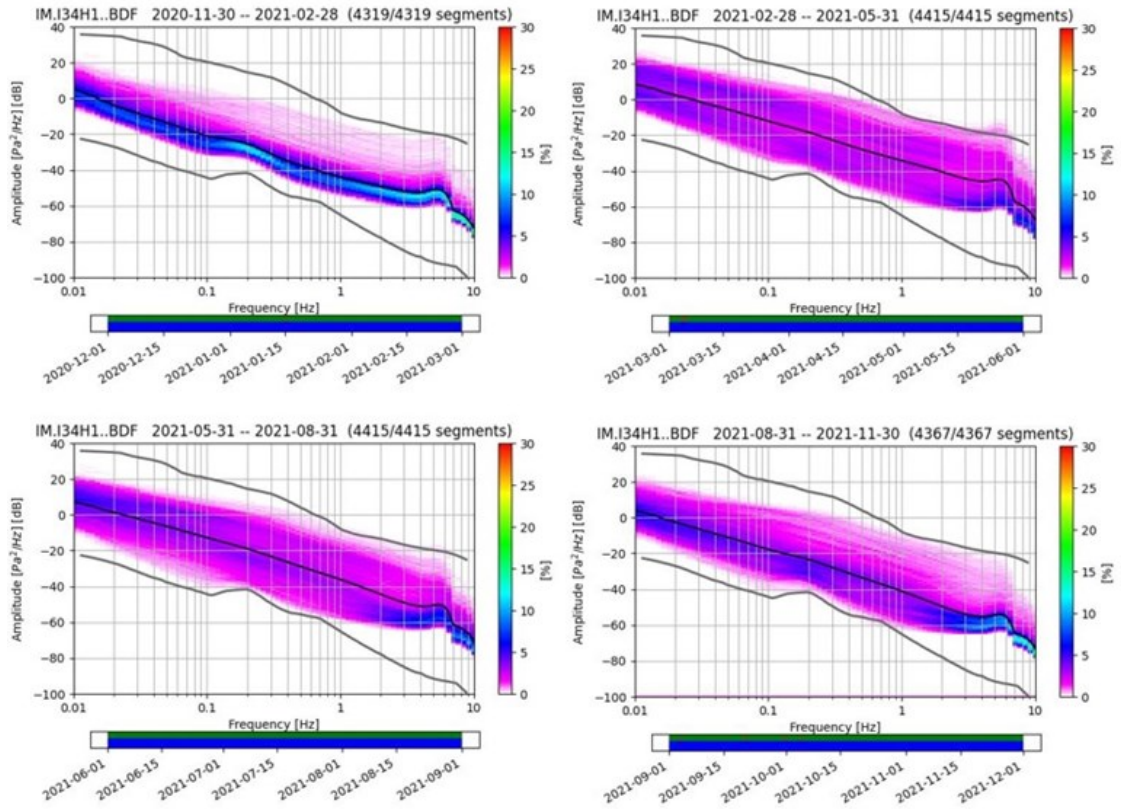
Задгай болон багахан модтой талбайд суурилуулсан зөөврийн станцуудын өөр өөр цаг хугацаанд ажиллуулсан мэдээллийг хооронд харьцуулахад 1-10 Гц-ийн давтамжийн мужид модтой талбайд суурилуулсан зөөврийн станцын бүртгэгдэх шуугианы түвшинг (ногоон өнгөөр) -40-60дБ, задгай талбайд

суурилуулсан зөөврийн станцын бүртгэгдэх шуугианы түвшинг (ягаан өнгөөр) -20-40дБ байв (Зураг 6).

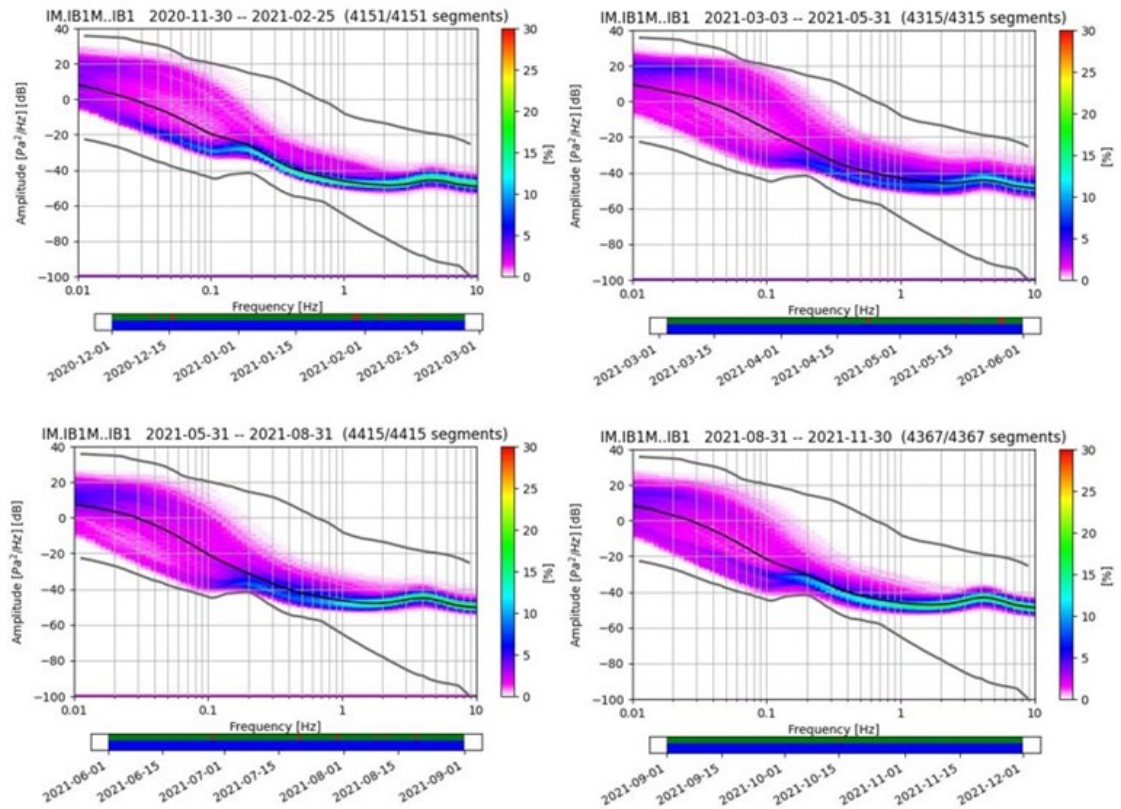
Зөөврийн станцуудын ажилласан хугацаа нь харьцангуй бага байсан тул инфра авианы мэдээллийг хангалттай цуглуулж чадаагүй болно. Гэсэн хэдий ч эхний гарсан үр дүнгээс харахад зөөврийн станцыг задгай талбайд суурилуулснаас модтой талбайд суурилуулах нь илүү үр дүнтэй болохыг харуулж байна.



Зураг 7. Байнгын станц болон Бүрэг хангай зөөврийн станцын шуугианы түвшинг харьцуулсан байдал



Зураг 8. Байнгын станцын шуугианы түвшинг улирлаас нь хамааруулан гаргасан байдал



Зураг 9. Зөврийн станцын шуугианы түвшинг улирлаас нь хамааруулан гаргасан байдал

2017 оноос эхлэн зөөврийн станцын элементийг өргөжүүлэх, байршлыг өөрчлөх ажлуудыг хийж эхэлсэн. Булган аймгийн Бүрэгхангай сумын нутагт, өтгөн ой модтой талбайг сонгон зөөврийн станцыг суурилуулж, мэдээллийг бүрдүүлсэн. Энэхүү станц нь инфра авианы I34MN сүлжээ станцаас 150 гаруй километр, мөн Багануурын уурхайгаас 350 орчим км зайтай байхаар сонгосон. Учир нь Багануурын уурхайгаас ирэх дууны долгионы бүртгэх боломжит зай гэж үзсэн.

Энэ удаад зөөврийн станцыг 4 элементтэй (голдоо нэг), 24 агаарын оролттой, 12 хүлээн авах хоолой бүхий цацраг хэлбэрийн бүтэцтэй байхаар зохион байгуулсан.

Өмнөх судалгаагаар инфра авианы сигналын бүртгэгдэх байдал нь өвөл болон зуны улиралд харилцан адилгүй буюу өвлийн улиралд шуугианы түвшин буурч байгааг тогтоосон (Л.Тунгалаг 2014).

## **ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН**

Зөөврийн станцыг зардал багатай, энгийн хэлбэр бүтэцтэй байхаар өөрчлөн туршиж үзлээ. Мөн суурилуулах орчин нөхцөлийг сольж, урт болон богино хугацаанд ажиллуулсан үр дүнг харьцууллаа. Модтой талбайд суурилуулсан станцын мэдээллээс шуугианы түвшинг хамгийн ихдээ 20дБ-ээр хүртэл буурч байгаа нь ажиглагдсан. Тэгвэл задгай талбайд суурилуулсан

## **ДҮГНЭЛТ**

Таван толгой, Бүрэг хангай, Хүрэл тогоот зэрэг задгай болон модтой талбайд зөөврийн станцуудыг суурилуулж, станцын загварыг хэд хэдэн янзаар зохиож, богино болон урт хугацаагаар ажиллуулж туршилтын хэмжилтийг хийлээ.

Зөөврийн станцыг суурилуулахад орчны нөхцөл чухал байгаа харагдаж байна. Задгай талбайд станц суурилуулахад шүүлтүүрийн системийг хангалттай хийх шаардлагатай, модтой талбайд станцыг

Тэгвэл өвлийн улиралд ажилласан үеийн зөөврийн станц дахь шуугианы түвшиний өөрчлөлийг харахын тулд 2017-2018 оны байнгын болон зөөврийн станцуудын шуугианы түвшинг хооронд нь харьцууллаа. Бүрэгхангайн талбайд суурилуулсан зөөврийн станцын бүртгэгдэх шуугианы түвшинг тухайн өдрийн сүлжээ станцын шуугианы түвшинтэй харьцуулан шуугианы спектрийг тодорхойлоход шуугианы түвшин 20дБ-ээр буурсан байв (Зураг 7).

2020 оноос, Улаанбаатар хот, Хүрэл тогоот, өндөршил нь 1600 м, өтгөн ой модтой талбайг сонгон зөөврийн станцыг дахин суурилуулан мэдээллийг бүрдүүлсэн. Зөөврийн станцыг Бүрэг хангайд суурилуулсантай ижил байхаар зохион байгуулсан. 2020-2021 оны байнгын болон зөөврийн станцуудын шуугианы түвшинг улирал бүрт харьцуулан зурсан болно (Зураг 9).

станцын мэдээллээс харахад шуугианы түвшин хамгийн багадаа -10дБ хүртэл нэмэгдэж байна. Байнгын сүлжээ станцын хувьд шуугиаг бууруулах зорилгоор хайрган хучилтыг хийсэн байдаг бол зөөврийн станцын шуугиаг бууруулахад ямар нэгэн шүүлтүүрийн систем бүрдүүлээгүй, хайргаар хучилт хийгээгүй болно.

суурилуулахад өтгөн ой мод нь тодорхой хэмжээний шүүлтүүр болж өгч байна. Эндээс модтой талбайг сонгож станцыг суурилуулах нь илүү үр дүнтэй байна.

Нөгөө талаас станц суурилуулсаны дараах ажиллах хугацаа чухал байна. Байнгын станцын мэдээллийг зөөврийн станцын мэдээлэлтэй харьцуулахад хоёр өөр үр дүн харагдаж байна. Үүнд:

Нэгдүгээрт: Байнгын станц нь орчны шуугиаг бууруулах системээр



тоноглогдсон (хайрган хучилт, филтерийн систем г.м) боловч голын хөндийд байрласан зэрэг нь байнгын шуугиатай байх нөхцлыг бий болгож байна. Энэ орчин нь сигнал нь шуугианы (noise) түвшинг давж гарч чадахгүй байх (тэсэлгээнээс үүсэх акустик сигнал орчны шуугиаг давж гарч бүртгэгдэх).

Хоёрдугаарт: Зөөврийн станц нь богино хугацаагаар суурилуулсан учир инфра авианы мэдээлэл бүртгэгдэх байдлыг (ой мод, өвс ургамал нь филтерийн үүрэгтэй ) гол болгосонгүй орчны шуугианы түвшинг байнгын станцтай харьцуулан тодорхойлохыг зорьсон.

Гуравдугаарт: Зөөврийн станцыг 2019 оноос хойш урт хугацаагаар Хүрэл тогоот

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн

## НОМЗҮЙ

- Preparatory Commission For the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization. 2002. CTBTO - Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. Austria. <https://www.ctbto.org/our-work/ims-map>.
- J.R.Abbott. 2014. "Optimization of Wind Fence Enclosures For Infrasonic Wind Noise Reduction." Electronic Theses and Dissertation. <https://egrove.o;emiss.edu/etd/773>.
- J.Webster. 2021. "An experimentalist's overview of eind reduction system in infrasound measurements." The Journal of Acoustical Society of America <https://doi.org/10.1121/10.0007769>.
- McKenna.S.H. 2005. "Infrasound Wave Propagation over Near Regional and Tele-infrasonic Distance,." Sounthern

болон Булган аймгийн Бүрэг хангай сумдад суурилуулснаар мэдээлэл бүртгэгдэх байдал илүү сайжирсан үр дүн гарсан.

Үүнд: 0.5-4.5 Гц давтамжийн мужууд дахь сигналуудын улирлаас хамаарч бүртгэгдэх байдал нь байнгын станцаас илүү байгаа нь харагдлаа (зураг 9). Ер урт хугацаагаар суурилуулсан станцын мэдээллийн хувьд тодорхой үр дүнд хүрэх боломжтой байна.

Салхины хурдны функц дахь, даралтын өөрчлөлтөд анализ хийх, эдгээр өөрчлөлтүүдийг улирлаар нь эсвэл өдөр тутам болж байгааг байнгын станцын мэдээлэлтэй харьцуулан судлахад чухал ач холбогдолтой юм.

хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

Methodist University, PhD Thesis.

- Wikipedia contributors. 2013. "Signal to noise ratio." From Wikipedia, the free encyclopedia oct. Нэвтэрсэн 2023 оны oct 17. [https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio).
- Л.Тунгалаг, Ч.Баярсайхан. 2014. "Сигнал шуугианы чадлын спектрийг тодорхойлох." Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences 57-64.
- Ч.Баярсайхан. 2012. "Инфра авианы долгион тархалтын зүй тогтлыг I34MN станцаар сайжруулан судлах сейсмо акустик анализ." хууд.124-127.

## REDUCTION OF THE NOISE LEVEL OF THE INFRASOUND MOBILE STATION

Bayarsaikhan Chimedtseren<sup>1\*</sup>, Tungalag Lkhagva<sup>1</sup>, Tuguldur Ganbold<sup>1</sup><sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian Academy of Sciences*\*Corresponding author: [bayarsaikhan@iag.ac.mn](mailto:bayarsaikhan@iag.ac.mn)

Article info: accepted 04 December 2023

**Abstract.** The I34MN infrasound network station (permanent station) is located near Ulaanbaatar city and close to the Tavan Tolgoi military unit. According to the station's data, it primarily detects high-frequency signals occurring in the vicinity of Ulaanbaatar and determines the seasonality of these signals. Efforts are underway to test and deploy a portable station to evaluate these patterns. Mobile stations are being installed in various locations to start a data collection. A smaller station was first established near Ulaanbaatar and the Tavan Tolgoi military unit, aimed at finding solutions to minimize noise from wind and record acoustic signals from explosions. To develop a simple, cost-effective method to improve the confinement of pipes and porous pipes, locations with open fields, lightly wooded areas, and densely wooded areas were selected. These sites were tested to reduce wind noise at infrasound frequencies between 0.01 and 10 Hz, as noted by J.R. Abbott in 2014. Tested results are presented.

**Key words:** *Infrasound network station, portable station, noise, specter*

## БАРИЛГЫН СЕЙСМИК РЕСПОНСЫН СУДАЛГАА

М.Дорждаваа<sup>1\*</sup>, А.Мөнхсайхан<sup>1</sup>, М.Мөнгөншагай<sup>1</sup>, Ч.Одонбаатар<sup>1</sup><sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн\*Зохиогчийн цахим хаяг: [dorjdavaa@iag.ac.mn](mailto:dorjdavaa@iag.ac.mn)

Өгүүлийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Инфра авианы I34MN сүлжээ станц (байнгын станц) нь Улаанбаатар хот, Таван толгойн цэргийн ангийн ойролцоо байрладаг ба станцын мэдээллээр Улаанбаатар хот орчмын бүс нутагт болж буй өндөр давтамжийн сигналуудыг тодорхойлох, мөн улиралаас хамаарсан сигналын бүртгэгдэх байдлыг тодорхойлох ажлуудыг түлхүү хийж байна. Эдгээр зүй тогтлыг үнэлэх зорилготой зөөврийн станцыг турших, хэрэглээнд нэвтрүүлэхийг зорьж байна. Хэд хэдэн газар зүйн байршилд зөөврийн станцыг суурилуулан мэдээлэл бүрдүүлэх ажлыг эхлүүлээд байгаа. Жижиг хэмжээний станцыг анх Улаанбаатар хот, таван толгой цэргийн ангийн орчим суурилуулж салхинаас үүсэх чимээг бууруулах шийдэл олох, тэсэлгээнээс үүсэх акустик сигналыг бүртгэх зорилготой байв. Энгийн, зардал багатай, хоолой болон сүвэрхэг хоолойн хязгаарлалтыг сайжруулах технологийг хөгжүүлэхийн тулд 0.01-10 Гц-ийн хоорондох хэт авианы давтамжтай (J.R.Abbott. 2014) салхины чимээ шуугианыг багасгахын тулд задгай талбай, багахан модтой талбай, өтгөн модтой талбайг тус тус сонгон түүгээрээ салхины хаалтыг орлуулан туршиж үзсэн үр дүнг танилцуулж байна.

*Түлхүүр үг: сейсмик респонс, спектрал харьцаа, газар хөдлөлт, барилгын респонс, микротрemor*

## ОРШИЛ

2000 оноос эхэлж Улаанбаатар хот хурдацтай өргөжөн тэлж, хүн амын тоо ихсэж, үүнийгээ дагаад олон барилга байгууламжууд ихээр баригдсан (О.Баасантогтох, 2013). Хот тэлэхийн хэрээр нүүр тулан гарч байгаа тулгамдсан асуудлын нэг нь газар хөдлөлтийн гамшгийн эрсдэл юм. Учир нь Монгол орон газар хөдлөлтийн идэвхитэй бүсэд оршдог ба Монгол орны ерөнхий мужлалын зургаар Улаанбаатар хот нь VII-IX баллын бүсэд оршдог байна (М.Дорждаваа, 2022).

Сүүлийн жилүүдэд Улаанбаатар хотыг тойрсон бүс нутгуудад болсон газар хөдлөлтүүд хотын иргэдэд мэдрэгдсэн ба

шалтгаан нь барилгын хувийн хэлбэлзлийн давтамж тухайн хүчтэй газар хөдлөлтөөс ирж буй долгионы зонхилох давтамжтай давхацсан байх магадлалтай. Барилгын хувийн хэлбэлзлийн давтамжийг газар хөдлөлт бүртгэх багажаар тодорхойлдог. Гэвч барилгуудад багаж суурилуулаад газар хөдлөхийг хүлээн гэдэг урт хугацаа, олон тооны багаж төхөөрөмж, хүний нөөц шаардсан ажил болно. Тиймээс зөвхөн газар хөдлөлтөөс ирэх долгионыг бүртгэх бус барилгад нөлөөлж буй бусад гадны долгионууд буюу шумын бичлэгээр барилгын хариу спектрыг тооцоолж болох эсэхийг энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго юм.

## ОНОЛЫН ҮНДЭС

Аливаа газар хөдлөлтөөс ирэх долгионыг газар хөдлөлт хэмжих багажаар

хүлээн авдаг бөгөөд багажинд бүртгэгдсэн долгионыг Гринийн функц-ээр илэрхийлж

болно. Газар хөдлөлт бүртгэх багажийг барилга дээр байрлуулсан гэж үзвэл Гринийн функц нь хугацааны тооллын системд дараах хэлбэртэй байна.

$$G(t) = Sg(t) * Sp(t) * Ss(t) * Sb(t) * Si(t) \quad (1)$$

Үүнд :

\*– Конволюцийн оператор,  $G(t)$  – Гринийн функц,  $Sg(t)$  – голомтын функц,  $Sp(t)$  – долгион тархах чигийн функц,  $Ss(t)$  – талбайн респонс функц,  $Sb(t)$  – барилгын респонс функц,  $Si(t)$ – багажийн респонс функц

Тэгшитгэл (1)-ийг конволюцийн теоремоор давтамжийн тооллын системд хөврүүлбэл дараах хэлбэрээр бичигдэнэ.

$$G(f) = Sg(f) \cdot Sp(f) \cdot Ss(f) \cdot Sb(f) \cdot Si(f) \quad (2)$$

Тэгшитгэл (2) нь барилга дээр бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн долгионы спектрийг илэрхийлнэ. Харин өөр нэг багажийг барилгын гадна талд суурилуулсан гэж үзвэл (үүнд барилга нь

### СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Энэхүү судалгаанд газар хөдлөлт бүртгэх хоёр багаж буюу сейсмометр ашигласан ба нэг сейсмометрыг “Romeo Juliet” 16-н давхар барилгын дээд давхарт (R02 гэж нэрлэв), нөгөө сейсмометрыг Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Газар хөдлөл судлал салбарын зоорийн давхарт хадан хөрсөн дээр (R01 гэж нэрлэв) суурилуулсан. Багажууд Англи улсын “Guralp Systems Ltd” компанид үйлдвэрлэгдсэн өргөн зурвасын “3ESPC”, “CMG-3ESP” сейсмометрүүд ба “60s-100Hz”, “120s-50Hz” давтамжийн респонстой, 2000V/m/s ( $2 \times 1000V/m/s$ ) мэдрэх чадвартай. Дижитайзерийн хувьд Канад улсын “REF TEK Systems Inc” компанийн 100sps-тэй “RT 130S” загварыг ашигласан.

2022 оноос 2023 оны хооронд сейсмометр бүртгэгдсэн дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлтийн бичлэгийг судалгаанд ашигласан. Хүснэгт 1-г сейсмометр бүртгэгдсэн хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн болсон хугацаа, байршил, хүч ба багаж

тухайн хөрсөнд буцааж тараах долгионыг бага гэж үзсэн) түүний Гринийн функц нь

$$G1(f) = Sg1(f) \cdot Sp1(f) \cdot Ss1(f) \cdot Si1(f) \quad (3)$$

болно.

Хэрэв нэг голомтоос барилга дээр болон барилгын хажууд суурилуулсан ижил респонстой багажууд дээр долгион ирж бүртгэгдсэн гэж үзвэл тэгшитгэл (1)-ийг тэгшитгэл (2)-г харьцуулж барилгын респонс функцийг мэдэж болно.

$$\frac{G(f)}{G_1(f)} = Sb(f) \quad (4)$$

Үүнд голомтын функцүүд ( $Sg(f) = Sg1(f)$ ), долгион тархах чигийн функцүүд ( $Sp(f) = Sp1(f)$ ), талбайн респонс функцүүд ( $Ss(f) = Ss1(f)$ ), багажийн респонс функцүүд ( $Si(f) = Si1(f)$ ) тэнцүү гэж үзнэ.

Тэгшитгэл (4)-ийг ашиглаж барилгын сейсмик респонсыг H/V спектрал харьцаа (Nakamura, 1989), Standard Spectral Ratio (SSR) буюу стандарт спектрал харьцаа (Borcherdt & Gibbs, 1976) аргуудыг ашиглаж олж болно.

хүртлэх зайн мэдээллийг харуулав. Зураг 1-т хүчтэй газар хөдлөлт болсон голомтын байршил ба багаж суурилуулсан барилгын байршлыг Google Earth програм ашиглан үзүүлэв.

Хүснэгт 1. Сейсмометр бүртгэгдсэн хүчтэй газар хөдлөлтүүд

Голомтын байршил	Он/сар/өдөр	Уртраг	Өргөрөг	Магнитуд (Ml)	Барилга хүртлэх зай (км)
Булган, Могод сум	2023-06-19	102.82	48.03	4.4	~309
Төв, Борнуур сум	2023-02-03	106.22	48.42	4.2	~78
Дундговь, Өлзийт сум	2022-10-28	106.72	45.22	4.9	~301
Сэлэнгэ, Ерөө сум	2022-05-20	107.12	49.35	4.0	~160



Зураг 1. Хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн болон сейсмометр суурилуулсан барилгын газарзүйн байршил



## МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Газар хөдлөлтийн бичлэгүүдийн боловсруулалтыг matlab болон python программ хангамжын үндсэн дээр гүйцэтгэсэн. R01 ба R02 сейсмометрт бүртгэгдсэн дөрвөн газар хөдлөлтийг байршлаар нь ангилан Зураг 2-т үзүүлээ. Боловсруулалтыг хийхдээ нэг өдрийн урттай бичлэгээс газар хөдлөлтийн долгион бичсэн хэсгийг тасалж авч дараа нь [0.5 – 20] Гц-н өргөн зурвасын филтер (Bandpass filter) ашигласан. Үүний дараа хурдны өөрчлөлтийг багажийн респонс 0.01, 0.02, 10, 20 Гц-ийн давтамжийн хязгаарт байхаар авсан.

### Газар хөдлөлтийн спектр харьцаа

Багажийн респонсыг авсаны дараа бичлэгүүдийг давтамжийн тооллын систем рүү хөрвүүлж спектрүүдийг харьцуулсан. Барилга дээр суурилуулсан R02 болон зоорийн давхарт хадан хөрс дээр суурилуулсан R01 сейсмометрт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн бичлэгүүдийн стандарт спектрал харьцааг Зураг 3-т үзүүлэв. Энэ стандарт спектрал харьцаа нь барилгын респонс функц  $S_b(f)$  буюу барилгын сейсмик респонсыг илэрхийлнэ.

R02 багажид бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн бичлэгийн H/V спектрал харьцааг Зураг 4-т үзүүлэв.

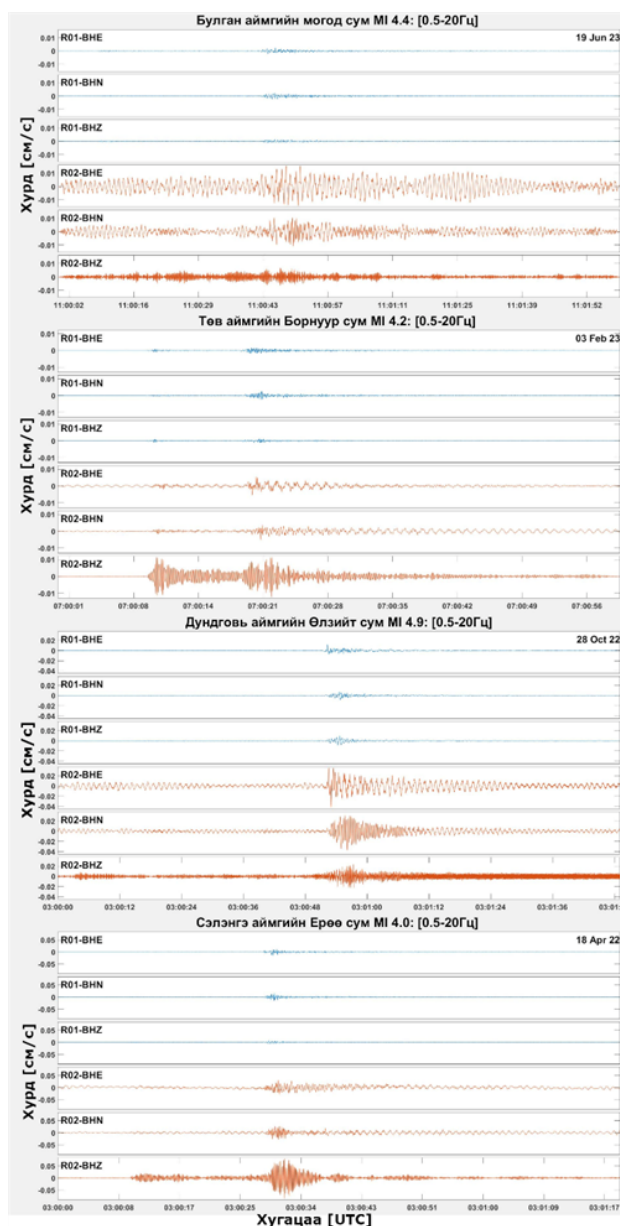
### Шумын спектр харьцаа

R02 болон R01 сейсмометруудэд бичигдсэн микротреморын хэмжилтийн мэдээллийг (шум) стандарт спектрал харьцааны аргачлалаар тооцоолсон үр дүнг Зураг 5-т, R02 сейсмометрт бичигдсэн

## ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

Ромео & Жульет барилга дээр суурилуулсан R02 сейсмометрийн газар хөдлөлтийн бичлэгийг Газар хөдлөл судлал салбарын зоорийн хадан хөрс дээр суурилуулсан R01 сейсмометрийн газар хөдлөлтийн бичлэгтэй стандарт спектрал харьцааны аргачлал ашиглан спектрүүдийн

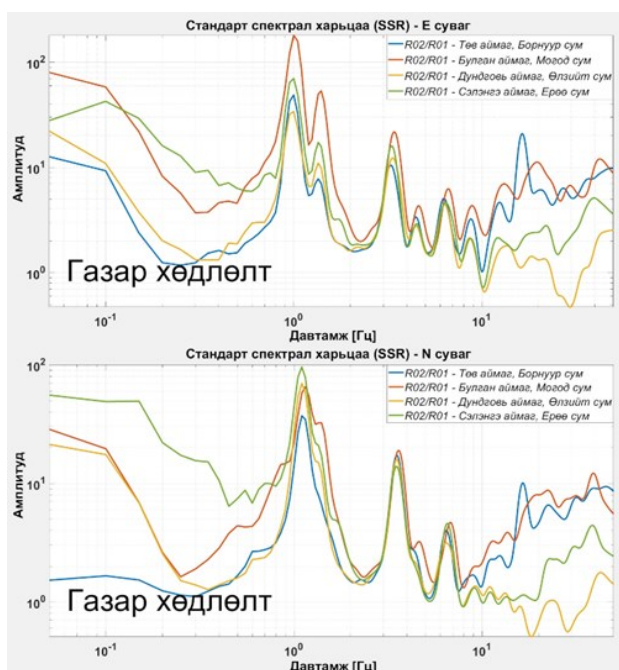
барилгын микротреморын хэмжилтийн бичлэгийн H/V спектрал харьцааны тооцооллын үр дүнг Зураг 6-т үзүүлэв.



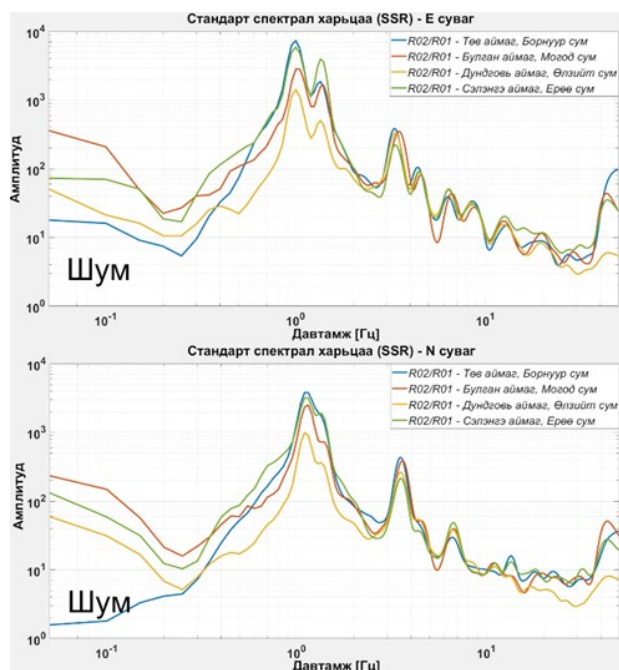
Зураг 2. R01 ба R02 сейсмометрт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн бичлэгүүд. R01 - цэнхэр өнгөөр, R02 - улбар шар өнгөөр тодруулав.

харьцуулсан (Зураг 3). Харьцуулалтын үр дүнгээс харахад газар хөдлөлтийн бичлэгийн спектр харьцааны зонхилох давтамж нь E болон N сувгууд дээр дунджаар 1.1Гц, 1.5Гц, 3.5Гц, 6.5Гц байна.

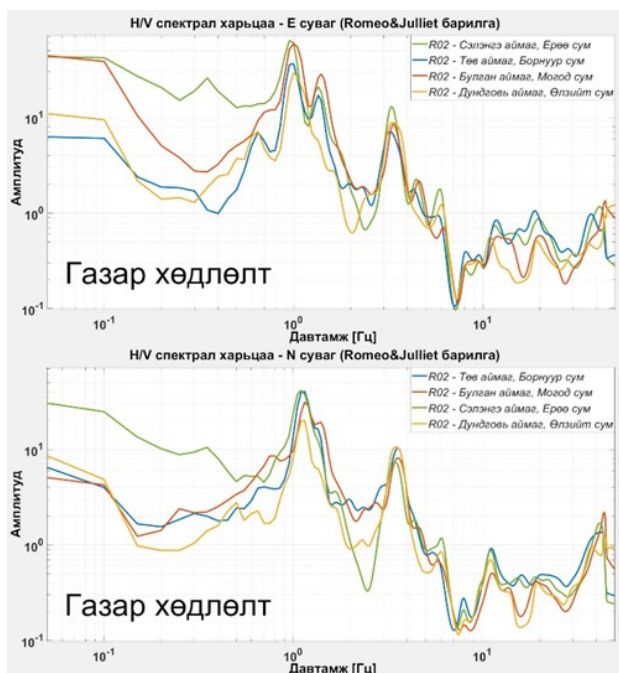
Харин R02 багажид бичигдсэн газар хөдлөлтүүдийн бичлэгийг H/V спектрал



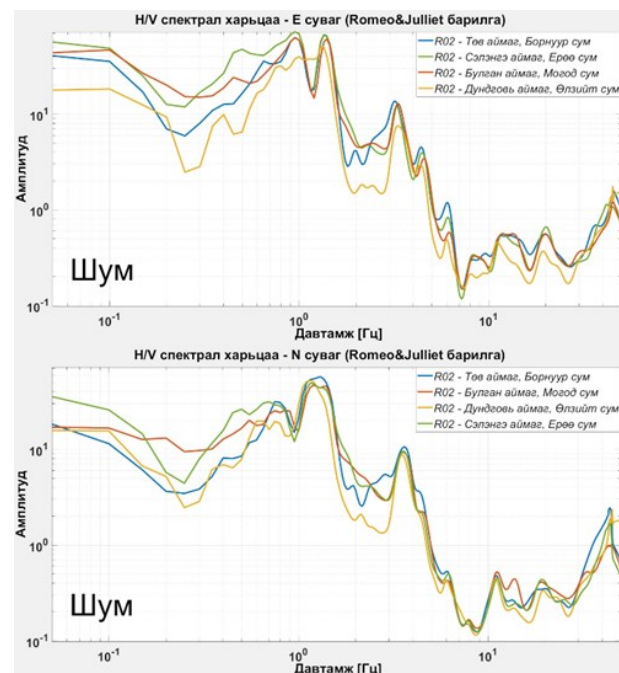
Зураг 3. R02 болон R01 сейсмометрт бүртгэгдсэн дөрвөн газар хөдлөлтийн бичлэгүүдийн стандарт спектрал харьцаанууд. (E ба N сувгаар)



Зураг 5. R02 болон R01 сейсмометрт бичигдсэн шумын бичлэгийн стандарт спектрал харьцаанууд (E ба N сувгаар)



Зураг 4. R02 сейсмометрт бүртгэгдсэн дөрвөн газар хөдлөлтийн бичлэгүүдийн H/V спектрал харьцаанууд (E ба N сувгаар)



Зураг 6. R02 сейсмометрт бичигдсэн шумын H/V спектрал харьцаанууд (E ба N сувгаар)

харьцааны аргачлал ашиглан тооцоолход (Зураг 4) спектр харьцааны зонхилох давтамж нь стандарт спектрал харьцааны аргачлал ашиглан тооцоолсон давтамжийн утгуудтай ижил байна.

Хоёр аргачлалаар тооцоолсон шумын бичлэгийн хувьд газар хөдлөлтийн бичлэгийг хоёр аргачлалаар тооцоолсон үр дүнгүүдтэй зонхилох давтамж нь ойролцоо байна (Зураг 5 ба Зураг 6).

Зураг 7-т стандарт спектрал харьцааны аргачлалаар тооцоолсон дөрвөн газар хөдлөлтийн бичлэгийг H/V спектрал харьцааны аргачлалаар тооцоолсон шумын бичлэгтэй харьцуулав. Тооцооллын үр дүнгээс харахад барилгын сейсмик респонс газар хөдлөлт хаана болохоос үл хамааран өөрчлөгдөхгүй байна. Мөн шумын бичлэгийн спектрал харьцаа газар хөдлөлийн спектрал харьцааны зонхилох давтамжуудтай давхцсан.

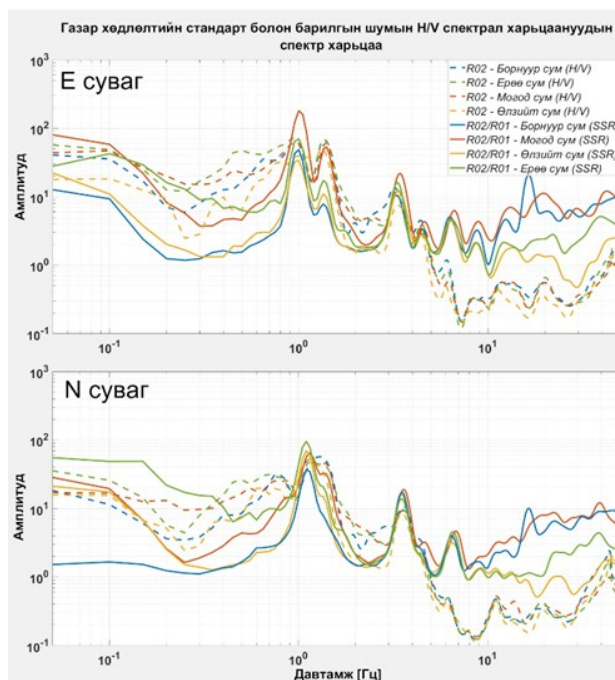
Амплитудын хувьд E суваг дээр газар хөдлөлтийн спектрүүд зонхилох давтамжууд дээр ойролцоогоор 5-200 дахин өсгөж байхад, N суваг дээр 3-100 дахин өсгөж байна. Харин шумын хувьд E суваг дээр ойролцоогоор 8-70, N суваг дээр 9-50 дахин өсгөж байна.

## ДҮГНЭЛТ

Судалгааны ажилд газар хөдлөлийг бүртгэх хоёр сейсмометр ашигласан ба 16 давхар Ромео & Жульет барилгын дээд давхарт, Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн газар хөдлөл судлал салбарын байрны зоорийн давхарт хадан хөрс дээр тус тус суурилуулсан. Хоёр сейсмометрүүдийн суурилуулсан байршлын хоорондын зай ойролцоогоор 58 метр.

Багажуудад бүртгэгдсэн магнитуд 4-өөс дээш болсон дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлтүүдэд тооцоолол хийсэн ба бүртгэгдсэн газар хөдлөлтүүд Улаанбаатар хотоос ойролцоогоор 300км-н радиуст болсон. Барилгын микротремор болон газар хөдлөлтийн чичрхийллийн спектрийг харьцуулан үзэхэд барилгын респонс нь

Эдгээр тооцооллын үр дүнг дүгнэхэд барилгын шумын бичлэгийг H/V спектрал харьцааны аргачлалаар тооцоолсон үр дүн барилгын сейсмик респонсыг илэрхийлж болохоор байна.



Зураг 7. Газар хөдлөлтийн бичлэгийн стандарт спектрал харьцааны үр дүнтэй шумын H/V спектрал харьцааны үр дүнтэй харьцуулсан график (E ба N сувгаар)

азимут болон газар хөдлөлтийн голомтоос үл хамааралтай байна.

Газар хөдлөлтийн бичлэгийн спектр харьцааны тооцоололд дунджаар 1.1Гц, 1.3-1.5Гц, 3.2-3.5Гц, 6.5Гц-н давтамжууд дээр өсгөлттэй байна. Микротреморын хэмжилтийн хувьд газар хөдлөлтийн бичлэгийн зонхилох давтамжтай ижил үр дүн үзүүлсэн.

Амплитудын хувьд хоёр суваг дээр газар хөдлөлтийн спектрүүд зонхилох давтамжууд дээр давтамжаасаа хамааран ойролцоогоор 3-200 дахин, шумын хувьд хоёр суваг дээр ойролцоогоор 8-70 дахин өсгөж байна.

Үүнээс дүгнэхэд барилгын микротреморын хэмжилтийн мэдээллийн H/V спектрал харьцааны аргачлалаар



тооцоолсон үр дүн барилгын сейсмик респонсыг давтамжийн хувьд илэрхийлж болохоор байна. Энэхүү судалгаа нь Ромео

& Жульет барилга дээр хийсэн тул тооцооллуудын үр дүн зөвхөн энэ барилгын хувьд хүчинтэй.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн

хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

## НОМ ЗҮЙ

Borcherdt, R. D., & Gibbs, J. F. (1976). Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66 (2): 467–500.

Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute/Tetsudo Gijutsu Kenkyujo*, 30, 25-33.

М.Дорждаваа, Ч. Э. (2022). Микротремор

хэмжилтээр барилгын динамик параметрийг тодорхойлох нь. *Барилга, байгууламжийн геотехникийн асуудлууд* (pp. 72-76). Улаанбаатар: ШУТИС-ын Барилга, Архитектурын сургуулийн Геотехникийн судалгааны төв.

О.Баасантогтох. (2013). Улаанбаатар хот: Төвлөрөл ба Асуудал. *Proceedings of the Mongolian Academy of Science*, Vol. 53 No 02 (206).

## SEISMIC RESPONSE STUDY OF A BUILDING

Dorjdavaa Myagmar<sup>1\*</sup>, Munkhsaikhan Amarsaikhan<sup>1</sup>, Mungunshagai Mendbayar<sup>1</sup>, Odonbaatar Chimed<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author: [dorjdavaa@iag.ac.mn](mailto:dorjdavaa@iag.ac.mn)

Article info: accepted 04 December 2023

**Abstract.** Since 2022, seismometers placed on the top floor of a 16-story building and on the rocky ground nearby have continuously measured microtremors. Four strong seismic waves were recorded during these measurements. To determine the building's response, we compared the H/V spectral ratio of the building's microtremor data with the standard spectral ratio of earthquake vibration data. The dominant frequencies derived from the spectral ratio of earthquake and building microtremor records were found to be similar. This suggests that the seismic response of the building can be effectively expressed in terms of frequency using the H/V spectral ratio method applied to the building microtremor measurement data.

**Key words:** seismic response, spectral ratio, earthquake, building response, microtremor



# ИНФРА АВИАНЫ СТАНЦУУДЫН МЭДЭЭЛЛИЙГ АШИГЛАН ТОНГА ГАЛТ УУЛЫН ДЭЛБЭРЭЛТЭЭС ҮҮССЭН ДУУНЫ ДОЛГИОНЫ ТАРХАЛТЫГ СУДЛАХ

Д.Хонгор<sup>1\*</sup>, Ч.Баярсайхан<sup>1</sup>, Л.Тунгалаг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн, Хүрээлэн, Газар хөдлөл судлах салбар

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [khongor@iag.ac.mn](mailto:khongor@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Номхон далайн өмнөд хэсэгт орших Тонгагийн Фонуафоу арлаас зүүн өмнө зүгт 30 км-ийн зайд орших Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай усан доорхи галт уул 2022 оны 1 дүгээр сарын 15 нд 04:15 (UTC) цагийн орчимд хүчтэй дэлбэрч, тэнгэрт үнс нурам цацаж, Тонга руу 1.2 метр (4 фут) цунамигаас үүсэх далайн усны долгион эрэгт хүрэхийг орон нутгийн CNN-ийн харьяа Радио Шинэ Зеландаас (RNZ) мэдээллэж анхааруулсан байдаг. Энэхүү хүчтэй дэлбэрэлтийг галт уулын дэлбэрэлтийн индексээр (VEI) 5+ гэж үнэлсэн бол НАСА-гийн мэдээлснээр хурдацтай нэмэгдэж буй үнсэн үүл 58 км-ийн өндөрт хүрсэн гэв. Тэгвэл энэхүү хүчтэй дэлбэрэлтээс үүссэн агаар мандлын долгион нь олон улсын хяналтын системийн (IMS) инфра авиа, газар хөдлөлт, гидроакустик зэрэг ажиглалтын станцуудад бүртгэсэн байв. Мөн Улаанбаатар хотоос баруун тийш 50 км зайд орших Таван толгой цэргийн ангийн ойролцоо байрлах IMS сүлжээ станцын нэг болох I34MN инфра авианы сүлжээ станцад бүртгэгдсэн.

**Түлхүүр үг:** Инфра авиа, Хунга, Тонга галт уул, Олон улсын хяналтын станцууд, Лямб долгион

## ОРШИЛ

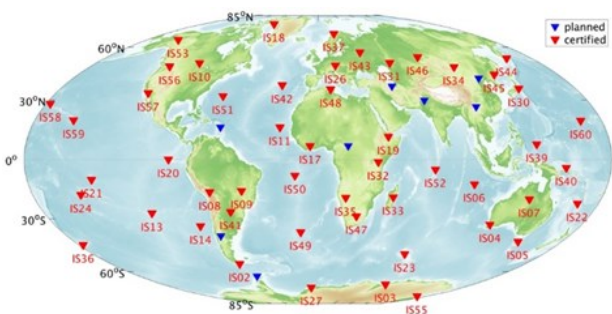
Хунга Тонга-Хунга Хаапай галт уул нь Энэтхэг-Австралийн хавтангийн доор Номхон далайн хавтангийн баруун субдукцын хөдөлгөөны улмаас үүссэн Тонга-Кермадек галт уул юм. Тухайн галт уулын идэвхжил 2009 болон 2014 болсон Сурцеяны дэлбэрэлтээс өмнө идэвхигүй байсан (R.G.Vaughan, 2010). Хиймэл дагуулын ажиглалтын тооцоонд үндэслэн 2009 оны дэлбэрэлт нь 7.6 км-ийн өндөрт үнсэн тоосонцор үүсгэж, нийт 0.0176 км<sup>3</sup> бодис ялгаруулж, галт уулын дэлбэрэлтийн индексээр (VEI) 2-той дэлбэрэлтийг үүсгэсэн байдаг. 2014-2015 оны идэвхжил нь таван долоо хоног үргэлжилсэн бөгөөд 10 км хүртэл өндөрт хүрсэн хийгээр баялаг үүлсээр танигддаг. Уг дэлбэрэлтүүд шинэ газар үүсэх шалтгаан болох шинэ материалуудыг үүсгэж, даруй элэгдэлд орж байлаа. 2021 оны 12 сард дэлбэрэлт эхэлж хэдэн долоо хоногийн турш үргэжилсэн галт уулын идэвхжилийн дараа Тонга

хүчтэй дэлбэрэлтийн үе шатанд орж, 2022 оны 1-р сарын 15-ны өдөр оргилдоо хүрсэн байна. Дэлбэрэлт маш хүчтэй байсан тул Тонгагаас 2383 км-ийн зайд орших Шинэ Зеландад дэлбэрэлтийн дуу сонсогдсон байна. 2021 оны 12 сард дэлбэрэлт эхэлж хэдэн долоо хоногийн турш үргэжилсэн галт уулын идэвхжилийн дараа Тонга хүчтэй дэлбэрэлтийн үе шатанд орж, 2022 оны 1-р сарын 15-ны өдөр оргилдоо хүрсэн байна. Дэлбэрэлт маш хүчтэй байсан тул Тонгагаас 2383 км-ийн зайд орших Шинэ Зеландад дэлбэрэлтийн дуу сонсогдсон байна. Цөмийн Дэлбэрэлтийг Хориглох Гэрээний байгууллага (CTBTO) дэлхий даяар байрлах инфра авианы 60 станцын сүлжээгээр агаар мандалд хяналтыг хийдэг (Зураг 1). Олон Улсын Хяналтын Систем (IMS) – ийн инфра авианы сүлжээ станцууд хоорондоо 1-9 км<sup>2</sup>-ийн талбайд 4 болон түүнээс микробарометрийн тархсан массиваас бүрдэнэ (Preparatory Commission

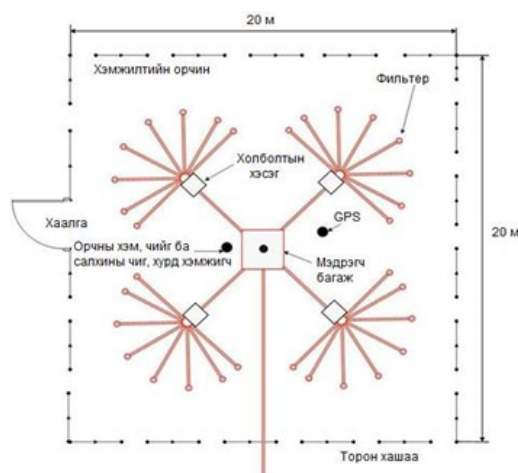
For the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization, 2002). Микробарометр бүр нь хүний чихэнд мэдэгдэхүйц маш бага давтамжтай агаар даралтын өчүүхэн өөрчлөлтийг бүртгэдэг (Зураг 2). Бүх сенсорууд нь жижиг хэмжээний саад чимээг багасгах зорилгоор салхины шуугианыг бууруулах системээр тоноглогдсон байдаг. 0.01-0.5 Гц-ийн зурваст инфра авианы шуугиан нь ерөнхийдөө салхины хурдны 1 м/с болгонд ~5 дБ-ээр нэмэгддэг (Walker and Hedlin, 2010). Суурилуулсан мэдрэгчийг нь микробарометр гэх бөгөөд 1 мПа хүртэл даралтын өөрчлөлтийг 20 Hz хэмжилтийн хурдтай бүртгэж авна.. Энэ багажийн сувгийн ренспонс нь ~0.01–5 Гц давтамжийн мужид зориулагдсан болно (Зураг 3).



Зураг 2. MB2000 загварын микробарометр



Зураг 1. Инфра авианы дэлхийн сүлжээ станцын байршил



Зураг 3. Станцын хоолой хэлбэрийн салхины шуугиа бууруулах систем

### МЭДЭЭЛЭЛ БҮРДҮҮЛЭЛТ

CTBTO -ийн олон улсын мэдээллийн төв (IDC)- гаргасан “Reviewed Event Bulletin” (REB) д мэдээлснээр, Хунга Тонга-Хунга Хаапай галт уулын дэлбэрэлт болох үед ажиллаж байсан 53 IMS-ийн инфра авианы станц (Зураг 4), 4 гидроакустик гидрофон гурвалсан болон 20 гаруй IMS -ийн газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын хамт уг дэлбэрэлтийн дохиог бүртгэсэн байна. Эндээс харахад инфра авианы станц нь агаар мандлын дэлбэрэлтийг илрүүлэх хамгийн сайн технологи юм (R.S.Matoza et al . 2022).

Энэхүү дэлбэрэлтээс үүссэн инфра авианы дууны долгион нь 2013 онд болсон Челябинскийн солироос үүссэн агаарын тэсрэлтийг давсан (A Le Pichon 2013) ба

Монгол улсын хэд хэдэн аймгийн ард иргэдэд дуу сонсогдсон байх юм.



Зураг 4. Тонга галт уул дэлбэрэлтийг бүртгэсэн инфра авиан станцууд (CTBTO)

## СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Инфра авианы долгион нь бидний сонсоход хэтэрхий бага давтамжтай авиа бөгөөд энэ авиа нь агаар мандалд нэвчиж, дэлхийн хэмжээнд байгалийн болон хүний гараар үүсгэгдсэн үйл явдлын талаарх ойлголтыг бидэнд өгдөг. Хүний сонсголын хүрээ 20 Гц-ээс 20000 Гц хүртэл үргэлжилдэг тул 20 Гц-ээс бага давтамжтай сонсогдохгүй байгаа дууны долгионыг инфра авиа гэж нэрлэдэг бол 20000 Гц-ээс дээш давтамжийг хэт авиан гэж нэрлэдэг.

Инфра авианы долгион бага давтамжтай байдаг тул агаар мандалд эрчим хүчний алдагдал багатай хол зайг туулж чаддаг.

Инфра авианы сигналыг боловсруулж адил шинж чанартай долгионуудыг танихад олон сувагт корреляцийн (PMCC) алгоритмыг ашигласан.

Энэхүү алгоритм нь (Y.Cansi. 1997) инфра авианы өгөгдөлийн шинжилгээнд шүүлтүүрдсэн давтамжийн мужид инфра авианы үйл явдлын азимут болон үзэгдэх хурдыг тодорхойлоход ашигладаг.

Энэ арга нь кросс-корреляцийн болон бүртгэгдсэн хугацааний зөрүүн дээр үндэслэн сигналын параметр болон шинж

## МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Эхний байдлаар инфра авианы дэлхийн сүлжээ станцад бүртгэгдсэн мэдээлэлд тулгуурлан, фазын хэмжилтээр GeoTool програмыг ашиглан тухайн галт уулын дэлбэрэлтийн голомтыг тодорхойлсон (Зураг 5).

Мөн IMS-ийн инфра авианы 49 станцын мэдээлэлд 0.0001-0.001 Гц-ийн давтамжийн мужид шүүлүүр хийж сигналын бүртгэгдэх байдлыг тодорхойлсон. Инфра авианы долгионы замхаралтын (Зураг 6)-аас харахад энд нэгэн тогтмол бүртгэлттэй М үсэг шиг хэлбэртэй сигналууд ажиглагдаж байгаа нь лямб дууны долгион болно (J.Vergoz et al. 2022). Энд бүтэн 4 өдрийн мэдээллийг нийлүүлсэн бөгөөд нэг станцад хамгийн багадаа 5 удаа агаар мандлаар тархах

чанаруудыг тодорхойлдог.

Цагийн муж дахь  $s(t)$  сигналыг Фурье хувиргалтаар давтамжийн мужид дараах байдлаар илэрхийлж болно.

$$s(f) = A(f)e^{i\varphi(f)} \quad (1)$$

Энд  $A(f)$  спектрийн далайц,  $\varphi(f)$  нь спектрал фаз

Хавтгай долгионы хувьд, кросс-корреляцийн хамгийн их байх хугацааны шилжилт

$$\Delta t_{ij} = \frac{1}{2\pi f} (\varphi_j(f) - \varphi_i(f)) \quad (2)$$

Энэ нь 2 мэдрэгчийн хооронд дахь сигнал ирэх цагийн зөрүүг заана.

$$\Delta t_{ij} + \Delta t_{jk} + \Delta t_{ik} = 0 \quad (3)$$

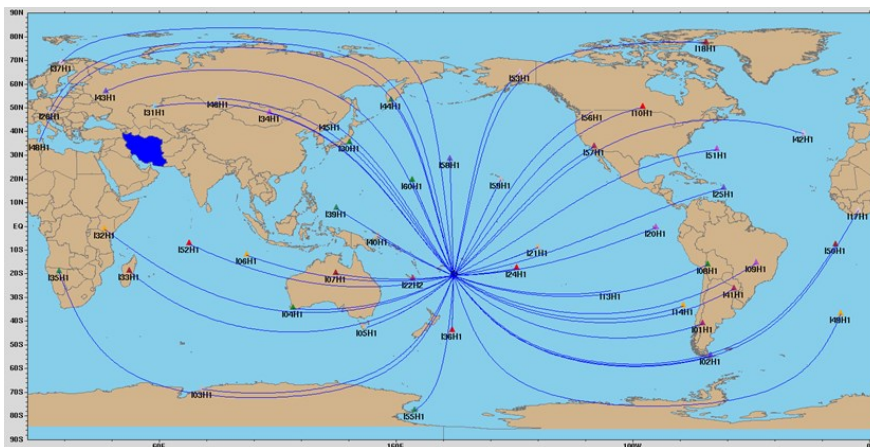
Арын шуугиа их байх үед кросс-корреляцийн үйл ажиллагаа нь санамсаргүй фазын хослолын улмаас нарийвчлал багатай байж болох ба саатал нь яг тэг болж нийлдэггүй.  $R_n$  дэд массивын мэдрэгчийн  $n$  хугацааны саатлын багцыг дараах байдлаар илэрхийлнэ.

дууны долгион бүртгэгдсэнийг харуулж байна.

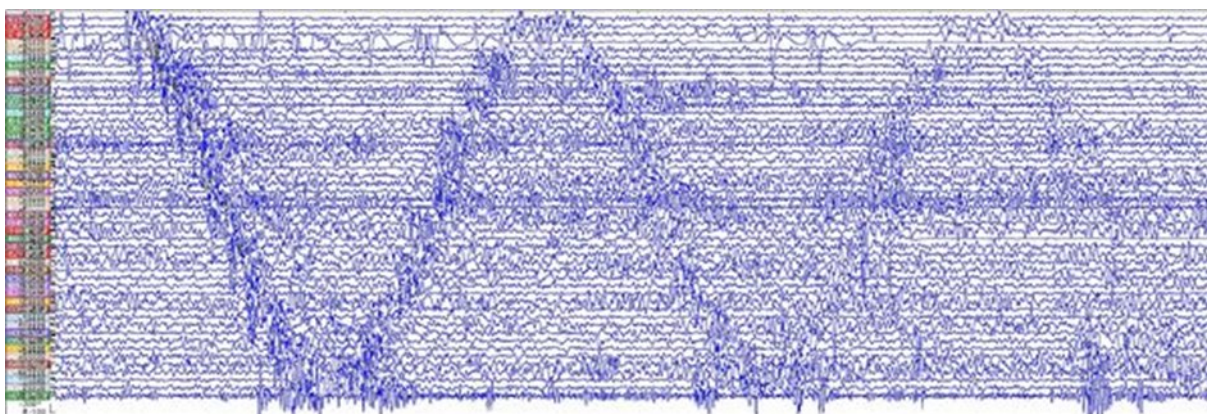
Дээрх мэдээлэлд тулгуурлан Python програмыг ашиглан дууны долгионыг хугацаанаас нь хамааруулан изохроны зургийг (Зураг 7) мөн инфра авианы станц бүрд дууны долгион ямар хурдаар бүртгэгдэж байгааг (Зураг 8), мөн зайнаас нь хамааруулан аль чиглэлээс ирж бүртгэгдэж байгааг харуулсан тархалтын график (Зураг 9) тус тус гаргасан болно.

Зургаас харахад дууны долгион 2-18 цагийн дотор инфра авианы бүх станцуудад, 300-400 м/с ийн хурдтайгаар, хамгийн хол ~17500 км зайд орших П17С станцад ~0° азимутын чиглэлээс дууны долгион бүртгэгдсэн байв.





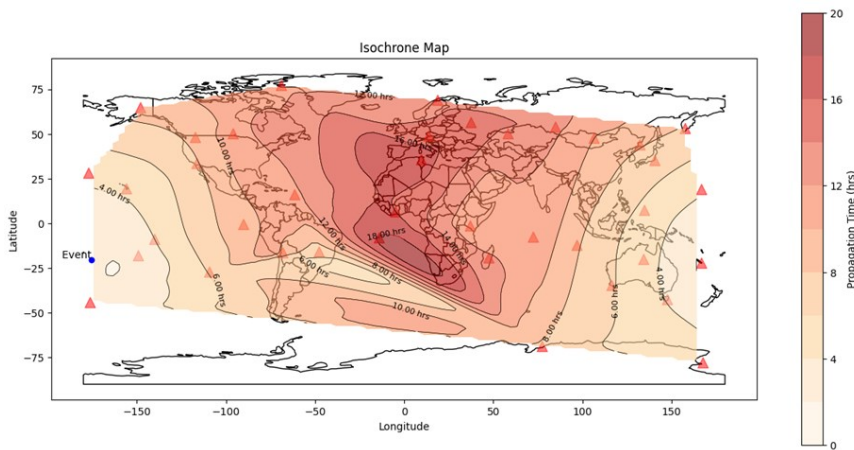
Зураг 5. Галт уулын дэлбэрэлт болсон голомтын байршиллыг харуулав



Зураг 6. IMS сүлжээний 49 станцын мэдээллээр инфра авиан долгионы замхралтийг харуулав

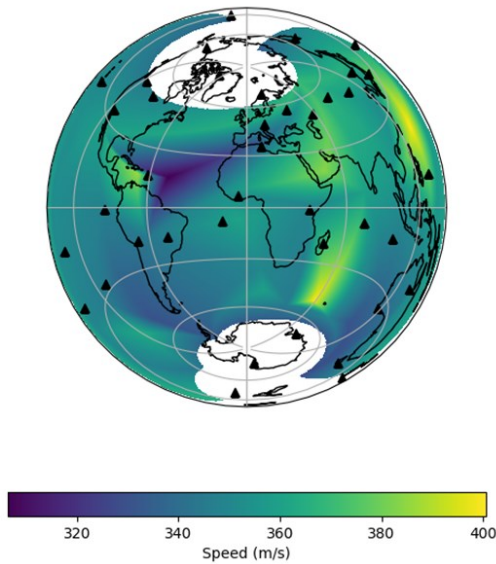
Дээрх мэдээлэлд тулгуурлан Python програмыг ашиглан дууны долгионыг хугацаанаас нь хамааруулан изохроны зургийг (Зураг 7) мөн инфра авианы станц бүрд дууны долгион ямар хурдаар бүртгэгдэж байгааг (Зураг 8), мөн зайнаас нь хамааруулан аль чиглэлээс ирж бүртгэгдэж байгааг харуулсан тархалтын

график (Зураг 9) тус тус гаргасан болно. Зургаас харахад дууны долгион 2-18 цагийн дотор инфра авианы бүх станцуудад, 300-400 м/с ийн хурдтайгаар, хамгийн хол ~17500 км зайд орших И71С станцад ~0° азитумутын чиглэлээс дууны долгион бүртгэгдсэн байв.

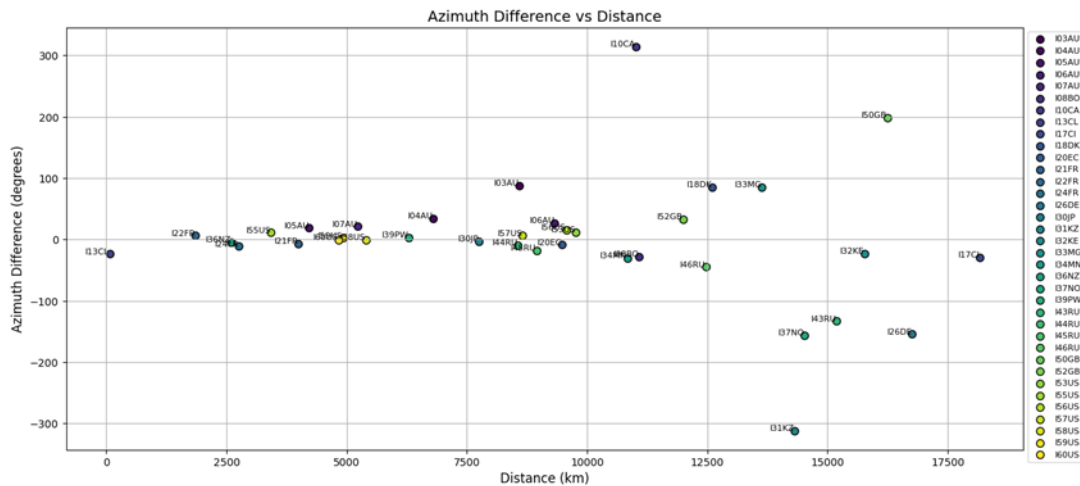


Зураг 7. Инфра авианы станцуудад галт уулын дэлбэрэлт үүссэн дууны долгионы тархалтыг хугацаагаар нь харуулсан изохроны зураг (үйл явдлыг цэнхэр цэгээр тэмдэглэв)





Зураг 8. Инфра авианы станцуудад бүртгэгдсэн дууны хурдны (м/с) тархалтын градиентыг харуулав



Зураг 9. Галт уул дэлбэрэлтийн голомтоос инфра авианы станцууд хүртэлх зай (км) болон станц тус бүр дээр бүртгэгдсэн азимутын өнцгийн ялгаа (градус)-ын хоорондын хамаарлыг харуулсав

### СИГНАЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

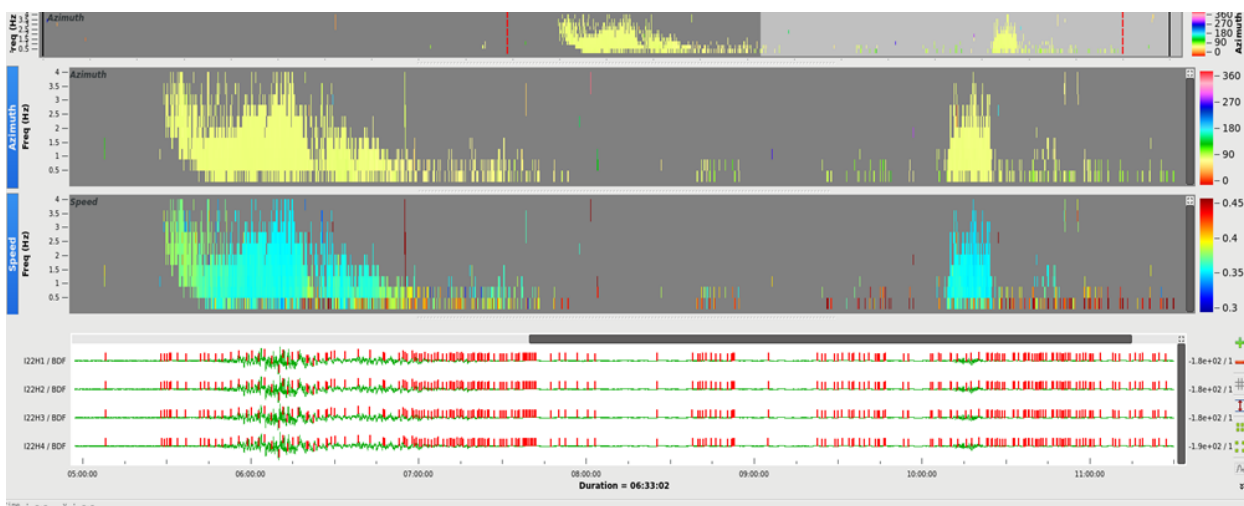
Дэлбэрэлтийн талбайд хамгийн ойр байрлах IS22 болон Монгол орны нутаг дэвсгэрт байрлах IS34 станцад бүртгэгдсэн сигналууд дээр PMCC алгоритмийг ашиглан анализ хийв (Campus, 2010). 2021 оны 12-р сарын 19-с Тонга галт уулын идэвхжил нь мэдэгдэхүйц нэмэгдэж хамгийн ойр байрлах инфра авианы IS22 болон бусад станцуудад бүртгэгдэж эхэлсэн.

Энэ идэвхжлийг даган IS22 станцад 1-р сарын 4 хүртэл сул сигналууд бүртгэгдэж

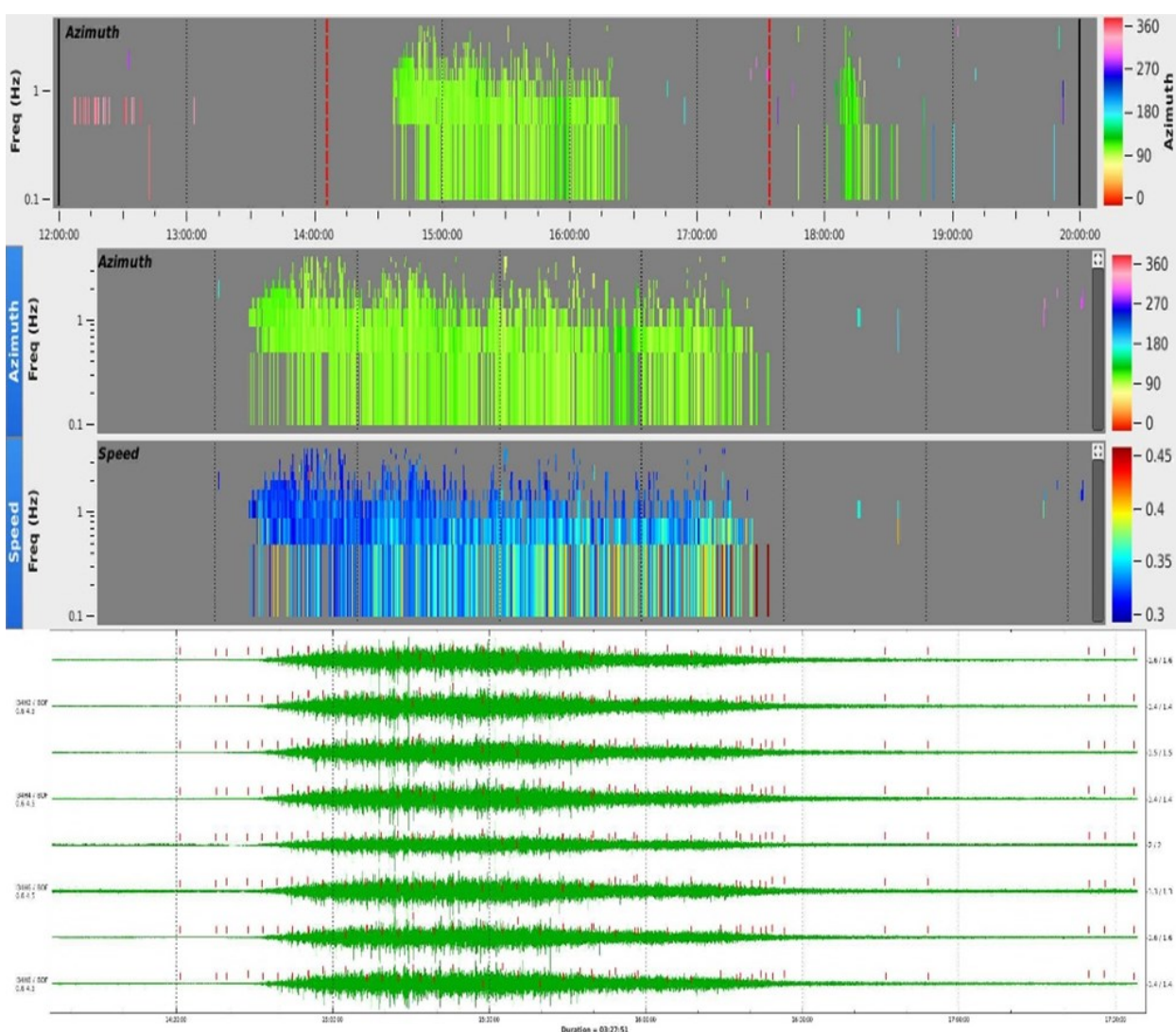
байсан бөгөөд 9 өдрийн турш харьцагуй тайван байдалд байж байгаад 1-р сарын 13 нд тухайн галт уулын дэлбэрэлээс үүссэн 2 хүчтэй сигнал бүртгэгдсэн.

2022 оны 1-р сарын 15-нд олон улсын цагаар 04:00-04:30 (UTC) хооронд галт уул оргил цэгтээ хүрч дэлбэрсэн бөгөөд тухайн үед ажиллаж байсан инфра авианы бүх станцууд сигналыг бүртгэсэн.

Мөн үндсэн болон давтан дэлбэрэлийн хоорондох хүчний ялгааг харахын тулд, галт уулын үндсэн дэлбэрэлт



Зураг 10. Гол дэлбэрэлт IS22 станцад бүртгэгдсэн байдал



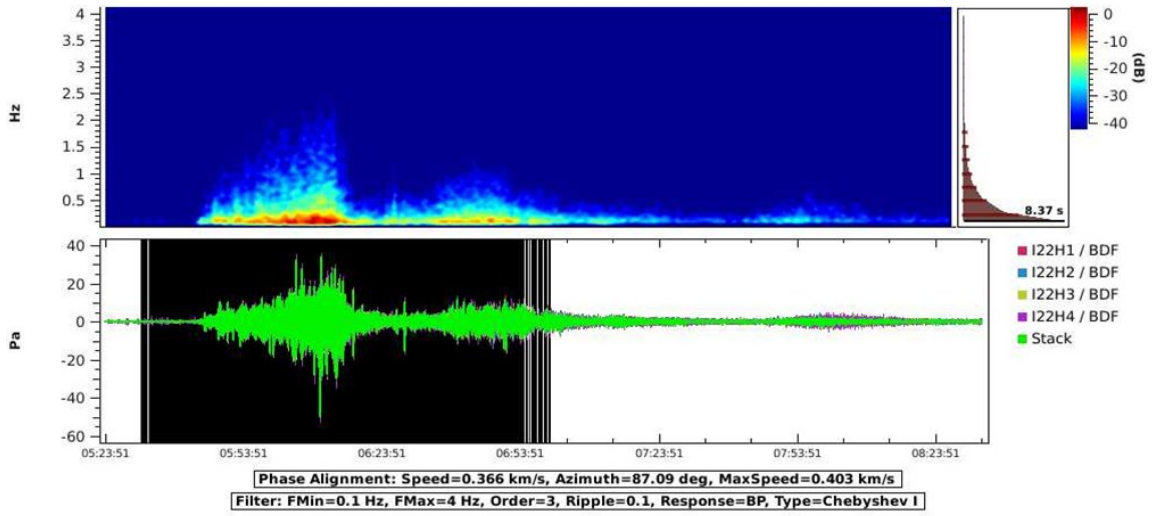
Зураг 11. Гол дэлбэрэлт IS34 станцад бүртгэгдсэн байдал

болон дараах давтан дэлбэрэлт болсон үеийн сигналуудад спектрийн харьцуулалтийг хийв (Ч.Баярсайхан, 2012).

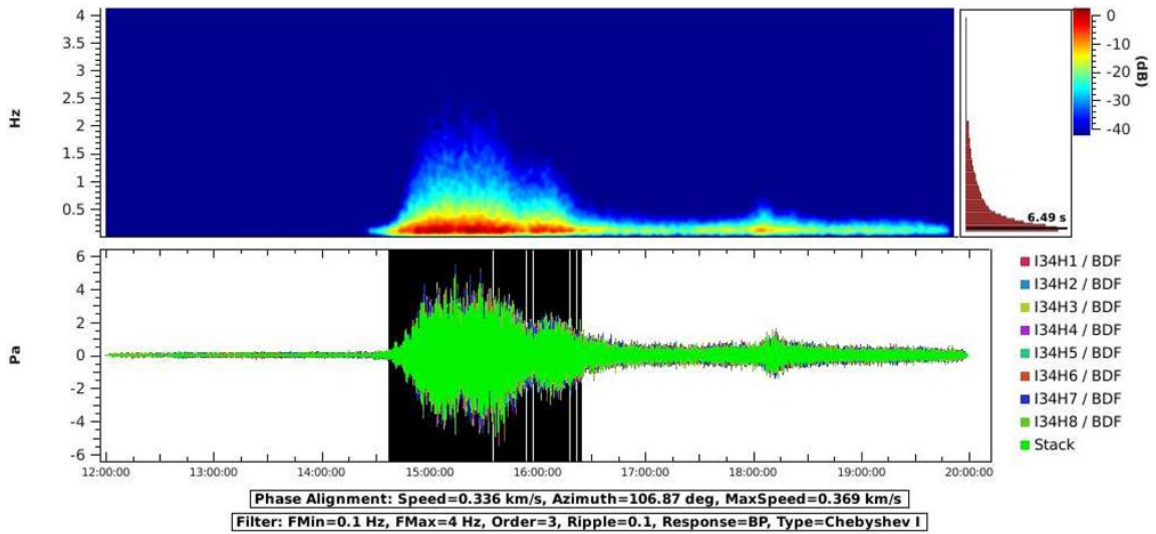
Энд дэлбэрэлтийн талбайд хамгийн ойр байрлах инфра авианы IS22 болон Монгол оронд байрлах IS34 инфра авианы станцын

мэдээллийг ашигласан. Инфра авианы станцуудын хувьд, 1-10 Гц-ийн давтамжийн мужид 15-30дБ ийн ялгаа харагдаж байв. Хамгийн ойр байрлах IS22

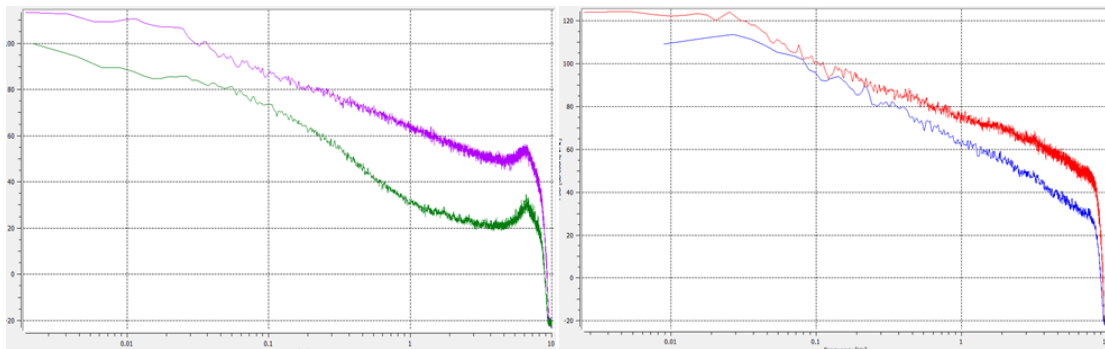
станцын хувьд 10-15дВ байхад, IS34 станцын хувьд, зайнаас хамаарч зонхилох давтамжийн мужид агаар мандлаар тархах хүч нь суларсан багааг харуулж байна.



Зураг 12. IS22 (үүсгэврээс 1847 км) станцад бүртгэгдсэн сигналын спектрограм



Зураг 13. IS34 (үүсгэврээс 10849 км) станцад бүртгэгдсэн сигналын спектрограм



Зураг 14. Үндсэн дэлбэрэлт болон 4 цагийн зайтай болсон давтан дэлбэрэлтийн сигналын спектрийн харьцуулалт

## **ДҮГНЭЛТ**

2022 оны 1-р сарын 15-нд Тонга арал дахь Хунга галт уул оргил цэгтээ хүрч маш хүчтэй дэлбэрсэн. Энэхүү дэлбэрэлт нь 21-р зуунд болсон дэлбэрэлтүүдээс хамгийн том дэлбэрэлт нь бөгөөд агаар мандалд хүчтэй дууны долгионыг цацруулж, дэлхийн атмосферийн даралтад томоохон өөрчлөлтийг үүсгэсэн. Дэлбэрснээс хойш 13 гаруй хоногийн турш дэлхийг ойролцоогоор долоон удаа тойрсон эдгээр дууны долгион нь IMS сүлжээн дэх 53 инфра авианы станцуудад бүртгэгдснээр дэлхийн агаар мандлын шинж чанарыг ойлгох, илүү нарийвчилсан судалгаа хийх боломжийг олгосон юм.

Бид энэхүү судалгаагаараа GeoTool болон PMCC зэрэг дэвшилтэт программуудын давуу талыг бүрэн

## **ТАЛАРХАЛ**

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн

## **АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ**

(Preparatory Commission For the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization). 2002. CTBTO - Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization. Austria. <https://www.ctbto.org/our-work/ims-map>.

A Le Pichon, L Ceranna, C Pilger, P Mialle, D Brown, P Herry, N Brachet. 2013. "Geophysical Research Letters." The 2013 Russian fireball largest ever detected by CTBTO infrasound sensors <https://doi.org/10.1002/grl.50619>.

Anthony M. Runco Jr.1, James A. Louthain2, Dean A. Clauter3. 2014. "Optimizing the PMCC Algorithm for Infrasound and Seismic Nuclear Treaty Monitoring." Open Journal of Acoustics doi:10.4236/oja.2014.44020.

ашиглаж, галт уулын дэлбэрэлтийн байршлыг тогтоохоос гадна томоохон дэлбэрэлтийн өмнөх галт уулаас ялгарах дуу чимээг боловсруулан Python программыг ашиглаж дууны долгионы агаар мандлаар тархах тархалыг хугацаагаар нь тодорхойлсон изохрон зургийг гаргалаа. Мөн зайнаас хамаарсан азимутын хазайлтыг цаг агаарын хүчин зүйлс, ялангуяа салхины чиглэл болон хүчнээс хэрхэн хамаарч байгаа алдааны зураглалыг хийж гүйцэтгэлээ. Тонгагийн дэлбэрэлтийн талаарх энэхүү судалгаа нь газарзүйн тодорхой нэг үзэгдлийг харуулахаас гадна агаар мандалд явагдах физикийн үйл явцыг судлах, программ хангамжуудыг ашиглан судалгааны ажлаа хөгжүүлэх зорилгод оршино.

хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

J.Vergoz et al. 2022. "IMS observations of infrasound and acoustic-gravity waves produced by the January 2022 volcanic eruption of Hunga, Tonga: A global analysis." Earth and Planetary Science Letters <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2022.117639>.

P.Campus., D.R.Christie. 2010. "Worldwide Observations of Infrasonic Waves ." Infrasound Monitoring for Atmospheric Studies-Д, E.Blanc., A.Hauchecorne A.Le.Pichon.-ээр, 185-234.

R.G.Vaughan., P.W.Webley. 2010. "Satellite observations of a surtseyan eruption: Hunga Ha'apai, Tonga." Journal of Volcanology and Geothermal Research 177-186, <https://doi.org/10.1016/>



- j.jvolgeores.2010.08.017.
- R.S.Matoza et al . 2022. “Atmospheric waves and global seismoacoustic observations of the January 2022 Hunga eruption, Tonga.” Science DOI: 10.1126/science.abo7063.
- Y.Cansi., Y.Klinger,. 1997. “An Automated Data Processing Method for Mini-Arrays. .” European-Mediterranean Seismological Centre, Bruyères-le-Chatel, France.
- Ч.Баярсайхан. 2012. “Инфра авианы долгион тархалтын зүй тогтлыг I34MN станцаар сайжруулан судлах сейсмо акустик анализ.” хуу 124-127.

## ANALYZING SOUND WAVE PROPAGATION FROM THE TONGA VOLCANO EXPLOSION USING INFRASOUND STATIONS

Khongor Dorj<sup>1\*</sup>, Bayarsaikhan Chimedtseren<sup>1</sup>, Tungalag Lkhagva<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author: [khongor@iag.ac.mn](mailto:khongor@iag.ac.mn)

Article info: accepted 04 December 2023

**Abstract.** The Hunga-Tonga-Hunga-Haapai underwater volcano, situated 30 km southeast of Tonga's Fonuafofou Island in the South Pacific Ocean, erupted violently on January 15, 2022, around 04:15 (UTC), spewing ash into the sky. Local CNN affiliate Radio New Zealand (RNZ) warned that a 1.2-meter (4-foot) tsunami could reach the coast of Tonga. The powerful eruption was rated as 5+ on the Volcanic Explosive Index (VEI), and according to NASA, the rapidly rising ash cloud reached a height of 58 km. Atmospheric waves generated by this powerful explosion were recorded by the International Monitoring System (IMS) infrasound, seismic, and hydroacoustic observation stations. The event was also registered at the infrasound network station I34MN, one of the IMS network stations located near the Tavantolgoi military unit, 50 km west of Ulaanbaatar.

**Keywords:** *Infrasound, Hunga, Tonga volcano, International monitoring stations, Lamb wave*

## УУЛ УУРХАЙН ТЭСЭЛГЭЭНЭЭС ҮҮСЭХ СИГНАЛЫГ ЯЛГАХ НЬ

Л.Тунгалаг<sup>1\*</sup><sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн, Хүрээлэн, Газар хөдлөл судлах салбар\*Зохиогчийн цахим хаяг: [khongor@iag.ac.mn](mailto:khongor@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Тэсэлгээнээс үүссэн сигналын хэлбэр, тодорхойлогдож байгаа талбай, бүртгэгдэж байгаа хугацаа (өдөр болон шөнийн цагт), давтагдах хугацаа зэрэгт үндэслэн тэсэлгээг газар хөдлөлтөөс ялгах ажил хийгддэг. Хэдий тэсэлгээ гэж ялгаж байгаа ч газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд хүний гараар үүсгэгдсэн мэдээллүүд холилдсон байдаг. Газар хөдлөлтийн үндсэн мэдээллийн сан үүсгэх өөрөөр хэлбэл тэсэлгээний сигналыг ялгахын тулд хэд хэдэн арга зүйг судалж үзэж байна. Энэ судалгаанд сигналын S болон P фазын амплитуд харьцааны арга зүйг ашиглана. 2019 онд Улаанбаатар хотод хуучин нисэх буудалын ойролцоо 50 орчим мэдээлэл бүртгэгдсэн нь газар хөдлөлтийг бүртгэх (SONM) бичил сүлжээ станцаас ойролцоогоор 20-60 км зайтай байв. Энэхүү судалгаагаар сейсмик бичил сүлжээ станцаас 20-30 км зайд бүртгэгдсэн 18 сигналыг сонгон авч спектр анализ болон амплитуд харьцааны логарифм утгыг үнэлсэн болно. Гарсан утгаас харахад 2-4Гц-ийн давтамжийн мужид фазын амплитуд харьцаа  $\text{Log}(Sg/Pg)$  амплитуд харьцаа их буюу  $D>0$  гэж тодорхойлогдсон болно.

**Түлхүүр үг:** Инфра авиа, Хунга, Тонга галт уул, Олон улсын хяналтын станцууд, Лямб долгион

## ОРШИЛ

Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-ийн газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангийн 10 орчим хувийг тэсэлгээний мэдээлэл эзэлж байна (ООГХ 2019).

Энэ нь тогтмол үйл ажиллагаа явуулдаг, томоохон уурхайн тэсэлгээний мэдээллүүд юм. Жишээлбэл Эрдэнэт уурхай нь 7 хоног бүрийн 5 өдөр, UTC 06:50-07:00 цагт, зарим тохиолдолд 7 хонгийн 2 өдөр UTC 06:50-07:00 тус тус тэсэлгээ хийж байгааг сигналын хэлбэр болон давтагдах хугацаагаар нь ангилж байна.

Тэгвэл тогтмол үйл ажиллагаа явуулдаггүй бичил уурхай, чулууны карьерийн тэсэлгээ зэрэг хүний гараар үүсгэгдсэн тэсэлгээний сигналыг шууд таних нь хүндрэлтэй хэвээр буюу холилдсон мэдээллийн санг үүсгэхэд нөлөөлж байна.

Судлаачдын хувьд бүс нутгийн зайд болж буй газар хөдлөлт болон тэсэлгээг

хооронд нь ялгах ажил ихээхэн чухал сэдэв болж байгаа бөгөөд бидний хувьд хэд хэдэн аргыг хэрэгжүүлж байна.

Тэсэлгээнээс үүссэн сигналын хувьд шахалтын нэгэн төрлийн гадагш чиглэсэн анхны шилжилт хөдлөгөөнийг бий болгодог (W.R.Walter 2007).

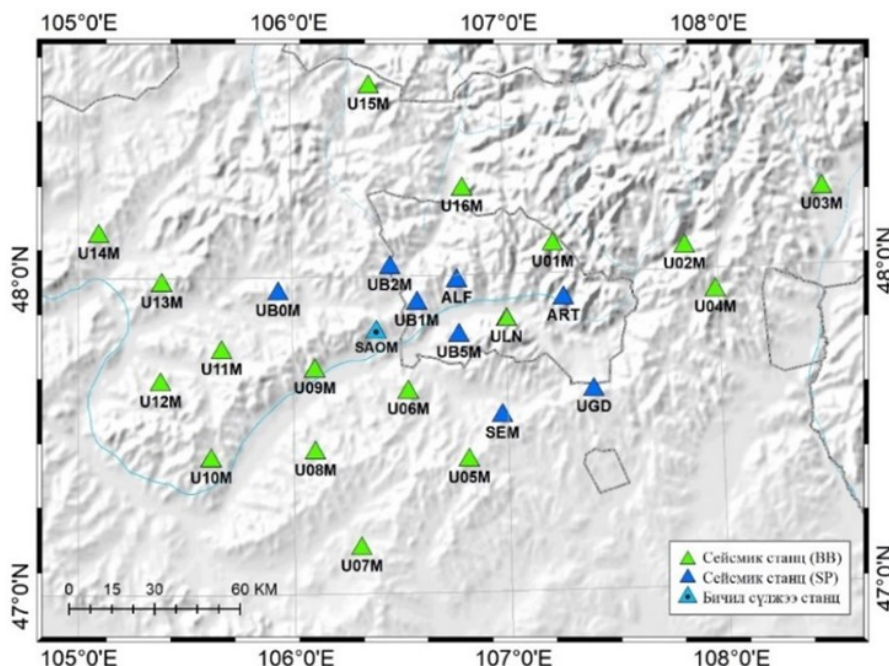
Энэхүү шинж чанарыг нь ашиглаад орон нутгийн ( $\leq 200$  км) болон бүс нутгийн зайд (200-1500 км) ажиглагдсан сигналууд дээр кросс-корреляцийн арга зүйг ашиглан сигналын ижил төстэй байдлыг үнэлэх ажлыг хийсэн (Л.Тунгалаг. 2020).

Үүнээс гадна газар хөдлөлтийг тэсэлгээнээс ялгахад спектрийн хэлбэр болон фазын харьцаа хоёулаа чухал байж болох юм (S.A.Dahy 2010), өөрөөр хэлбэл тэсэлгээнээс үүсэх S долгионы амплитуд нь өндөр давтамжийн хувьд P долгионтой харьцуулахад буурдаг байна (R.Wang 2020).

## МЭДЭЭЛЭЛ БҮРДҮҮЛЭЛТ

Улаанбаатар хот орчим газар хөдлөлтийг бүртгэх өргөн зурвасын 8 станц (BB: 60 сек – 50Гц давтамжийн хязгаар дахь долгионыг бүртгэнэ), богино үет 17 станц (SP: 1Гц-ийн хувийн давтамжтай, ойролцоогоор 1сек-100Гц-ийн давтамжийн

зурваст сигналыг хэмжинэ), 10 станцын бүрдэл бүхий 1 бичил сүлжээ (SONM: 3 байгуулагч бүхий 1 сейсмометр, босоо байгуулагч бүхий 9 сейсмометрээс бүрдэнэ) станцууд тус тус ажиллаж байна (Зураг 1).



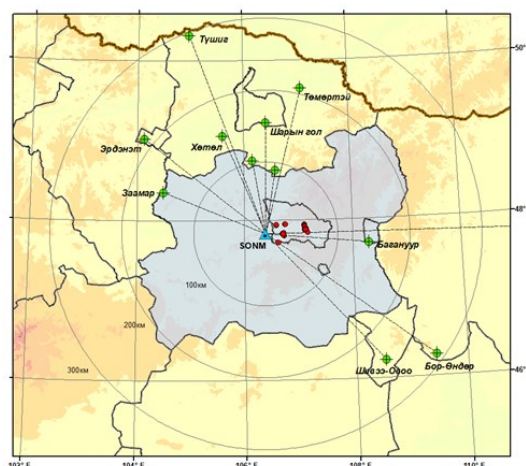
Зураг 1. Улаанбаатар хот орчим байрлах сейсмик станцууд (Өргөн зурвасын станцуудыг цэнхэр өнгөөр, богино үет станцуудыг ногоон өнгөөр тус тус тэмдэглэв)

Эдгээр газар хөдлөлт бүртгэх станцын мэдээлэлд тулгуурлан Улаанбаатар хот орчмын бүс нутагт үйл ажиллагаагаа явуулж буй тэсэлгээний талбайг тогтоогоод байгаа.

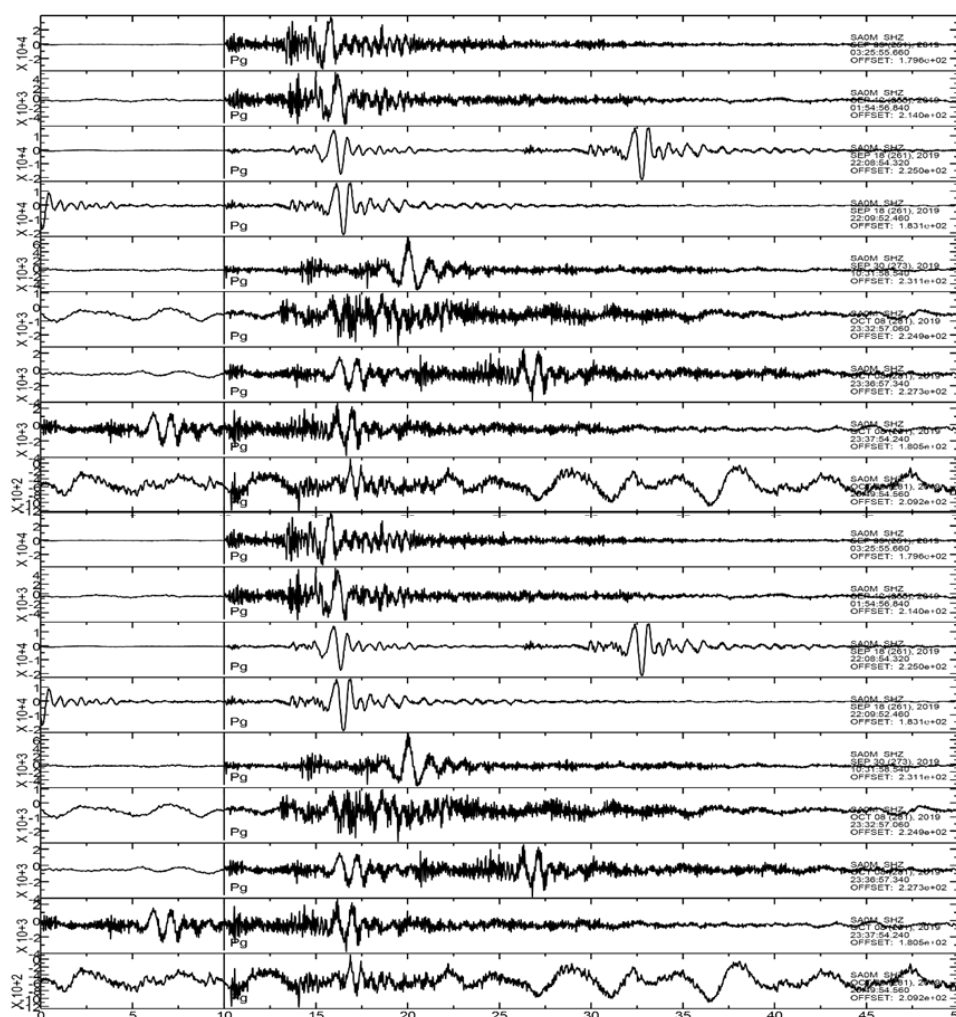
Үүнээс гадна, Улаанбаатар хот, хуучин нисэх буудал ойролцоох байршилд буюу SONM бичил сүлжээ станцаас 10-60 км зайд 50 орчим сейсмик сигналууд бүртгэгдсэн (Зураг 2). Нийт сигналууд дээрх боловсруулалтын мэдээллээс харахад 0-10 (UTC) болон 22 (UTC) цагт буюу өдрийн цагаар, харин хүчний хувьд магнитуд нь  $m_l < 2.2$  бага хүчтэй болсон байв.

Үүнээс SONM бичил сүлжээ станцаас 20 – 30 км зайд бүртгэгдсэн сигналууд дээр анализ хийж үзэхэд сигналын эхний шилжилт нэмэх, Р долгионы амплитуд

өндөр, гадаргуугийн долгион тод бичигдсэн байв (Зураг 3).



Зураг 2. Улаанбаатар хотын ойролцоо байрлах тэсэлгээний талбай (ногоон дугуй), SONM сүлжээ станцаас баруун тийш 20-60 км-т болсон тэсэлгээг (улаан өнгөөр) дүрслэв



Зураг 3. SONM станцаас 20-30 км зайд тодорхойлогдсон тэсэлгээний сигналууд

### СУДАЛГАА АРГА ЗҮЙ

Сейсмик сигналын Sg болон Pg фазын амплитуд харьцаа нь газар хөдлөлт болон тэсэлгээг хооронд нь сайн ялгадаг байна. Өөрөөр хэлбэл Газар хөдлөлт нь зарим хагаралын дагуух хөдөлгөөн бөгөөд орчиндоо шахалт болон тэлэлтийг үзүүлэх бөгөөд нэгэн төрлийн бус эх үүсвэрүүд нь хүчтэй S долгионыг үүсгэдэг байна. Үүний эсрэгээр тэсэлгээ болох үед шахалтын нэгэн төрлийн долгион үүсэх бөгөөд мэдэгдэхүйц S долгионыг үүсгэдэггүй буюу Sg/Pg фазын амплитуд харьцаа бага буюу тэгээс бага байх нөхцлийг хангадаг байна (Geophysical survey of RAS 2005).

Сигналын амплитуд харьцааг тооцохын тулд Sg болон Pg долгионы аль алинд сейсмик сигналын спектрийн нягтыг

(PSD) олж авах хэрэгтэй. Үүний тулд сейсмик сигналын Фурье хувиргалтыг хийж давтамжийн хүрээн дахь дүрслэлийг олж авах юм. Үүний дараа Sg болон pg долгионы спектр амплитудыг тооцно. Энд спектр амплитуд нь сигналын спектрийн нягтын квадрат язгуур юм.

$$A_{Pg} = \sqrt{PSD_{Pg}} \quad A_{Sg} = \sqrt{PSD_{Sg}} \quad (1)$$

Спектр амплитудыг тус тус тооцсоны дараа Sg/Pg спектр амплитуд харьцааг тооцох юм (T.J.Bennett 1986).

$$\frac{Sg}{Pg} \text{ ratio} = \frac{A_{Sg}}{A_{Pg}} \quad (2)$$



## ҮР ДҮН

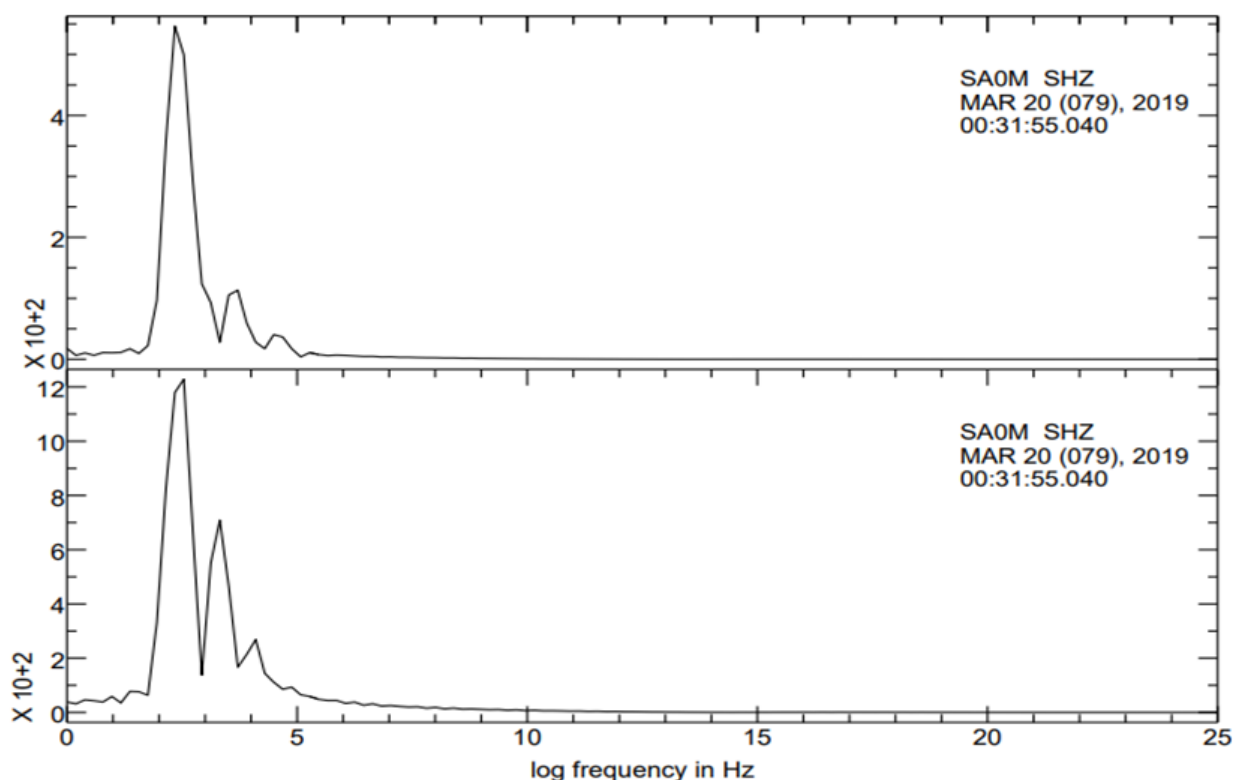
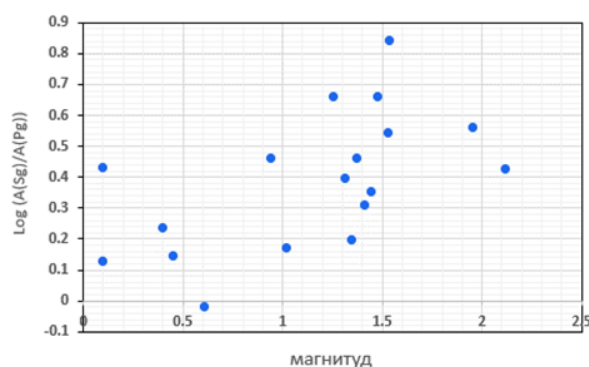
Өмнөх судалгаагаар дээрх мэдээллийг ашиглан бүртгэгдэх давтамжийн хязгаар болон сигналын ижил төстэй байдлыг үнэлсэн ажил хийгдсэн. Тухайн сигнал бүрийн хувьд бүртгэгдэх давтамжийн хязгаар нь 2-4 Гц байв (Л.Тунгалаг, 2020).

Тиймээс сигналын бүртгэгдэх боломжит давтамжийн зурвас дахь долгионы спектр харьцааг SONM станцын босоо байгуулагч дээрх Sg болон Pg харьцааг тооцож гаргасан болно (Зураг 4).

Сигнал тус бүрийн хувьд 2-4 Гц-ийн давтамжийн муж дахь Sg/Pg спектр амплитуд харьцааг тооцсон бөгөөд үр дүнг магнитудтай харьцуулсан байдлыг (График 1)-г харууллаа. Графикаас харахад үйл явдал бүрийн хувьд Sg/Pg спектр амплитуд харьцаанууд 0-ээс их гарсан үр дүнг үзүүлсэн.

Таамаглалаар бол тэсэлгээний S/P спектр амплитуд харьцаа нь газар хөдлөлтийн биеийн долгионы спектрээс хамаагүй их байх ёстой. Мөн (W-Y.Kim 1995) судалгаанаас үзэхэд Sg/Pg спектр амплитуд харьцаа буюу  $D > 0$  бол газар хөдлөлт харин  $D < 0$  тохиолдолд тэсэлгээ гэсэн дүгнэлтийг хийсэн байв.

График 1. Sg/Pg амплитуд харьцааг магнитудтай харьцуулсан байдал



Зураг 4. SONM станцаас 20-30 км зайд тодорхойлогдсон тэсэлгээний сигналд фурье хувиргалт хийж 2-4 Гц-ийн давтамжийн хязгаар дахь P болон S сигналын дүрслэлийг гаргаж авсан байдал

## ДҮГНЭЛТ

Сонгож авсан мэдээлэл бүрийн хувьд инфра авианы долгионыг үүсгэсэн байсан ба сейсмо-акустик хамтруулсан бодолтоор байршлын алдаа багассан, мөн сейсмик долгионы хувьд механизм нь нэгэн төрлийн гадагш чиглэсэн хөдөлгөөнтэй, сигналууд нэг үүсгүүрээс үүссэн байж болох хоорондоо өндөр хамааралтай байсан тул тэсэлгээний сигнал гэж үзэж байв.

Энэхүү судалгаагаар тэсэлгээнээс үүссэн сигнал болохыг батлахын тулд S/P спектр амплитуд харьцааг тооцож үзсэн ч

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн

## НОМЗҮЙ

Geophysical survey of RAS, kola branch. 2005. *Usage of P/S ratio for distinguishing earhquakes and explosion.* <http://www.krsc.ru/?q=en/PSRatio>.

R.Wang, B.Schmandt, E.Kiser. 2020. "Seismic discrimination of controlled explosion and earthquakes near mount St. Helens using P/S ratio." *Journal of Geophysical Research: Solid Earth/ Vol 125, Issue 10*.

S.A.Dahy, G.H.Hassib. 2010. "Spectral discrimination between quarry blast and microearthquakes in southern Egypt." *Research Journal of Earth Sciences 2(1)* pp 1-7.

T.J.Bennett, J.R.Murphy. 1986. "Analysis of seismic discrimination capabilities using regional data from western united states events." *Bulletin of Siesmological Society of America*, Vol 76, No 4 pp 1069-1086.

W.R.Walter, E.Matzel, M.E.Pasyanos, D.B. Harris, R.Gok, S.R.Ford. 2007. "Empirical observations of earthquake

төсөөлснөөс өөр үр дүнг үзүүлсэн. Энэхүү ажлын даалгавар зөвхөн тэсэлгээ байж болох сигнал дээр анализ хийж үзсэн нь учир дутагдалтай боллоо. Бусад судалгааны ажлуудаас харахад нэг бүс нутагт болсон тэсэлгээ болон газар хөдлөлтийг сонгон авч үр дүнг харьцуулсан ажлууд хийгдсэн байна.

Цаашид энэ бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийг сонгон авч тэсэлгээний мэдээлэлтэй харьцуулсан судалгаа хийх шаардлагатай байгааг харуулж байна.

хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

explosion discrimination using P/S ratios and implications for the sources of explosion s-wave." *29th Monitoring research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies* pp 684-693.

W-Y.Kim, V.Aharonian, G.Abbers, A.Lerner-Lam, P.Richards. 1995. "Discrimination of earthquakes and explosion in southern russia using regional high-frequency data from IRIS/JSP caucasus network." (F49620-95-1-0026) pp 68-77.

Л.Тунгалаг., А.Дөлгөөн. 2020. "Корреляцийн шинжилгээгээр тэсэлгээний сигналын ижил төстэй байдлыг үнэлэх нь." *Геофизик ба Одон Орон судлал* 48-53.

ООГХ, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн. 2019. "Эрдэм шинжилгээний болон үйл ажиллганы тайлан." Улаанбаатар.

## DISTINGUISH SIGNALS GENERATED BY THE MINING BLAST

Tungalag Lkhagva<sup>1\*</sup><sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of MAS, Department of Seismology*\*Corresponding author: [tungalag@iag.ac.mn](mailto:tungalag@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** A mining explosion is distinguished from an earthquake based on the waveform of the signal, the geographical location being determined, the time it is recorded and the time it repeats. Although classified as mining blasts, the earthquake database is mixed with signals generated by man-made. In order to create a basic earthquake database, a number of methods are being explored to distinguish between blast signals and earthquake signals. In 2019, about 50 events were recorded around the old airport in Ulaanbaatar city, and the area where the events were observed was approximately 20-60 km from the seismic array station (SONM). In this study, 18 signals recorded at a distance of 20-30 km from the seismic array station were selected and evaluated by spectral analysis and the logarithmic value of S/P amplitude ratio. It can be seen from the obtained value that in the frequency range of 2-4 Hz, the phase amplitude ratio  $\text{Log}(S_g/P_g)$  amplitude ratio is greater or  $D > 0$ .

**Key words:** Mining blast, spectrum, S/P amplitude ratio

## НАРНЫ ТИТЭМ ДЭХ ЭЛЕКТРОН НЯГТЫН ӨНДРИЙН ШАТЛАЛ

Д.Батмөнх<sup>1\*</sup>, Б.Батбаяр<sup>1</sup><sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн\*Зохиогчийн цахим хаяг: [batmunkh@iag.ac.mn](mailto:batmunkh@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Энэхүү ажилд Нарны титэм дэх электрон нягтын өндрийн шатлалыг гидростатик тэнцвэрийн тэгшитгэлд тооцохдоо зайнаас хамаарсан гишүүн нэмж бодон гарган авсан электрон нягт  $n_e$ -ийн илэрхийлэлд дүн шинжилгээ хийв. Радио гялбааны спектрийн давтамж шилжилтийн хурдны хэд хэдэн эмпирик томъёог ашиглан зайнаас хамаарах өндрийн шатлалаар электрон нягт  $n_e$ -ийг тодорхойлж ажиглалтын эмпирик томъёотой харьцуулан судалж  $H_T=0.5163 \times H+0.42 \times r$  хамаарал бүхий өндрийн шатлал хуваарь сонгон  $A=0.01$ ,  $\varepsilon=1.84$  утгаар бодсон  $n_e=n_0(1+0.0173r)^{-2.38}$  ажиглалтад илүү дөхүү байна. Иймд нягтын өндрийн хуваарийг зайнаас хамааруулан хувьсахаар авах нь  $n_e(r)$  -ийн эрс ялгаатай илэрхийлэлд хүргэж байна.

**Түлхүүр үг:** Нар, титэм, электрон нягт, өндрийн шатлал, радио гялбаа

## ОРШИЛ

Жигд тархсан, эсвэл мэдэгдэх төдий соронзон оронтой, тогтонги төлөвт орших агаар мандал дахь электрон нягтын хувьд барометр тэгшитгэл нь  $n_e=n_0 \exp(-h/H)$  гэсэн экспоненциаль шийдтэй байдаг. Энэ тохиолдолд  $H=47.0[\text{Mm}] \times T[\text{MK}]$ , үүнийг “scale height”, “өндрийн шатлал буюу хуваарь” гэнэ (Aschwanden, 2004). Өөрөөр хэлбэл, электрон нягт ( $n_e$ ) дахин өөрчлөгдөхөд харгалзах өндөр ( $H=\Delta h$ ) юм.

Нарны радио гялбааны спектрийн “Давтамж шилжилтийн хурдны” (frequency drift rate,  $dv/dt \approx Av^e$ ) тооцооллоос үзэхэд  $H$  Нарнаас алсрах тутам ихсэх боломжтойг

## СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Өндрийн шатлалыг тогтмол нэг хэсэг ( $H$ ) ба зайнаас хамаарах хэсэг  $f(r)$  хоёрын нийлбэр байдлаар буюу  $H_T=\alpha H+(1-\alpha)f(r)$  хэлбэрээр авч дүн шинжилгээ хийв. Эхний гишүүн зөвхөн температураас хамаарах бол шинээр нэмж байгаа хоёр дахь нь зайнаас хамаарна. Энэ тохиолдолд гидростатик тэнцвэрийн тэгшитгэл дараах хэлбэртэй болно.

Benz (Benz, 2002) нарын бүтээлд дурдсан байдаг. Мөн (Robinson, P.A., & Cairns I.H., 1998), (Robinson, P. A., & Benz, A. O., 2000) ажилд  $H$  -ийн хэлбэлзэх дундаж өөрчлөлтийг  $(r/1\text{AU})^{1.61}[\text{Mm}]$  дөхөлтөөр авсан байдаг. Эдгээр санаанд үндэслэн  $H$  -ийн зайнаас хамаарах өөрчлөлтийг тодорхой функцээр дүрслэн гидростатик тэнцвэрийн тэгшитгэлийг шийдэн Нарны титэм дэх электрон нягтын зайн хамаарлыг тодорхойлж ажиглалтын өгөгдөлтэй харьцуулах замаар зохимжит  $H$  ба  $n_e$  -ийг сонгож болно.

$$\frac{dp}{p} = -\frac{dz}{\alpha H + (1-\alpha)f(z)}$$

$f(z)$  функцийг ямар хэлбэр, хамаарлаар авахаас тэгшитгэлийг бодох арга хүнд хөнгөн байх ба шийд өөр өөр гарна. Хялбар тохиолдолд,  $f(z)=bz$  гэж авч интегралыг гүйцэтгэсний дараа даралтын хувьд олсон шийдийг электрон нягт руу шилжүүлбэл (Batbayar, B. & Batmunkh, D., 2020).



$$n_\varepsilon = n_0(1+y)^{-1/(1-\alpha)b}$$

$$y = \frac{1-\alpha}{\alpha} b \frac{r}{H} \quad (1)$$

$\alpha \rightarrow 1$  буюу  $H_T \rightarrow H$  үед экспоненциаль шийд рүү нийлэх ёстой.

$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} n_\varepsilon = n_0 \lim_{y \rightarrow 0} [(1+y)^{1/y}]^{-r/\alpha H} \rightarrow n_0 e^{-\frac{r}{H}}$$

Ийнхүү өндрийн шатлалыг зайнаас хамаарах байдлаар авах нь Нарны титэм дэх электрон нягтын зайн хамаарал экспонент биш, (1) хэлбэртэй байх ба  $\alpha \rightarrow 1$  үед экспоненциаль шийд рүү нийлнэ. Ажиглалттай харьцуулах замаар (1) дэх тогтмолыг тодорхойлох боломжтой юм.

Нарны радио гялбааны ажиглалтын спектрийг ашиглан (1) илэрхийлэл дэх тогтмолуудыг тодорхойлж болохыг (Batbayar, В. & Batmunkh, D., 2020) харуулсан байдаг. Ажиглалтын спектрээс (A,ε) тогтмолыг тодорхойлж болно. Тэгвэл  $2(1-\alpha)b+1=\varepsilon$  учир (1) дэх зэргийг  $(1-\alpha)b=(\varepsilon-1)/2$  гэж тодорхойлно. (A) тогтмолын  $\alpha \rightarrow 1$  буюу  $H_T \rightarrow H$  үед экспоненциаль шийд рүү нийлэх ёстой.

$$y = \frac{1-\alpha}{\alpha} b \frac{r}{H}$$

$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} n_\varepsilon = n_0 \lim_{y \rightarrow 0} [(1+y)^{1/y}]^{-r/\alpha H} \rightarrow n_0 e^{-\frac{r}{H}}$$

Ийнхүү өндрийн шатлалыг зайнаас хамаарах байдлаар авах нь Нарны титэм дэх электрон нягтын зайн хамаарал

## ҮР ДҮН

Өндрийн шатлал буюу хуваарь зайнаас хэрхэн хамаарах нь электрон нягтын зайн хамааралд шууд нөлөөлж байна. Ажиглалтаас тодорхойлох (A,ε) -ийг ашиглан (1) илэрхийллийг дараах хэлбэрт оруулж болно.

$$n_\varepsilon = n_0(1+k \cdot r)^{-2/(\varepsilon-1)}, \quad (3)$$

$$k = \frac{(\varepsilon-1)A}{2v_0^{1-\varepsilon}W}, \quad W = \frac{v_s \cos \phi}{2(1-\beta \cos \theta)},$$

$$\alpha H = v_0^{1-\varepsilon} \frac{W}{A}.$$

Тухайн радио гялбааны хувьд тархалтын чиглэлийн өнцгүүд (φ,θ) мэдэгдэхгүй (гэхдээ тусгай зориулалтын радио дурангийн хувьд боломжит арга бий)

экспонент биш, (1) хэлбэртэй байх ба  $\alpha \rightarrow 1$  үед экспоненциаль шийд рүү нийлнэ. Ажиглалттай харьцуулах замаар (1) дэх тогтмолыг тодорхойлох боломжтой юм.

Нарны радио гялбааны ажиглалтын спектрийг ашиглан (1) илэрхийлэл дэх тогтмолуудыг тодорхойлж болохыг (Batbayar, В. & Batmunkh, D., 2020) харуулсан байдаг. Ажиглалтын спектрээс (A,ε) тогтмолыг тодорхойлж болно. Тэгвэл  $2(1-\alpha)b+1=\varepsilon$  учир (1) дэх зэргийг  $(1-\alpha)b=(\varepsilon-1)/2$  гэж тодорхойлно. (A) тогтмолын хувьд

$$\alpha H \sim \frac{W}{A}, \quad W = \frac{v_s \cos \phi}{2(1-\beta \cos \theta)}.$$

Энд φ- багц бөөмсийн тархах чиглэл ба вертикаль (dh) хоёрын хоорондох өнцөг, θ- багц бөөмсийн тархах чиглэл ба ажиглагч руу чиглэх цацрагийн зам хоёрын хоорондох өнцөг,  $v_s$  - үүсгүүр хурд,  $v_{gr}$  - цацрагийн бүлэг хурд,  $v_{gr} \approx c$ ,  $\beta = v_s/c$ .

Ийнхүү  $H_T$  нь зайнаас ямар хамааралтай байхаас хамааран электрон нягтын илэрхийлэл өөр өөр байна. Тухайлбал,

$$H_T = \begin{cases} H, & n_\varepsilon = n_0 \exp\left(-\frac{r}{H}\right) \\ \alpha H + (1-\alpha)bz, & n_\varepsilon = n_0(1+y)^{-1/(1-\alpha)b} \end{cases} \quad (2)$$

f(z)-ийг тогтмол болон шулуун шугаман хамааралтай авахад  $H_T$ ,  $n_\varepsilon$  нь (2) хэлбэртэй бол бусад f(z)-ийн хувьд интегралчлах үйлдэл хүндрэх төлөвтэй юм.

бөгөөд тэдгээрээс α ихээхэн хамаарч байгаа тул тухайн агаар мандалд α зааг радио гялбаануудын хувьд ойролцоо утгатай байх учир cosφ –ийг хүснэгт 1 дэх байдлаар сонгон авсан болно. Ажиглалтаас тодорхойлсон (A,ε) утгууд нь давтамжийн хүрээ завсар бүрд харьцангуй ялгаатай байгаа нь агаар мандлын физик нөхцөл, тухайлбал нарны идэвхжил хэрхэн өөрчлөгдсөн, багц бөөмсийн тархалтын чиглэл, хурд болон давтамж шилжилтийн хурд тодорхойлох арга зүйгээс ч хамаарч байна. Хамгийн өргөнөөр эшлэл хийн хэрэглэдэг нь (Alvarez, H. & Haddock, F. T., 1973) ажилд тооцоолсон A=0.01, ε=1.84 утгууд юм. (Bougeret J.-L, King J.H. &

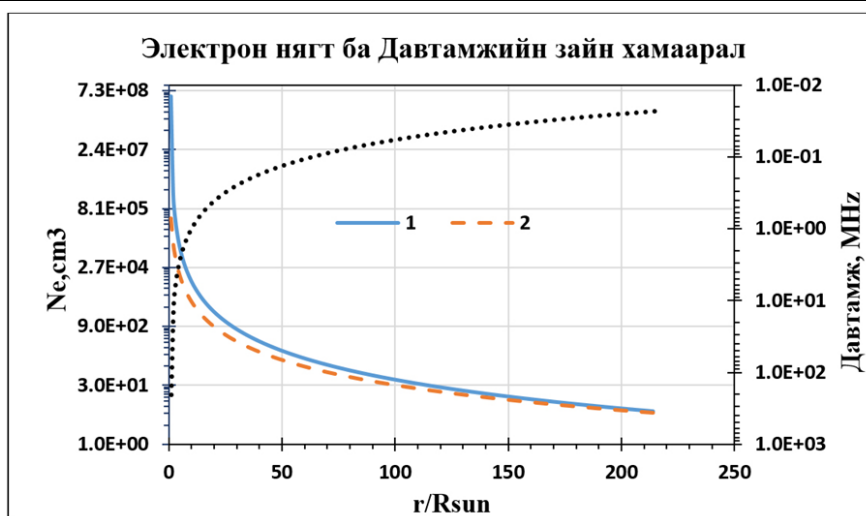
Schwenn R., 1984) ажилд Helios-1,2 хиймэл дагуулын 0.3-1AU зайд бүртгэсэн өгөгдлүүдийг  $n_e = 6.14(r/1AU)^{-2.1} \text{ cm}^{-3}$  эмпирик хамаарлаар дөхүүлсэн байдаг. (1) томьёоноос харахад  $y \gg 1$  тохиолдолд  $n_e \sim (y)^{-1/(1-\alpha)^b}$  байх тул дээрхтэй ижил төсөөтэй дөхөлт байна. (6) томьёогоор хүснэгт 1 дэх өгөгдлүүдээр тооцоолон харьцуулахад ажиглалт буюу дээрх эмпирик хамааралд хамгийн дөхүү нь  $A=0.01$ ,  $\epsilon=1.84$  утгуудаар тооцоолсон үр дүн юм. Энд  $\cos\phi=0.5$ ,  $\cos\theta=0.5$ ,  $v_s=0.3c$  дундаж утгуудыг ашигласан. Харьцуулсан үр дүнг Зураг 1 дээр харуулав. Бидний санал болгож буй

өндрийн шатлалаар хийсэн тооцоолол ажиглалтаар тодорхойлсон эмпирик хамаарлаар бодсон үр дүнтэй таарч байна (Зураг 1).

Нарны титэм дэх электрон нягтыг тооцоолох эмпирик томьёонууд олон бий (Baumbach, 1937), (Newkirk, 1961) (Saito, K., A. I. Poland, & R. H. Munro, 1977). Эдгээр нь 0.1AU хүртэл зайд тохирох боловч 1AU зайд (Дэлхий орчимд) ажиглалтаас ихээхэн ялгаатай, харин нягтын өндрийн шатлал хуваарийг ( $N_T$ ) хувьсах байдлаар тооцсон томьёо (6) нь 1AU зайд илүү тохирох боломжтой байна.

Хүснэгт 1. (3) томьёонд оруулсан өгөгдөл (A) болон тэдгээрээр тодорхойлсон (k, α) утгууд

Эшлэл	Давтамж	A	ε	k	α	cosφ
(Alvarez, 1973)	75 kHz -550MHz	0.01	1.84	0.0173	0.5163	0.5
(Mann, 1999)	40kHz-85 MHz	0.0074	1.76	0.0132	0.6114	0.3
(Zhang, 2018)	10–80 MHz	0.0672	1.23	0.004	0.6193	0.15
(Aschwanden, 1995)	200 MHz - 3000 MHz	0.1	1.4	0.7057	0.6030	0.5
Тооцоолсон	10-70 MHz	0.03	1.63	0.0121	0.5562	0.5



Зураг 1. 1-Томьёо (4) -ээр тооцоолсон үр дүн, 2- Ажиглалт буюу Bougeret (1984), 3- Томьёо (4)-ээр тооцоолсон электрон нягтад харгалзах давтамжийн хамаарал

### ДҮГНЭЛТ

Нарны плазмд, ялангуяа титэмд чөлөөт электроны агууламж их учир титэмд явагддаг физик процесст чөлөөт электрон чухал үүргийг гүйцэтгэдэг, иймд электрон нягтыг тооцоолох, аналитик хэлбэр тодорхойлох нь ихээхэн ач

холбогдолтой юм. Нарны агаар мандлын загвар байгуулах, спектрийн шугамын тооцоолол зэргээр тохиромжит электрон нягтыг ( $R \leq 20R_{\text{нар}}$ ) мэдэж болдог боловч  $R \leq 20R_{\text{нар}}$  зайд хэмжсэн өгөгдөл буюу сансрын станц, хиймэл дагуулын мэдээлэл

хомс байдаг. Өндрийн шатлал хуваарийг ( $H$ ) зайнаас шугаман хамааралтай авч  $R_{\text{нар}} < R \leq 215R_{\text{нар}}$  зайд тооцоолсон нь ажиглалттай (Bougeret J.-L, King J.H. & Schwenn R., 1984) сайн тохирсон байна (зураг 1). Энэ тохиолдолд томъёо (1) дэх тогтмолуудыг радио гялбааны ажиглалтын (Alvarez, H. & Haddock, F. T., 1973) эмпирик хамаарлыг ашиглан  $\phi, \theta, \nu_s$  -ийн дундаж утгуудаар бодсон шийд юм. Гэтэл бусад хамаарлын хувьд (Хүснэгт 1 дэх ажиглалтын  $A, \varepsilon$ -ийн хувьд) электрон нягтын хамаарал  $20R_{\text{нар}} < R \leq 215R_{\text{нар}}$  зайд

ажиглалтаас хэт бага утгатай байна. Иймд  $H_T = 0.5163 \times H + 0.42 \times r$  шугаман хамаарал бүхий өндрийн шатлалын үед  $A = 0.001$ ,  $\varepsilon = 1.84$  (хүснэгт 1) утгаар бодсон тохиолдолд  $n_e = n^0 (1 + 0.0173r)^{-2.38}$  ажиглалтад илүү дөхүү байна. Энд зөвхөн шугаман хамаарал буюу эхний дөхөлтийг авч үзсэн бөгөөд (Robinson, P. A., & Benz, A. O., 2000) ажилд дурдсан  $(r/1\text{AU})^{1.61}$  хамаарлыг тооцвол аналитик аргаар бодох асуудал хүндэрч зөвхөн тоон аргаар бодоход хүрнэ.

## ТАЛАРХАЛ

Нарны стационар бус үзэгдлийн нэг бол радио гялбаа бөгөөд e-callisto сүлжээ ажиглалт нь ихээхэн багтаамж бүхий спектр өгөгдлийн сан бүрдүүлж байгаагаас

гадна дэлхий даяар e-callisto олон станц тасралтгүй ажиллан нэг ч радио гялбааг алдахгүй бүртгэж байна

## НОМЗҮЙ

Alvarez, H. & Haddock, F. T. (1973). Solar wind density model from km-wave type III bursts. *Sol. Phys.*, 29, 197.

Aschwanden, M. (2004). *Physics of the solar corona, hydrostatics*. Springer, 67-69.

Aschwanden, M. J., Benz, A. O., Dennis, B. R., & Schwartz, R. A. (1995). Solar electron beams detected in hard X-rays and radio waves. *ApJ*, Vol. 455, 347-365.

Batbayar, B. & Batmunkh, D. (2020). Electron density in the solar corona from type III radio bursts. *Electron density Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, 60, 17-24.

Baumbach, S. (1937). *Strahlung, Ergiebigkeit und Elektronendichte der Sonnenkorona*. *Astronomische nachrichten*, Vol. 263, 121-134.

Benz, A. (2002). *Plasma Astrophysics. Kinetic Processes in Solar and Stellar Coronae*, 109.

Bougeret J.-L, King J.H. & Schwenn R. (1984). Solar radio burst and in situ determination of interplanetary electron density. *Sol. Phys.*, 90, 401.

Mann, G., Jansen, F., MacDowall, R. J.,

Kaiser, M. L., Stone, R. G. (1999). A heliospheric density model and type III radio bursts. *A&A*, 348, 614.

Newkirk, G. (1961). The solar corona in active regions and the thermal origin of the slowly varying component of solar radio radiation. *A&A*, 133, 983.

Robinson, P. A., & Benz, A. O. (2000). Bidirectional type III solar radio bursts. *Sol. Phys.*, 194, 345.

Robinson, P.A., & Cairns I.H. (1998). Fundamental and Harmonic Emission in type III solar radio bursts – III Heliocentric variation of Interplanetary beam and source parameters. *Sol. Phys.*, 181, 429.

Saito, K., A. I. Poland, & R. H. Munro. (1977). A study of the background corona near solar minimum. *Sol. Phys.*, 55, 121.

Zhang, P.J., Wang, C. B. & Ye, L. (2018). A type III radio burst automatic analysis system and statistic results for half solar cycle with Nançay Decameter Array data. *A&A*, V618, id A165, pp.11.

## THE DENSITY SCALE HEIGHT IN THE SOLAR CORONA

Batmunkh Damdin<sup>1\*</sup>, Batbayar Batmunkh<sup>1</sup><sup>1</sup>Department of Astrophysics, Institute of Astronomy & Geophysics of MAS\*Corresponding author: [batmunkh@iag.ac.mn](mailto:batmunkh@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** In this work, we analyzed the expression for the electron density  $n_e(r)$  in the solar corona, obtained by adding a distance-dependent term to the scale height. To determine the  $n_e(r)$  constants, empirical formulas for the FDR (frequency drift rate) of radio bursts were used. As a result of comparing the electron density with observations, the appropriate one was selected ( $A=0.01$ ,  $\varepsilon=1.84$ ) from several empirical formulas for the FDR. At the selected scale height ( $H_T=0.5163 \times H+0.42$ ),  $n_e=n^0(1+0.0173 \cdot r)^{-2.38}$  is obtained close to the observations. Thus, adopting the density scale height as a function of distance results in a substantially different expression for  $n_e(r)$ .

**Keywords:** Sun: corona, electron density, scale height, radio bursts



## ДАЛАНЗАДГАД СУМЫН ТАЛБАЙН ХӨРСНИЙ ХУРДНЫ ЗАГВАРЫГ БИЧИЛ СҮЛЖЭЭ СТАНЦААР ТОДОРХОЙЛОХ НЬ

М.Дэмбэрэлдулам<sup>1\*</sup>, Ч.Одонбаатар<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [dembereldulam@iag.ac.mn](mailto:dembereldulam@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Даланзадгад сумын нутаг дэвсгэрийн хөрсний үе давхаргын зузаан, түүгээр тархах сейсмик долгионы хурдны загварыг тодорхойлохдоо микротремор бичил сүлжээ станцын хэмжилтийг 3 цэг дээр хийсэн. Geopsy программын fk спектр анализын арга, инверсийн аргаар гадаргуун Релей долгионы хувьд дисперсийн муруйг тодорхойлон уг муруйн өгөгдлөөр урвуу бодлого бодох аргачлалаар хурдны загварыг гаргасан. Даланзадгад сумын хөрсний инженер-геологийн нөхцөлийн хувьд ялгаатай А (төв), В (баруун), С (зүүн) талбайнуудын хувьд хөрсний зузаан нь ойролцоогоор 38.5 м (А), 120 м (В), 73 м (С), Vs- хөндлөн долгионы дундаж хурд 507 м/сек (А), 497 м/сек (В), 405 м/сек (С) байна. Талбай бүрийн хувьд тодорхойлсон хурдны загварыг ашиглан 1 хэмжээст загварчлалыг Shake91- ээр бодуулан хөрсний респонс спектрийг тооцоолон гаргасан. Гарсан үр дүнг бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн төв цэгийн HV, эталон (хад) хөрс болон судалгааны талбайд суурилуулсан станцад нэгэн зэрэг бичигдсэн газар хөдлөлтийн SSR- тай харьцуулан үзэхэд давтамжийн хувьд ойролцоо утга өгсөн.

**Түлхүүр үг:** микротремор, дисперсийн муруй, сейсмик долионы хурдны загвар.

### ОРШИЛ

Газар хөдлөлийн үед сейсмик долгионы хурд нь тухайн талбайн (бассейны) хөрсний шинж чанараас хамааран тодорхой давтамжуудад өсгөлт өгч болно. Газар хөдлөлтийн шинжлэх ухаанд энэхүү долгионы өсгөлтийг тооцоолсноор тухайн талбайд ирэх сейсмик долгионыг онолын хувьд тооцоолох, барилга байгууламжийн тэсвэрлэлтийн зураг төслийг хийх, газар хөдлөлтийн бичил мужлалын зураг зохиох зэрэг ажлуудад хэрэглэдэг байна. Хөрсөөр тархах сейсмик долгионы энэхүү өсгөлтийг онолын хувьд болон эмпирик байдлаар тооцоолохын тулд бидэнд сэвсгэр хөрсөнд тархах сейсмик долгионы хурдын загвар хэрэг болдог. Сейсмик долгионы хурдны загварыг гаргаж авдаг олон янзын сейсмологийн аргачлалууд байдаг. Үүнд сейсмик хайгуулын арга, сейсмик томограф, PS logging, микротреморын бичил

сүлжээ станцын хэмжилтийн аргууд орно. Эдгээр аргуудаас микротремор бичил сүлжээ станцын хэмжилтээр хурдны загвар гарган авах аргачлал нь хамгийн хямд төсөр, хурдан хийх боломжтой арга юм. Даланзадгад сумын талбайн бичил мужлалын судалгааны ажлын хүрээнд бүрдүүлсэн мэдээллийн санд тулгуурлан гүйцэтгэсэн.

Микротремор долгион үйлдвэрлэл, машин техникийн нөлөөллөөр үүссэн орчны бага далайцтай сейсмик шуугианыг хэлнэ. Микротреморын хэмжилтээр хөрсний хурдны загварыг гаргах SPAC (spectral auto correlation) (Aki 1957) болон FK спектр анализын арга (frequency-wavenumber) (Horike and Yamanaka et al. 1985, 1999) гэсэн 2 үндсэн аргачлал одоогоор түгээмэл хэрэглэгдэж байна. FK аргачлал нь анх цөмийн тэсэлгээг илрүүлэх зорилгоор диаметр нь 200 км хүртэлх

талбайд сейсмик сүлжээ станцын хувьд хөгжүүлж ирсэн байдаг. Хөрсний дээд үеэр тархаж буй сейсмик шумьг гадаргын долгион гэж үзвэл сүлжээ станцуудаар гадаргын долгионы дисперсийн муруйг гарган авах боломжтой юм. Гарган авсан гадаргын долгионы дисперсийн муруйг инверси хийх замаар хөрсний хурдны загварыг гарган авч болно.

1985 онд Даланзадгад сумын газар хөдлөлийн бичил мужлалын 1:4000 масштабтай зураг зохиох судалгааны ажлыг хийсэн байдаг. Тус судалгааны ажлын хүрээнд цахилгаан ба чичирхийлэл хайгуул, өрөмдлөгийн мэдээллүүд дээр тулгуурлан хөрсний хурдны загварыг

### **СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ**

Хөрсний дээд үе давхарга буюу сэвсгэр хөрсөөр тархаж байгаа хурдны загвар гаргахын тулд FK спектр анализ буюу давтамж- долгионы тооны хавтгайн хувьд дараах зүйлсийг үнэн гэж авч үздэг. 1-рт сейсмик станцад бүртгэгдэж байгаа микротремор долгион нь гадаргуун долгионоос бүрдэнэ. 2- рт бүртгэгдэж байгаа долгионыг хавтгай долгион гэх буюу үүсгүүр нь станц хоорондын зайнаас хангалттай хол.

Дээрх 2 нөхцөл бүрдсэн үед сүлжээ станцад бүртгэгдсэн долгионыг тодорхой давтамжийн хувьд фильтр хийж, автокорилляцийг тооцоолбол тухайн долгионы ирж буй азимут, хурдыг тодорхойлж болно. Энэхүү үйлдлийг бусад давтамжуудын хувьд гүйцэтгэснээр долгионы хурдны давтамжаас хамаарсан функцийг гарган авч болно. (Capon 1969) FK анализаар гарган авсан хурдны давтамжаас хамаарсан функцийг дисперсийн муруй гэх бөгөөд энэхүү

### **СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ БА ХЭМЖИЛТ**

Судалгааг Даланзадгад сумын төв А, баруун В, зүүн С гэсэн 3 талбайд 2023 оны 04 дүгээр сард тус бүр 10 ширхэг газар хөдлөлт бүртгэх Guralp-CMG- 3EPS сейсмометр, Reftec130B & Reftec130S 2

тооцоолсон байдаг. Түүнчлэн Даланзадгад сумын газар хөдлөлийн бичил мужлалын 1:10000 масштабтай зураг зохиох судалгааны ажлын хүрээнд тус бүс нутагт 8 цэгт (эталон цэгийг хадан хөрс дээр суурилуулсан) 14 хоногийн хугацаатай газар хөдлөлт бүртгэж авсан. Эдгээр цэгүүдийн спектр харьцаагаар тухайн цэгийн сэвсгэр хөрсний респонсийг (SSR) үнэлсэн. Бид энэхүү ажлын үр дүнг 1D загварчлалаар тодорхойлсон хөрсний респонс, тухайн талбайн хэмжилтийн цэгийн HV болон хамгийн ойр байрлах ижил төстэй хөрс бүхий цэгийн SSR- тэй харьцуулсан үр дүнг энэхүү судалгааны ажилд оруулсан болно.

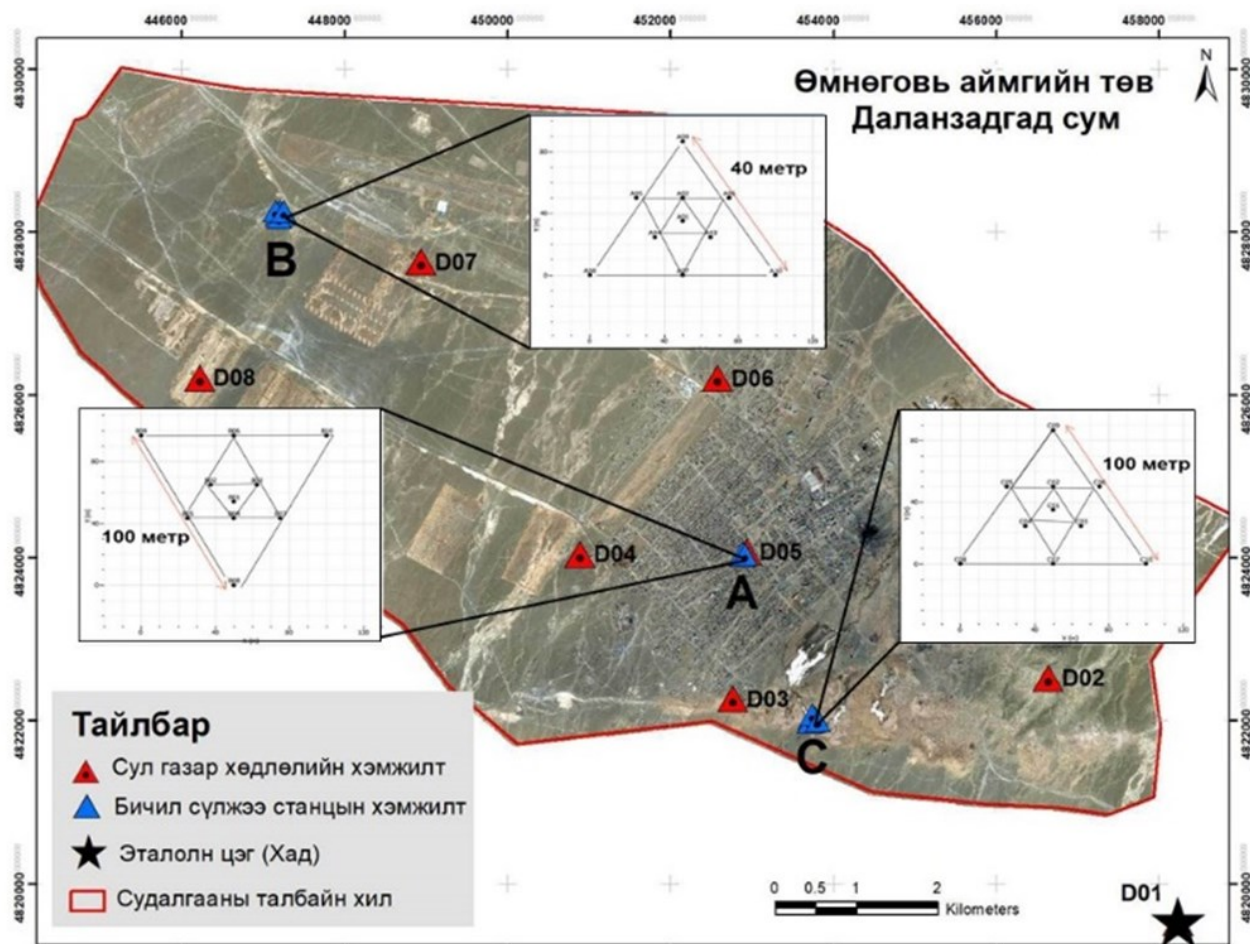
муруйг Релей долгионы фазын хурдны дисперсийн муруй гэж үзвэл судалгааны талбайн хөрсний үе давхаргыг инверсийн аргаар тодорхойлох боломжтой. Үелсэн орчинд тархах Релей долгионы фазын хурдны дисперсийн муруйг (Haskell 1953) тархалтын матрицын тусламжтай тооцоолсон.

Энэхүү онолын дисперсийн муруйг бидний хэмжилтээр тооцоолсон дисперсийн муруйн зөрүү функцийг тэг рүү дөхүүлэх замаар, хөрсний үе давхарга түүгээр тархах сейсмик долгионы хурдыг тодорхойлсон. Фазын дисперсийн муруйг тооцоолох нь шугаман биш бодлого юм. Инверс хийхдээ глобал минимум хайдаг алгоритм (neighborhood algoritm) хэрэглэн хөрсний үе давхарга болон түүгээр тархах хурдыг тодорхойлсон болно. (Wathelet 2008). Дээрх тооцооллыг гүйцэтгэхдээ европын холбооноос санхүүжүүлсэн GE-OPSY төслийн багийн зохиосон SESAME программыг хэрэглэсэн болно.

төрлийн дижитайзеруудаар тоногдсон бичил сүлжээ станцыг суурилуулан хэмжилтийг хийсэн. Хэмжилт хийсэн цэгүүд болон бичил сүлжээ станцын ерөнхий байрлалыг Зураг 1- т үзүүллээ.

Хэмжилт хийхдээ бичил сүлжээ станцын максимум зайг өмнөх судалгааны үр дүн (сэвсгэр хурдасны зузаан) болон тухайн талбайд хийгдсэн сейсмик шумын хэмжилтийн өсгөлт (пик) үзүүлж буй давтамжид үндэслэн 40 метр (А), 100 метр (В), 100 метр (С) зайтай хийсэн.

Хэмжилтийн цэг бүрд салхины шуугианы нөлөөллийг багасгахын тулд ~50 см нүх ухаж сейсмометрүүдийг суурилуулсан. Багажийн тогтворжилт болон орчны шуугианы түвшин зэргээс хамаарч хэмжилтийн хугацаа харилцан адилгүй байсан (Хүснэгт 1).



Зураг 1. Бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн талбайн байрлал & сул газар хөдлөлийн хэмжилт (SSR)-ийн цэгүүдийн байрлал. Таван хошуу тэмдэг- эталон цэг (хадан хөрс)

Хүснэгт 1. Микротремор бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн мэдээлэл

№	Хэмжилтийн цэгийн нэр	Хэмжилт хийгдсэн огноо	Хэмжилтийн хугацаа	Төв цэгийн координат
1	Төв -А А01- А10	2023.04.10- 04.11 (JDATE:100; 101)	~12 цаг	43.56782 104.41669
2	Баруун -В В01- В10	2023.04.11 (JDATE:101)	~2- 4 цаг	43.60508 104.34582
3	Зүүн -С С01- С10	2023.04.11 (JDATE:101)	~2 цаг	43.54960 104.4274

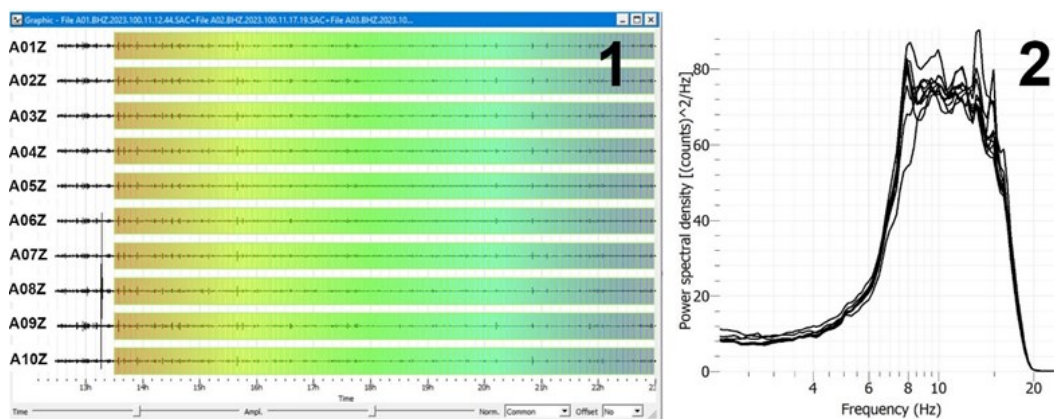


## МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТЫН ҮР ДҮН

Микротреморын бичлэгт боловсруулалтыг хийхдээ бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн бичлэг тус бүрээс шуугианы ижил түвшин болон спектрийг

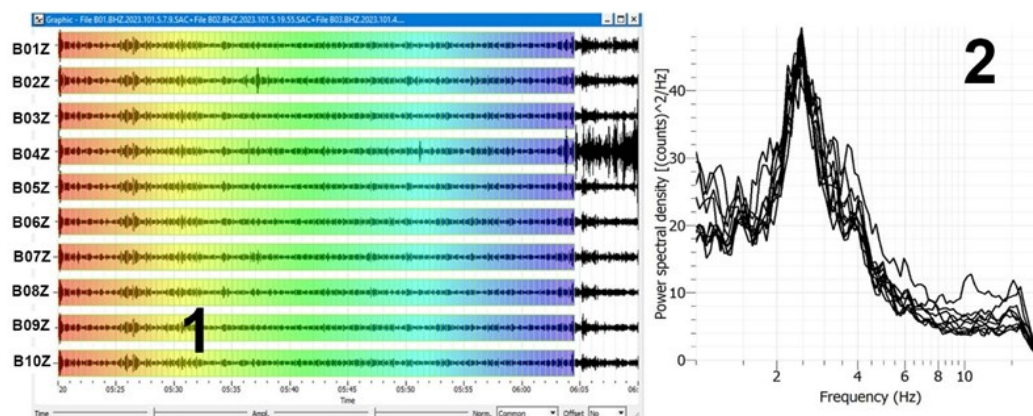
шалгах замаар хамгийн тогтвортой үеийн 9 цагийн, 35 минутын, 37 минутын гэсэн 3 өөр хугацааны бичлэгийг тус тус сонгон авсан.

### А талбай



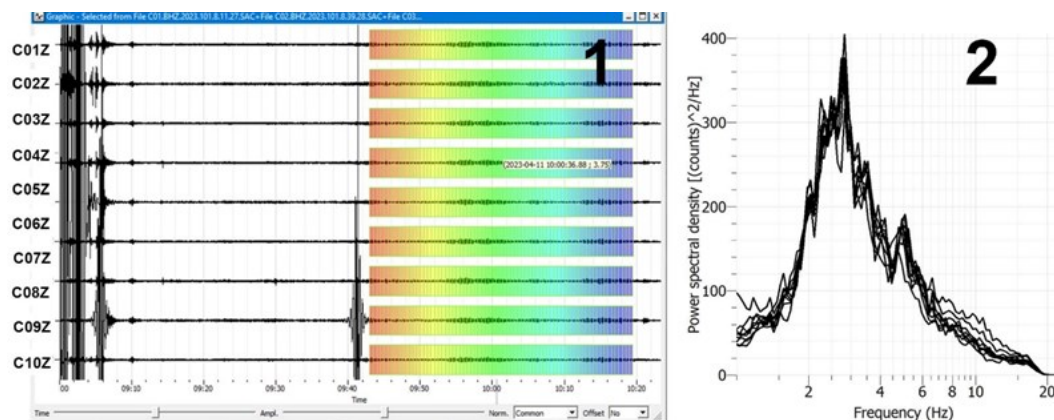
Зураг 2. 1- сонгож авсан сигнал, 2- A01-A10 цэгүүдийн чадлын спектрийг давхиулсан байдал

### В талбай



Зураг 3. 1- сонгож авсан сигнал, 2- B01- B10 цэгүүдийн чадлын спектрийг давхиулсан байдал

### С талбай

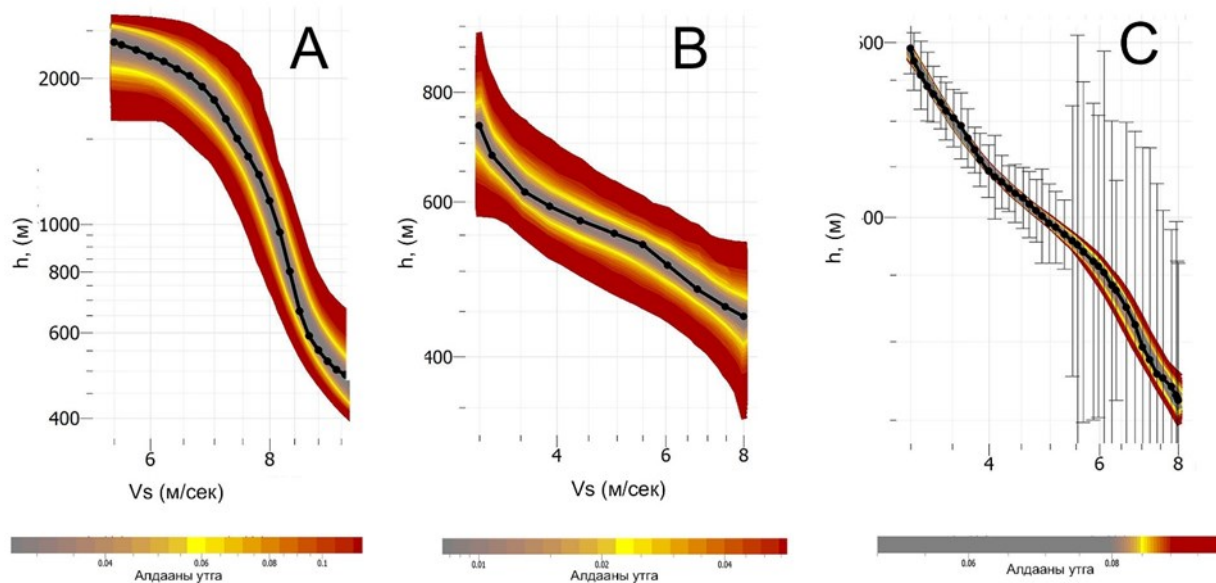


Зураг 4. 1- сонгож авсан сигнал, 2- C01- C10 цэгүүдийн чадлын спектрийг давхиулсан байдал



Сонгож авсан сигналын мэдээлэл дээрээ тулгуурлан  $f_k$  спектр анализ хийж тухайн долгионы давтамж бүрд харгалзах

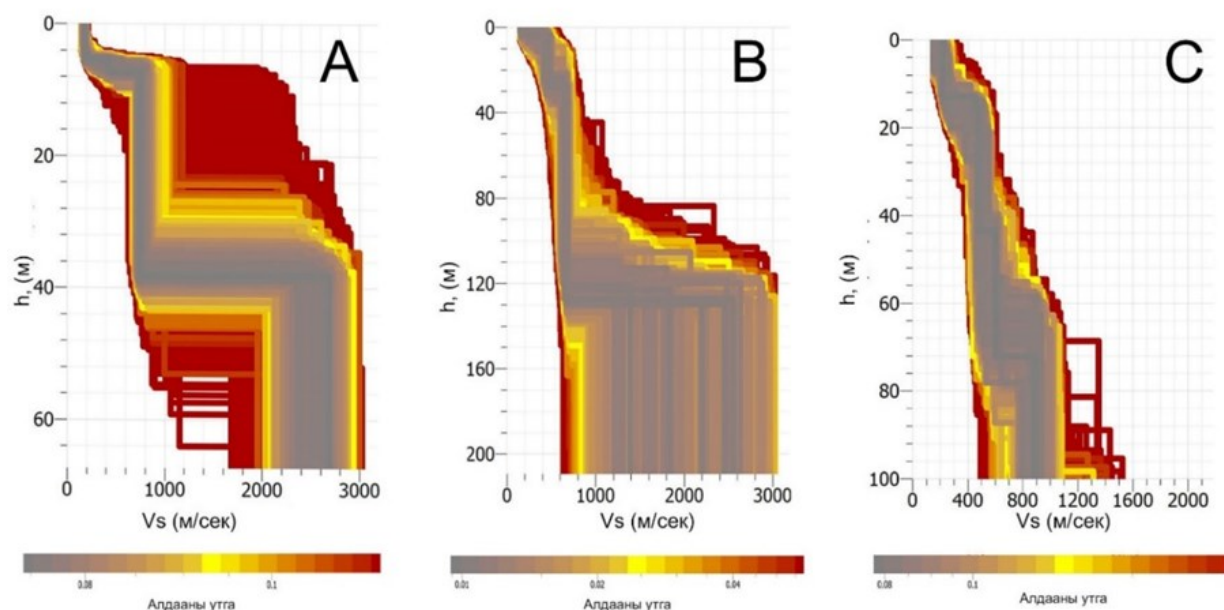
хурдны утгаар хэмжилтийн А, В, С талбайн Релей долгионы фазын хурдны дисперсийн муруйг тооцоолсныг Зураг 3- аар үзүүлэв.



Зураг 5. А, В, С талбайн хувьд Релей долгионы фазын дисперсийн муруй

Зураг дээр хар цэгээр холбосон шугам нь хэмжилтээр ажиглагдсан муруй бөгөөд бусад өнгө нь онолын тооцоогоор гарсан муруйн олонлогийг илэрхийлнэ. Релей долгионы фазын хурдны дисперсийн

муруйгаас хөрсний үе давхаргын зузаан, түүгээр тархах S хөндлөн долгионы хурдаар инверс буюу урвуу бодлого бодох замаар А, В, С талбайнуудын хувьд хурдны загвар гаргасныг Зураг 4- өөр үзүүлэв.



Зураг 6. А, В, С талбай бүрийн хувьд хөрсөөр тархах S хөндлөн долгионы хурдны загвар

FK анализар гарган авсан хурдны загвараас тухайн хөрсөөр тархах сейсмик долгионы 1D загварчлалыг Shake91 программаар тооцоолол хийж тухайн оролтын долгионы өөрчлөлт болон талбайн респонсийг тооцоолон гаргасан болно.

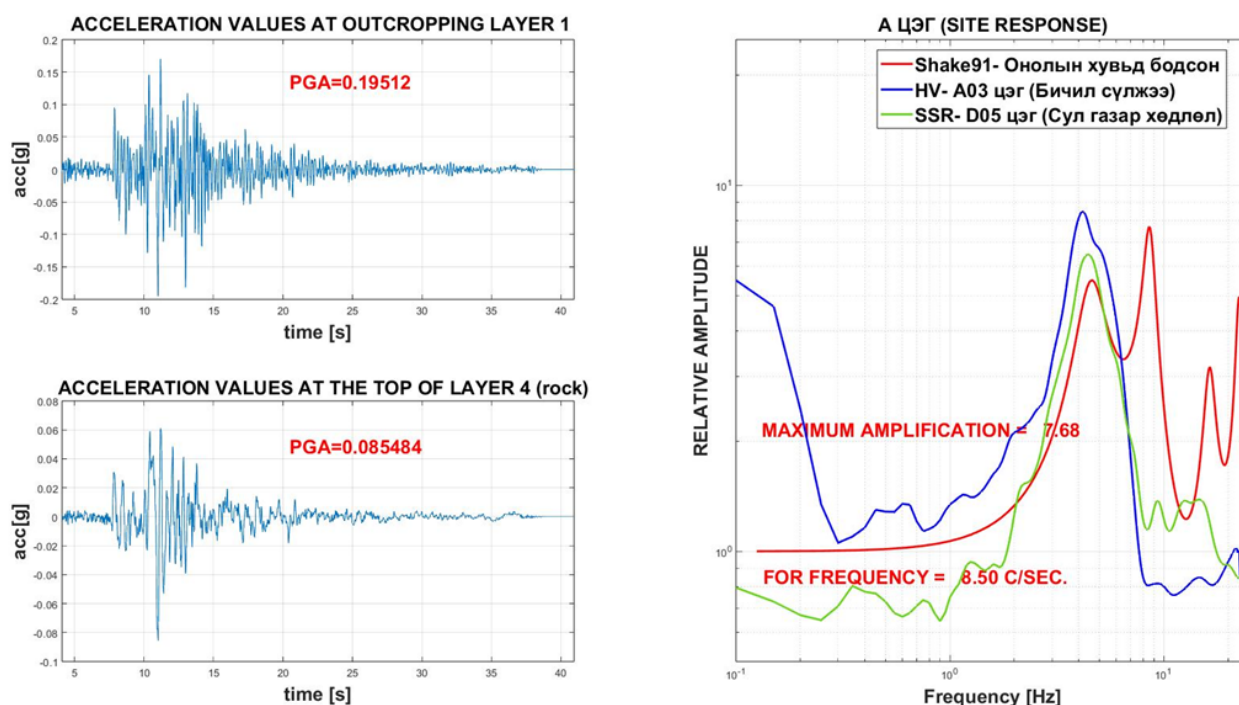
Тооцооллоор гарсан 1D хөрсний респонсийг В, С талбайд хийсэн бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн В03, С03 цэгүүдийн HV спектр харьцаатай харьцуулан үзэхэд ижил давтамж дээр өсгөлт өгч байлаа (Зураг 8, 9).

Харин А талбайд сул газар хөдлөлийн хэмжилтийн D05 цэгийн мэдээлэл байсан

тул SSR- аар хийсэн спектр, бичил сүлжээ станцын хэмжилтийн А03 цэгийн спектр болон 1D хөрсний респонс спектрүүдийг хооронд нь харьцуулсан болно (Зураг 7).

1985 онд Даланзадгад сумын бичил мужлалын судалгааны ажлаар талбайн хөрсний хурдын загварыг сейсмик хайгуулын аргыг ашиглан гаргасан байна.

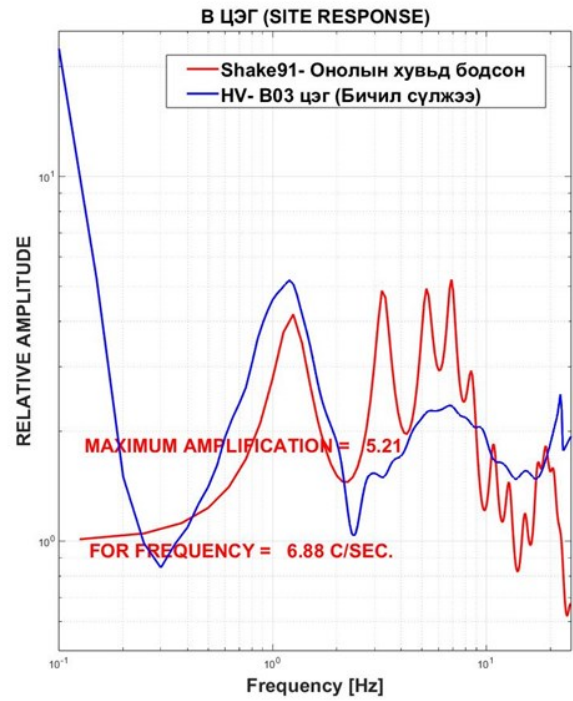
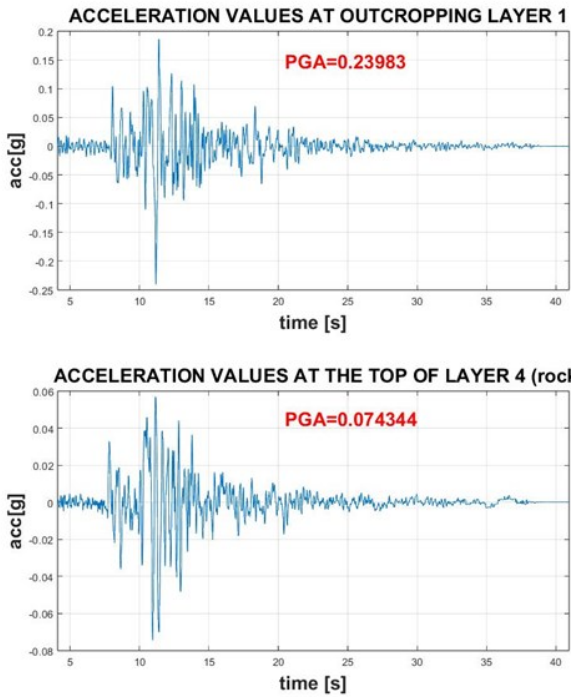
Уг судалгааны талбайд бидний хийсэн А ба С талбай багтах бөгөөд А ба С талбайтай хамгийн ойрхон хийгдсэн хурдны загварын үр дүнг, одоогийн А ба С талбайд хийсэн FK спектр анализын үр дүнтэй харьцуулсан болно (Зураг 10).



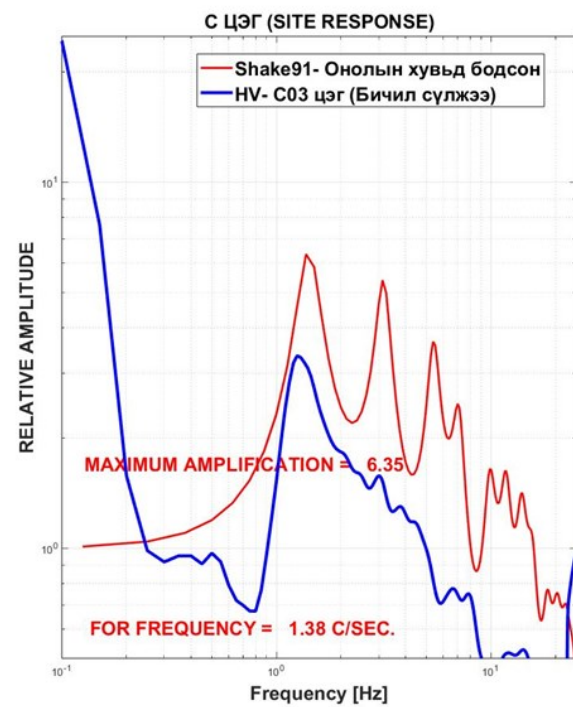
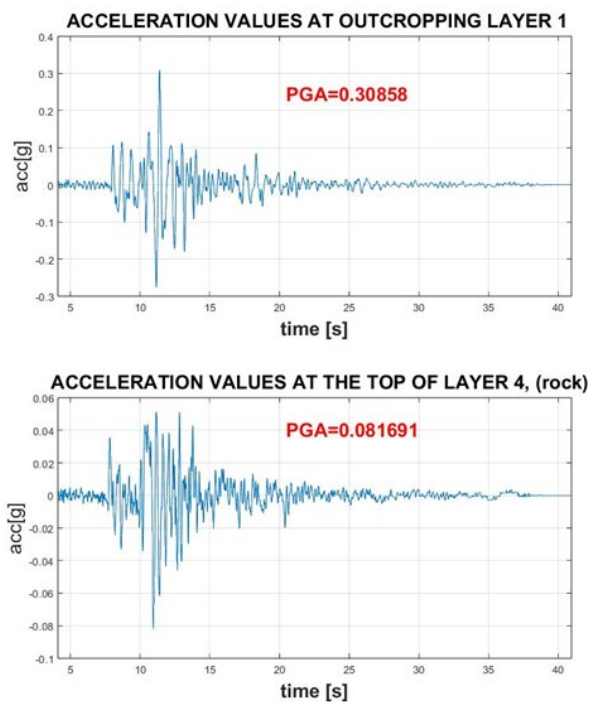
Зураг 7. А талбайн хувьд Shake91, А03, D05 цэгүүдийн хөрсний респонс спектр

А талбайн хувьд өмнөх хэмжилтээр 3 үетэй хурдны загвар гаргасан байсан нь бидний гаргасан хурдны загвартай ойролцоо утга өгч байна. С талбайн хувьд өмнө хийсэн хэмжилтийн профилийн байршил нь 1 км хүртэл зайнд байсан ба суурь чулуулгийн хурд нэлээд зөрүүтэй буюу 900 м/сек, 2300 м/сек утга өгсөн.

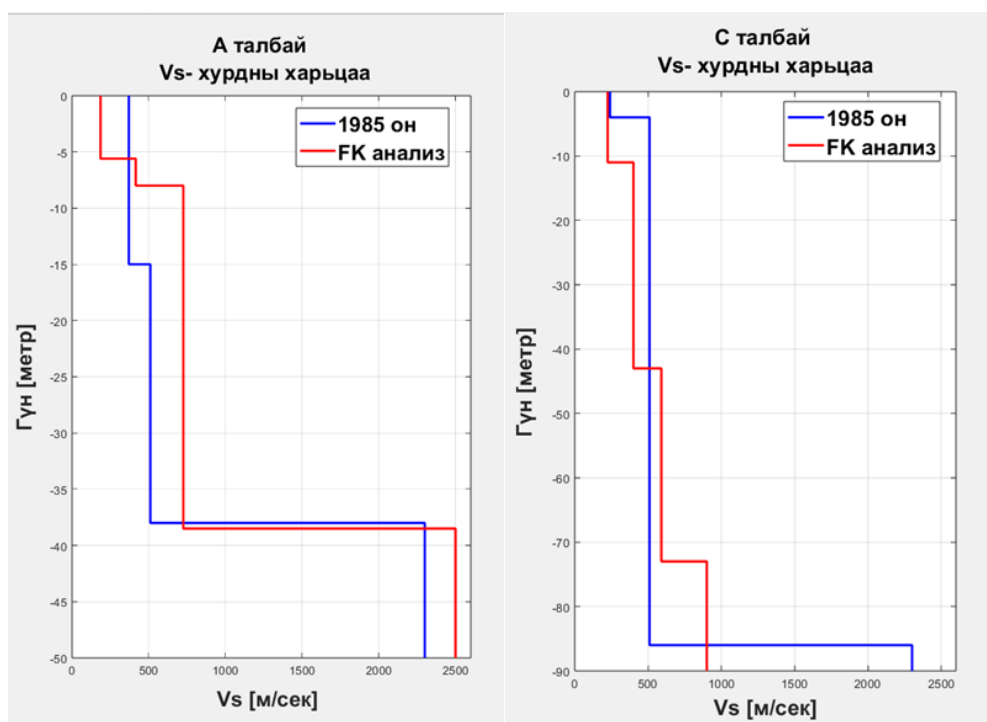
Энэ хурдны зөрүү нь өмнөх судалгаанд бүх профилийн хувьд суурь чулуулгийн хурдыг 2300 м/с-ээр авсантай холбоотой гэж дүгнэж байна. Харин сэвсгэр хөрсний гүний зөрүү нь 15% байгаа нь хангалттай сайн таарсан гэж үзэж байна.



Зураг 8. В талбайн хувьд Shake91, B03 цэгийн хөрсний респонс спектр.



Зураг 9. С талбайн хувьд Shake91, C03 цэгийн хөрсний респонс спектр



Зураг 10. А ба С талбайн хурдны загвар(1985 онд гаргасан хурдны загварыг FK анализаар гаргасан үр дүнтэй харьцуулсан байдал)

## ДҮГНЭЛТ

Өмнөговь аймгийн төв Даланзадгад сумын нутаг дэвсгэрийн сэвсгэр хөрсөөр тархах сейсмик S хөндлөн долгионы хурдны загварыг Fk спектр анализын арга, инверсийн аргаар нийт 3 цэгт тодорхойлсон.

А талбайн хувьд сэвсгэр хөрсний зузаан нь ойролцоогоор 38.5м, Vs- хөндлөн долгионы дундаж хурд 507м/сек, В талбайн хувьд сэвсгэр хөрсний зузаан нь ойролцоогоор 120 м, Vs- хөндлөн долгионы дундаж хурд 497м/сек, С талбайн хувьд сэвсгэр хөрсний зузаан нь ойролцоогоор 73 м, Vs- хөндлөн долгионы дундаж хурд 405 м/сек байна.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг Барилга Хот, Байгуулалтын Яам, Шинжлэх Ухааны Академийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн хооронд байгуулсан “Аймаг, сум, суурин газруудын нутаг дэвсгэрт газар хөдлөлтийн бичил мужлалын зураглал хийх, газар хөдлөлтийн эрсдэлийг тодорхойлоход чиглэсэн инженер-геологи, гидрогеологи, газар хөдлөлт, техникийн

1985 онд хийгдсэн судалгааны ажлын үр дүнг, бидний хийсэн судалгааны ажлын үр дүнтэй харьцуулан судлахад сэвсгэр хөрсний үе давхаргын хувьд ойролцоо утга өгсөн, харин суурь чулуулгийн хурдны утга нь зөрүүтэй байлаа. Сэвсгэр хөрсний гүний хувьд утгууд нь сайн таарч байна.

Энэхүү судалгааны ажлын үр дүн нь цаашид Өмнөговь аймгийн төвийн газар хөдлөлтийн бичил мужлалын зураг зохиох, газар хөдлөлтийн долгионы загварчлал хийх, синтетик газар хөдлөлтийн бичлэг гарган авах зэрэг судалгааны ажлуудад чухал ач холбогдолтой юм.

судалгааны ажлыг гүйцэтгэх” зөвлөх үйлчилгээний гэрээ төслийн хүрээнд хийж гүйцэтгэсэн. Төслийн багийн хамт олон, хүрээлэнгийн орон нутаг дахь Даланзадгад салбарын хамт олон болон МУИС- ийн Шинжлэх Ухааны Сургууль, Байгалийн Ухааны Сургууль, Геологи Геофизикийн тэнхимийн хамт олонд баярлаж талархсанаа илэрхийлье.



## **НОМЗҮЙ**

- Aki, K. 1957. "Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors." Bulletin of the Earthquake Research Institute, 415- 456.
- Capon. 1969. "High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis." Proceedings of the IEEE, 57 1408-1418.
- Haskell, N.A. 1953. "The Dispersion of Surface Waves on Multilayered Media." Bulletin of the Seismological Society of America, 43 17- 34.
- Horiike, 1985, and 1999 Yamanaka et al. 1985, 1999. "The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. A literature review." Earth-Science Reviews .
- Horiike, M. 1985. "Inversion of phase velocity of long-period microtremor to the S-wave-velocity structure down to the basement in urbanized areas." J. Phys. Earth 33 59-96.
- Odonbaatar Ch, Dembereldulam M, Baigalmaa G, Baatarsuren G. 2008. "S wave velocity determination using microtremor measurements near Amgalan area." Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences vol.189 67- 73.
- Wathelet, M., D. Jongmans, M. Ohrnberger, and S. Bonnefoy-Claudet. 2008. "Array performances for ambient vibrations on a shallow structure and consequences over Vs." Journal of Seismology, 12 1- 19.
- Yamanaka, H. 1994. "Array measurements of long-period microtremors and estimation of S-wave velocity structure in the western part of the Tokyo metropolitan area." (J. Seism. Soc. Jpn.) 47 163-172.
- О.В. Павлов, В.И. Джурик, И.Балжинням. 1985. "Сейсмическое микрорайонирование территорий г. Даланзадгад мнр." наук, Иркутсик-Улан-Батор. Ч.Одонбаатар, Т.Дугармаа, М.Дэмбэрэлдулам. 2009. "Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрийн сэвсгэр хөрсөөр тархах сейсм долгионы хурдны загвар" 1-8.

## **ТОВЧЛОЛ**

- FK- frequency wavenumber  
HV- Horizontal to Vertical  
SSR- Standard Spectral Ratio  
SPAC- Spectral autocorrelation  
PGA- peak ground acceleration  
Site response- хөрсний хариу респонс  
1D- one dimensional

## THE S-WAVE VELOCITY MODEL USING MICROTREMOR MEASUREMENTS AT THE DALANZADGAD SUM

Dembereldulam Munkhjargal<sup>1,2\*</sup>, Odonbaatar Chimed<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Department of Geology and Geophysics, Division of Natural Science, School of Sciences, National University of Mongolia*

\*Corresponding author: [dembereldulam@iag.ac.mn](mailto:dembereldulam@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract:** To determine the S-wave velocity structure and soil layer thickness in the Dalanzadgad sum, we deployed a microtremor seismic array stations at three sites. The Geopsy program's fk spectrum analysis and inversion methods were employed to develop velocity models, which assumed the dispersion curve is a surface Rayleigh wave. In site A (center), B (right), and C (left), the soil thickness is approximately 38.5 meters, 120 meters, and 73 meters, with average  $V_s$ -wave velocities of 507 m/s, 497 m/s and 405 m/s respectively. Using a specified velocity model for each site, the site response was computed using Shake91. Obtained site amplification spectrum were compared HV (horizontal-to-vertical) spectral ratios and SSR (Standard Spectral Ratio) results. Moreover, the result also compared previous study results.

**Keywords:** *Micrometer, disperse, seismic 1D velocity model*

## 2021 ОНЫ 1 САРЫН 12-НД ХӨВСГӨЛ АЙМГИЙН ХАНХ СУМЫН НУТАГТ БОЛСОН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН МАКРО СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

М.Долгормаа<sup>1\*</sup>, Л.Дагзинмаа<sup>1</sup>, М.Оюун-Эрдэнэ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [dolgormaa@iag.ac.mn](mailto:dolgormaa@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** 2021 оны 1 дүгээр сарын 12-ны 5 цаг 32 мин 56 секундэд (Улаанбаатарын цагаар) Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын төвөөс баруун урагш 26 километрийн зайд магнитуд нь Mw6.7 (А. Ф. Еманова, 2022), хүрсэн хүчтэй газар хөдлөлт болсон. Уг газар хөдлөлтийн чичирхийлэл нь Хөвсгөл аймгийн бүх сумд, Сэлэнгэ, Завхан, Архангай, Увс, Баянхонгор, Булган, Дархан, Эрдэнэт, Улаанбаатар хот, Дундговь, Өмнөговь аймгийн иргэдэд мэдрэгдсэн байна. Газар хөдлөлт болсон бүс нутагт газар хөдлөлтийн чичирхийллийн нөлөөг тогтоох макро судалгаа явуулсан. Газар хөдлөлтийн чичирхийлэл мэдрэгдсэн эдгээр аймгуудын ард иргэдээс анхан шатны 1370 макро мэдээг авсан мэдээнд анализ хийж аймаг тус бүрээр баллын үнэлгээг гарган авсан.

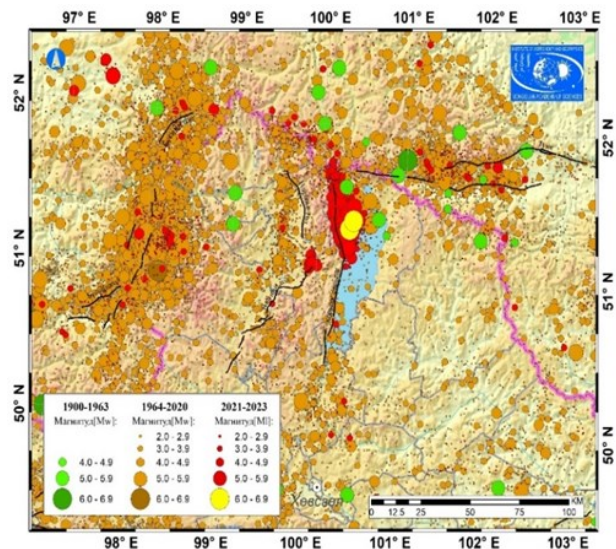
**Түлхүүр үг:** Макро мэдээ, газар хөдлөлт, чичирхийлэл, баллын үнэлгээ

### ОРШИЛ

2021 оны 1 дүгээр сарын 12-ны 5 цаг 32 мин 56 секундэд (Улаанбаатарын цагаар) (Battogtokh, 2021) Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын төвөөс баруун урагш 26 километрийн зайд магнитуд нь Mw=6.7 (А. Ф. Еманова, 2022) хүрсэн хүчтэй газар хөдлөлт болсон. Уг газар хөдлөлтийн дараа олон тооны давталт хөдлөлт болсон бөгөөд 2023 оны 9 дүгээр сарын байдлаар Үндэсний Мэдээллийн Төвийн мэдээллийн сангийн мэдээллээр тус бүс нутагт ~132000 орчим газар хөдлөлт бүртгэгдсэн байна. Үүнээс М4-тэй газар хөдлөлт 97, М5-тай газар хөдлөлт 8, М6-тай газар хөдлөлт 2 тус тус болсон байна (Зураг 1).

### СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ

Газар хөдлөлтийн эрчийг багажийн болон багажийн бус (макросейсм)-ийн гэсэн хоёр янзын аргаар тодорхойлно. Макросейсмийг арга нь газар хөдлөлтийн эрч буюу тухайн хөдлөлтөөр үүссэн доргилт газрын гадаргуу болон түүн дээр орших объектод нөлөөлсөн нөлөөллийн хэмжээгээр тодорхойлогддог. Энэхүү



Зураг 1. Ханхын газар хөдлөлийн төвийн тархалтын зураг (Л.Тунгалаг, 2023)

физик хэмжигдэхүүн нь тоон утгаар баллын шаталбараар (I-XII нэгж) илэрхийлэгдэнэ. (Д.Мөнхөө, n.d)

Хүчтэй газар хөдлөлтийн дараа үүсэх доргилтын эрчийг үнэлэхдээ дараах макросейсмик индикаторуудыг авч үздэг. Үүнд:

– Хүмүүс түүнийг хүрээлэн буй юмс

- Барилга байгууламж
- Дагалдах байгалийн үзэгдлүүд зэрэг орно.

Дээрх индикаторуудийг газрын гадаргуун ажиглалтын олон цэгт хэрэглэж болно (Д.Мөнхөө, n.d). Дээрх үзүүлэлтүүдийг тодорхойлсон тусгай асуумжийн дагуу хүмүүсийн аман мэдээнд дүн шинжилгээ хийж баллыг үнэлэх нь макро судалгааны гол үндэс болно. Манай орны хувьд MSK-64 (Medvedev, 1965) шаталбарт тулгуурлан гаргасан тусгай асуумжийн дагуу иргэдээс аман мэдээ аван түүндээ үнэлгээ хийж, баллыг тогтоож

## МЭДЭЭЛЛИЙН САН БҮРДҮҮЛЭЛТ

Макро судалгаа нь иргэдийн аман мэдээнд дүн шинжилгээ хийж баллыг үнэлэх учраас хугацаа алдалгүй иргэдтэй холбогдон мэдээллээ авах нь чухал байдаг. Доорх процессийн дагуу макро мэдээг цуглуулж байна.

- Хүчтэй хөдлөл болсон даруйд тухайн болсон газар нутгийн иргэдтэй холбогдож хэдэн аймаг, сум мэдэрсэн талаарх мэдээллийг гаргах (Орон нутгийн 12 станцын макро хариуцсан ажилтнууд дээрх мэдээллийг явуулж байна. Станцгүй аймагт газар хөдөлсөн тохиолдолд тухайн аймгийн ОБЕГ-ийн ажилтантай холбогдон тухайн мэдээллийг авч байна)
- Мэдэрсэн аймаг, сумын иргэдтэй утсаар холбогдох эсвэл цахим сүлжээг ашиглан асуумжийн дагуу асуултыг асууж, мэдээллийн санг үүсгэх
- Асуумжийн дагуу үүсгэсэн мэдээллийн санг MSK-64 шаталбарын дагуу үнэлгээ хийж баллыг тогтоох, изосейстын

## ҮР ДҮН БА ДҮГНЭЛТ

Газар хөдлөлт болсон бүс нутаг болон уг хөдлөлтийг мэдэрсэн аймгуудын ард иргэдээс анхан шатны 1370 макро мэдээнд дүн шинжилгээ хийж, аймаг тус бүрээр баллын үнэлгээг гаргасан (Хүснэгт 1). 2021 оны 1 дүгээр сарын 12-ны өдрийн 5 цаг 32 мин 56 секундэд

байна. Иргэдээс авсан аман мэдээнд доорх томьёог ашиглан баллыг тооцоолж байна.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{12} s_i \theta(s_i - 0.75 \max(s))}{\sum_{i=1}^{12} s_i \theta(s_i - 0.75 \max(s))} \quad (1)$$

(De Rubeis, 2009)

$$\theta = \begin{cases} 0, & n < 0, \\ 1, & n \geq 0, \end{cases} \quad (\text{нэгж алхамт функц})$$

Энд:  $I$  - Асуулга дээр тооцоологдож гарсан балл. /олох гэж байгаа балл/,  $i$  - 1 ээс 12 хүртэлх балл,  $s_i$  -  $i$  дугаар баллын давтагдлын тоо /жишээ нь 4 балл 6 удаа гарж ирвэл  $s_i=6$ /

$\max(s)$  - сонгосон баллуудаас хамгийн их балл

зургийг гаргах. Цугларсан асуумжийн чанарт дүн шинжилгээ хийх нь цаашдын тооцооллын үр дүнд чухал ач холбогдолтой байдаг.

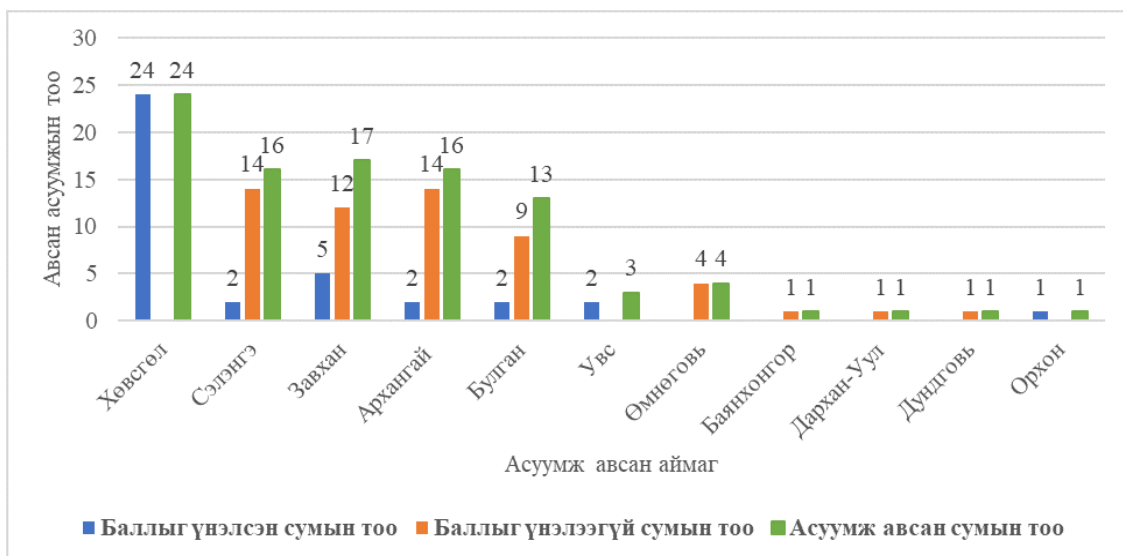
Мэдээллийн санг бүрдүүлэхдээ сум бүрээс 10 буюу түүнээс дээш макро мэдээллийн бүрдүүлэлтээр тус сумын макро мэдээг үнэлсэн. Бид Монгол орны нийт 11 аймаг, 94 сум болон Улаанбаатар хотын ард иргэдээс мэдээлэл цуглуулсан (График 1) боловч чанарын шаардлага хангасан 7 аймаг, 38 сум болон Улаанбаатар хотын иргэдийн мэдрэгдсэн баллыг үнэлгээг тогтоосон.

Тухайлбал: Асуумжыг бөглөж буй иргэн тухайн газар хөдлөлт болсноос хэдий хугацааны дараа энэхүү асуумжинд хариулсан эсэх, нэг газар зүйн байршилд хэр олон хүн ижил төрлийн шинж тэмдэг мэдэрсэн эсэх болон хангалттай олон цэгээс буюу өргөн талбайг хамарч мэдээллийг цуглуулсан эсэх зэрэгт статистик тооцоо хийсэн.

(Улаанбаатарын цагаар) (Battogtokh, 2021) Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын төвөөс баруун урагш 26 километрийн зайд магнитуд нь  $M_w=6.7$  (А. Ф. Emanova, 2022) хүрсэн хүчтэй газар хөдлөлт болсон. Энэхүү хөдлөлт нь Монгол орны нийт 11 аймаг, 94 сум болон Улаанбаатар хотын



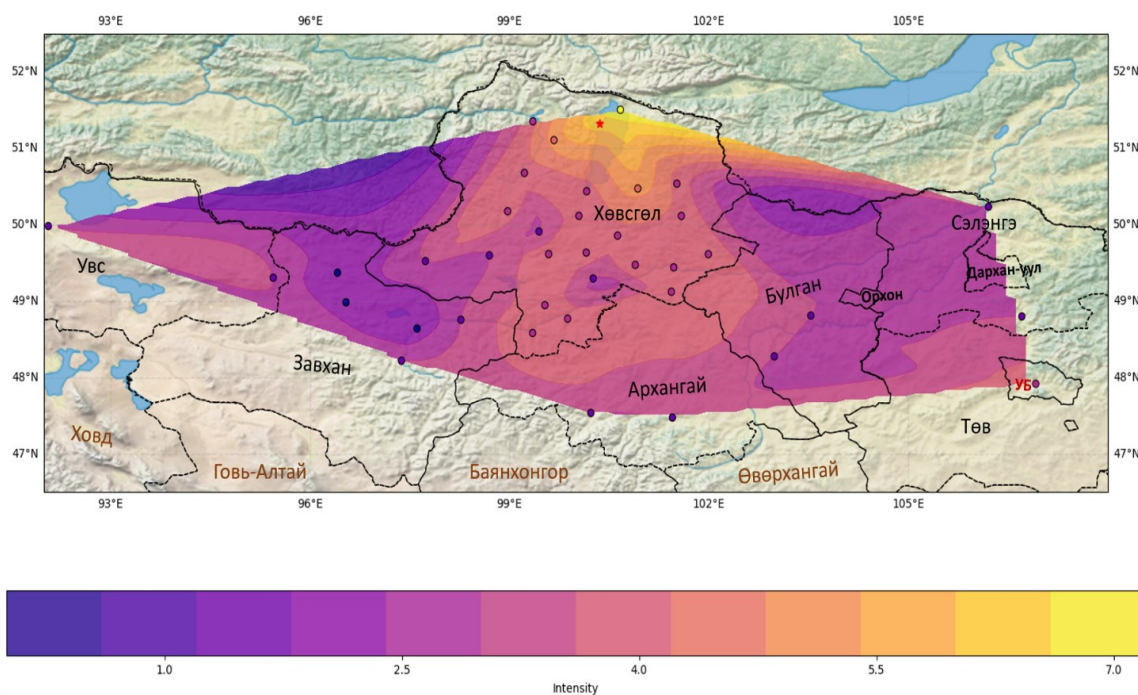
График 1. Мэдээллийн сан бүрдүүлэлт



ард иргэдэд мэдрэгдсэн байна. Мэдээллийн сангийн бүрдүүлэлтээр чанарын шаардлага хангасан 7 аймаг, 38 сум болон Улаанбаатар хотын иргэдийн мэдээнд тулгуурлан сум, аймаг, хот тус бүрээр баллыг үнэлгээг тогтоосон.

Судалгааны үр дүнг нэгтгэн авч үзвэл уг газар хөдлөлтийн чичирхийлэл нь Хөвсгөл аймгийн нутаг дэвсгэрт IV-VII, Сэлэнгэ, Булган, Архангай, Эрдэнэт хотуудад III-V, Завхан аймгийн нутаг

дэвсгэрт III-IV, Улаанбаатар хотод III-V баллаар тус тус мэдрэгдсэн байна. Энэхүү үр дүнгээс харахад хүчтэй хөдлөлтийн төв орчим ойролцоогоор VI баллаар мэдрэгдсэн байгаа нь багажийн хэмжилтэд тулгуурлан хийгдсэн өмнөх судалгааны ажлын (Battogtokh, 2021) үр дүнтэй таарч байгаа юм. Тус үр дүн дээр үндэслэн Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн ижил доргилтын бүсийн зургийг гаргасан (Зураг 2).



Зураг 2. Ханхын газар хөдлөлтийн ижил доргилтын бүсийн зураг

Хүснэгт 1. Мэдрэгдсэн сумдууд болон асуумж авсан хүний тоо, баллын үнэлгээ

Аймаг	Сум	Асуумж авсан хүний тоо	Баллын үнэлгээ
Хөвсгөл	Алаг-Эрдэнэ	38	IV-V
	Мөрөн	107	IV-V
	Ренчинлхүмбэ	25	V
	Цагааннуур	9	IV-V
	Жаргалант	19	IV-V
	Галт	21	IV-V
	Шинэ-Идэр	15	IV-V
	Рашаант	20	IV-V
	Төмөрбулаг	11	III-IV
	Тосонцэнгэл	21	IV-V
	Цэцэрлэг	25	III-V
	Цагаан-Уул	20	III-IV
	Бүрэнтогтох	19	IV-V
	Тариалан	20	IV-V
	Түнэл	20	IV-V
	Арбулаг	21	III-IV
	Хатгал	81	IV-V
	Чандмань-Өндөр	27	V-VI
	Цагаан-Уур	19	IV-V
	Улаан-Уул	31	IV-V
Ханх	26	VI-VII	
Эрдэнэбулган	10	IV-V	
Их-Уул	20	IV-V	
Баянзүрх	20	IV-V	
Сэлэнгэ	Сүхбаатар	53	III-V
	Мандал	52	III-V
Завхан	Тосонцэнгэл	16	III-V
	Түдэвтэй	11	II-III
	Баянхайрхан	11	II-III
	Тэлмэн	10	II-III
	Идэр	10	III-IV
Архангай	Цэцэрлэг	69	III-IV
	Чулуут	13	III-IV
Булган	Булган	93	III-V
	Могод	12	III-V
Увс	Улаангом	33	III-IV
	Зүүнхангай	12	III-IV
Орхон	Эрдэнэт	11	III-IV

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Мөн ажлын мэдээллийн санг бүрдүүлэхэд хамтран ажилласан Орон нутаг дахь салбаруудын хамт олонд талархал илэрхийлэхийн зэрэгцээ

цаашдын ажилд нь өндөр амжилтыг хүсье. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

## НОМ ЗҮЙ

“Газар хөдлөл судлалын салбар, Тайлан 2021 - Хүчтэй хөдлөлийн дараах макро судалгааны мэдээллийн сан

Emanov, Aleksander & Emanov, Aleksey & Chechel'nitskii, V. & Shevkunova, E.V. & Radziminovich, Yan & Fateev, Alexander & Kobeleva, E. & Gladyshev, Egor & Arapov, V. & Artemova, A. & Podkorytova, V.G.. (2022). The Khuvsgul Earthquake of January 12, 2021 (MW = 6.7, ML = 6.9) and Early Aftershocks. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 58. 59-73. 10.1134/S1069351322010025. (Emanov, 2023)

Galli, P.; Castenetto, S.; Peronace, E. The Macroseismic Intensity Distribution of the 30 October 2016 Earthquake in Central Italy (Mw 6.6): Seismotectonic Implications. *Tectonics* **2017**, 36, 2179–2191

Wald, D. J., Quitoriano, V., Worden, C. B., Hopper, M., & Dewey, J. W. (2011). USGS “Did You Feel It?” internet-based macro seismic intensity maps. *Annals of geophysics*, 54(6).

Davaasambuu Battogtokh, Amgalan Bayasgalan, Kang Wang, Davaasuren Ganzorig, Jargalsaikhan Bayaraa (2021). The 2021 Mw 6.7 Khankh earthquake in the Khuvsgul rift, Mongolia. *Mongolian Geoscientist* 26 (52) 46-61 DOI:

<https://doi.org/10.5564/mgs.v26i52.1361> (Battogtokh, 2021)

Д.Мөнхөө болон бусад. Газар хөдлөлтийн талаарх ерөнхий ойлголтууд (Д.Мөнхөө, n.d)

De Rubeis, Valerio & Valerio, & Sbarra, Paola & Diego, Sorrentino & Tosi, Patrizia. (2009). Web-based macroseismic survey: Fast information exchange and elaboration of seismic intensity effects in Italy. *International journal of emergency management*. p. 280-294. 10.1504/IJEM.2009.031566. (De Rubeis, 2009)

## THE RESULTS OF THE MACROSEISMIC STUDY OF THE KHANKH STRONG EARTHQUAKE ON JANUARY 12, 2021

Dolgormaa Munkhbaatar<sup>1\*</sup>, Dagzinmaa Lkhagva<sup>1</sup>, Oyun-Erdene Monkhor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [dolgormaa@iag.ac.mn](mailto:dolgormaa@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** The strong earthquake with a magnitude of Mw6.7 occurred at a distance of 26 kilometers to the northeast of the center of Khankh soum of Khuvsgul province on January 12, 2021, at 5:32:56 AM (local time in Ulaanbaatar). Shaking from the event was strongly felt in all soums of Khuvsgul province, as well as in Selenge, Zavkhan, Arkhangai, Uvs, Bayankhongor, Bulgan, Darkhan, Erdenet, Ulaanbaatar city, Dundgovi, and Omnogovi provinces. The macroseismic study was conducted to assess the impact of the earthquake in the affected area. The macroseismic study's findings revealed that 1370 macro reports were received from residents in these provinces, and each province was evaluated based on the analysis to determine the severity of the seismic impact.

**Keywords:** *Macroseismic data, earthquake, shake, intensity*



# ДЭЛХИЙН ИОНОСФЕРИЙН ДАВХАРГЫН ЭЛЕКТРОНЫ НИЙТ АГУУЛАМЖИЙН УДААН ХУГАЦААНЫ ӨӨРЧЛӨЛТИЙН АНАЛИЗ

Д.Баатархүү<sup>1\*</sup>, Ш.Амаржаргал<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [baatarkhuu@iag.ac.mn](mailto:baatarkhuu@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Дэлхийн ионосферийн давхаргын төлөв байдлыг тодорхойлогч электроны нийт агууламжийн удаан хугацааны өөрчлөлтөд хугацааны анализ хийсэн. Судалгаанд GPS-ын (Global Positioning System) байнгийн ажиллагаатай Чойбалсан (СНОВ 48.08N, 114.53E) болон Ховд (HOVD 48.00N, 91.66E) станцын 2008-2018 оны электроны нийт агууламжийн мэдээг боловсруулж ашиглан дундаж утгаар байгуулсан урт хугацааны цувааг судалсан болно. Ионосфер дэх электроны агууламжийн үет хэлбэлзлийг Нарны идэвхжил (толбоны тоо), Нарны F10.7 урсгал болон Геосоронзон идэвхжилтэй харьцуулж хам хамаарлын коэффициент тодорхойллоо. Эдгээр параметруудийн удаан хугацааны цувааг залдан шинжлэхэд бүгдэд нь 2015 онд өөрчлөлт ажиглагдсан.

**Түлхүүр үг:** GPS, TEC, ЭНА, Ионосфер, электроны нийт агууламж, нарны идэвхжилт, геосоронзон шуурга

## ОРШИЛ

Дэлхийн ионосфер нь дэлхийн гадаргаас дээш 50-1000км өндөрт орших өргөн уудам хэсгийг эзэлсэн агаар мандлын бөмбөрцгөн давхарга оршдог. Ионосферт байгаа иончлогдсон бөөмсүүд (атомууд, молекулууд, ионууд болон электронууд) нь нарны цацрагт шууд өртдөг тул иончлол үүсэж, эерэг сөргөөр цэнэглэгдсэн байдаг. Электроны нийт агууламж нь дэлхийн ионосферийн төлөвийг электроны тоогоор илэрхийлдэг параметр бөгөөд ионосферийн давхаргаар дамжин өнгөрч байгаа цахилгаан соронзон долгионы түгэлтэд нөлөөлдөг чухал хэмжигдэхүүн юм. Агаар мандлын дээд давхаргад маш олон физик, химийн

процесс явагддаг, түүнийг таньж мэдэх, ионосферийн шинж чанарыг судлахад электроны нийт агууламжийг тодорхойлж судлах нь маш их ач холбогдолтой байдаг. GPS бол хиймэл дагуул дээр суурилсан радио ажиглалтын систем хэдхэн сантиметрын алдаа өгдөг, нарийн цаг хугацаанд байрлалыг шалгахад ашиглагддаг (E D Lopez Izurieta1, 2022).

Электроны нийт агууламжийн судалгааны нэг чухал тал бол ионосферийн орон зай болон цаг хугацааны өөрчлөлтүүдийг илүү сайн ойлгох, улмаар хиймэл дагуулын холбоо, ажиглалтын системд засвар хийх шинэ техник хэрэгслийг турших боломжийг олгодог.

## АШИГЛАСАН МЭДЭЭ

GPS ажиглалтын Чойбалсан (СНОВ 48.08N, 114.53E) станцын 2008-2016, Ховд (HOVD 48.00N, 91.66E) станцын 2008-2019 он хүртэлх Электроны нийт агууламжийн мэдээг 15 минутын завсартайгаар боловсруулж ашигласан.

Мөн судалгаандаа Олон улсын SOHO (Solar and Heliospheric Observatory- Нар Гелиосферийн Ажиглалтын Төв), SIDC (Solar Influences Data analysis Center – Нарны нөлөөллийн Дата анализын Төв), WDC-Kyoto (World Data Center-Kyoto,

Киотогийн Дэлхийн Дата Төв) зэрэг төвүүдийн өгөгдлийн сарын дундаж утгыг

боловсруулан ашиглаж харьцуулалт хийсэн.

## АРГАЗҮЙ

Ионосфер нь радио долгионы хувьд дисперс шинж чанартай буюу хугарлын орчин болж ажиглагддаг бөгөөд хугарлын индекс нь иончлолын хэмжээнээс хамаардаг ба долгионы маш бага 3кГц-ын давтамжаас 30ГГц өндөр давтамж хүртлэх өргөн бүсэд нөлөөлдөг (E D Lopez Izurieta1, 2022). Энэ чанарт нь суурилан хоёр-давтамж ашиглан дохио тархалтанд үзүүлэх ионосферийн саатлыг тодорхойлж болдог. Энэ саатлын хэмжээ дохио тархалтын зам дагуу интегралчилсан электроны нийт агууламжтай пропорциональ байна (Eltrass, 2015).

$$d_{ion} = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (1)$$

Энд,  $40.3(m^3/s^2)$  нь плазмын давтамжийн тогтмол,  $f$  - дохионы давтамж, TEC - Total Electron Content буюу дохио тархалтын зам дагуух Электроны Нийт Агууламж (ЭНА). (Д.Баатархүү, GPS Ионосферийн мэдээгээр сансарын цаг агаарыг судалсан зарим үр дүн, 2020), (Д.Баатархүү, GPS Ионосферийн электроны нийт агууламжийн урт хугацааны өөрчлөлтийн фурье, вейвлет хувиргалт, 2021). Энэхүү ажилд бид ионосферийн хугарлын индексийг дэлгэрэнгүй авч үзлээ. Ионосфер дэх цахилгаан соронзон долгионы үйл ажиллагаа нь жигд бус соронзон орны нөлөөнд оршдог плазм, нарны салхины (нарнаас ялгарч байгаа их инергитэй цэнэгт бөөмсийн урсгал) нөлөөнөөс шалтгаалж хувьсдаг учир түүнийг тайлбарлаж болно. Ионосферийг соронзон идэвхтэй орчин гэж үздэг ба түүний хугарлын илтгэгч нь комплекс тоо байдаг. Хугарлын илтгэгч нь агаар мандлыг тодорхойлох хамгийн чухал үзүүлэлтийн нэг юм. Ионосферээр дамжин өнгөрөх радио дохионы

тархалтын нөлөөг шалгахын тулд орчны хугарлын илтгэгчийг зааж өгөх шаардлагатай байдаг. Эпплтона-Хартри, Эплтона-Лассена-Хартри (Дэвис,1973) нарын ажилд үндэслэн ионосферийн фазын хугарлын илтгэгч  $n_p$ -ийг дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгддэг.

$$n_p^2 = 1 - \frac{x}{1 - iZ - \frac{Y_T^2}{2(1-X-iZ)} \pm \left[ \frac{Y_T^4}{4(1-X-iZ)^2} + Y_L^2 \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (2)$$

Энд

$$X = \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m W^2} = \frac{f_N^2}{f^2};$$

$$Y_L = \frac{eB \cos q}{mW} = \frac{f_H \cos q}{f};$$

$$Y_T = \frac{eB \sin q}{mW} = \frac{f_H \sin q}{f};$$

$$Z = \frac{fv}{f};$$

$$W = 2\pi f;$$

Үүнээс:

$N$  нь электроны нягт ( $el/m^3$ );

$f_N$  нь электрон плазмын давтамж;

$f$  нь радио долгионы давтамж;

$e$  нь электроны цэнэг,  $-1.602 \times 10^{-19} k$ ;

$\epsilon_0$  нь цахилгаан тогтмол  $8.854 \times 10^{-12} \Phi/m$ ;

$B$  нь дэлхийн соронзон орны нягтын урсгал ( $T$ );

$m$  нь электроны масс,  $9.107 \times 10^{-31} k$ ;

$q$  нь соронзон орон болон нормаль долгионы чиглэлийн хоорондох өнцөг;

$fv$  нь хүнд бөөмүүдтэй электронуудын саармаг электронуудтай мөргөлдөх давтамж;

$f_H$  нь электрон гиро давтамж.

Электрон гиро давтамж  $f_H$  нь 1.5МГц, плазмын давтамж  $f_N$  нь 20МГц-ээс хэтрэх нь цөөн байдаг ба мөргөлдөх давтамж  $fv$  нь 104Гц орчим байна (Liao, 2000). Эхний дарааллаар фазын хугарлын илтгэгчийг 1% -иас илүү нарийвчлалтайгаар тооцоолох боломжтой бөгөөд үүнийг дараах томъёогоор тодорхойлно (Seeber,1993).

$$n_p = 1 - \frac{x}{2} \quad (3)$$

Үүнтэй адилаар группийн (багц долгион) хугарлын илтгэгчийг дараах байдлаар илэрхийлж болно.

$$n_g = 1 + \frac{x}{2} \quad (4)$$

Энд

$$\frac{x}{2} = \frac{40.3}{f^2} N \quad (5)$$

GPS дохионы ионосферт дэх нөлөөллийг тооцоолох гол тэгшитгэл нь ионосферийн хугарлын илтгэгч болж өгдөг. Ионосферийн хугарлын илтгэгчийг мэдсэнээр группын саатал, зөөгч фаз, Доплерийн шилжилтийг гаргаж авах боломжтой. Мөн Фарадейн эргэлт ба радио долгионы хугарлын боломжит нөлөөллийг тооцоолох боломжтой.

*GPS дэх ионосферийн нөлөө*

Радио долгион янз бүрийн аргаар хугарч, ойж, шингэдэг учир түүний тархалтад ионосфер хүчтэй нөлөө үзүүлдэг. GPS хэрэглээний хувьд ионосферээс үүдэлтэй дохионы саатал нь байршил тогтоох, цаг дамжуулах үр дүнг алдагдуулдаг тул гол асуудал болдог. GPS-ийн ажиглалтын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэхийн тулд ионосферийн эффектийг тохируулах шаардлагатай (Liao, 2000). GPS-ийн хэмжилтэд үзүүлэх ионосферийн нөлөөлөл нь группийн саатал эсвэл зөөгч фазын урагшлах хэлбэрээр шууд тусгагддаг байна. Ионосферийн группийн саатал нь псевдо зайн алдаа үүсгэдэг бөгөөд үүнийг зайны нэгжээр (цаг хугацааны саатлын нэгжээр) илэрхийлж болох ба дараах байдлаар тодорхойлж болно (Wilson, 1994).

$$\Delta r = \int (n_g - 1) dl \quad (6)$$

(4)- тэгшитгэлийг ашиглан (6)-аар илэрхийлбэл

$$\Delta r = \frac{40.3}{f^2} \int N dl = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (7)$$

$\int N dl$  хэмжигдэхүүн нь ажиглагчаас GPS хиймэл дагуул хүртлэх L замын дагуу нэгтгэсэн нийт электроны агууламж эл/м<sup>2</sup> (TEC) юм. Үүнтэй адилаар зөөгч фазыг

илэрхийлж болно.

$$\Delta \phi = \frac{1}{\lambda} \int (n_p - 1) dl = -\frac{40.3}{cf} \int N dl = -\frac{40.3}{cf} TEC \quad (8)$$

Группийн саатал ба фазын эсрэг тэмдэг нь фазын хурд нь группийн хурднаас их байгааг илтгэнэ. Янз бүрийн хурдны үр дүнд кодын псевдо зай нь хиймэл дагуул ба хүлээн авагчийн хоорондох жинхэнэ геометрийн мужаас илүү урт, зөөгч фазын псевдо зайнууд богино хэмжигддэг. Гэсэн хэдий ч үнэмлэхүй ялгаа нь хоёр тохиолдолд ижил байна.

*ЭНА-ийн Удаан хугацааны өөрчлөлт*

Электроны нийт агууламж нь дурын харааны шугамын дагуух электронуудын нийт хэмжээг илэрхийлдэг хэмжүүр юм. TEC нэгж нь TECU бөгөөд нэг метр квадрат талбайд 10<sup>16</sup> электрон байна. Практикт 1м<sup>2</sup> хөндлөн огтлолын талбай бүхий босоо баганын нийт электроны тоогоор тодорхойлогддог, босоо TEC-ийг ихэвчлэн ионосферийн үйл ажиллагааг тодорхойлох үзүүлэлт болгон ашигладаг (Cannon, 1997). Вертикал буюу босоо TEC-ийн утга өдөр бүр, улирлын шинж чанартай, мөн 11 жилийн нарны циклээр өөрчлөгддөг. Тиймээс урт хугацааны цуваанд стандарт тооцооллыг ашиглан TEC-ийг нарны идэвхжилээс хамаарах эмпирик загварыг бий болгосон байдаг (Lastovicka, 2017).

$$TEC = A + B \cdot solar \ proxy \quad (9)$$

*Solar proxy* - Нарны төлөөлөл буюу Нарны F10.7см-ийн урсгал эсвэл Нарны толбоны өөрчлөлт, A, B нь TEC болон нарны идэвхжилийн сарын дундаж утгаар байгуулсан шугаман регрессийн коэффициентууд.

Өдрийн дээд хэмжээ нь орон нутгийн цагаар 14:00 орчим, хамгийн бага үе нь ихэвчлэн нар мандахаас өмнөхөн электрон ба ионуудын рекомбинацийн улмаас TEC задрах үед тохиолддог. Босоо TEC нь мөн улирлын өөрчлөлттэй холбоотой бөгөөд хаврын тэнцлийн үед хамгийн дээд хэмжээндээ хүрдэг. Статистик мэдээнээс

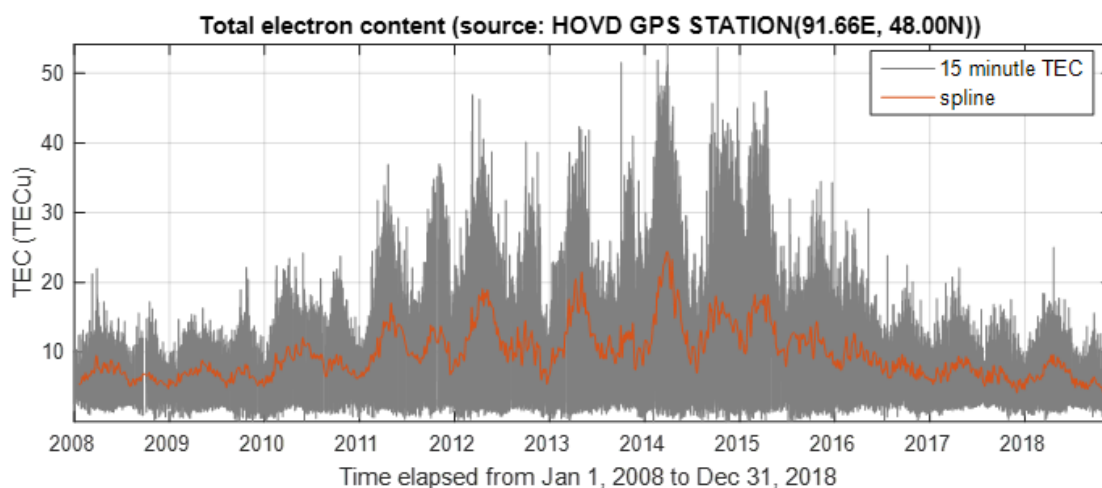
харахад хамгийн их утга нь ихэвчлэн геосоронзон экваторын хоёр талд  $\pm 20^{\circ}$  өргөрөгт байрладаг.

Бид өмнөх ажлууд дээрээ Чойбалсан GPS станцын 2008-2017 он хүртэлх олон жилүүдийн Ионосфер дэх ЭНА-ийн өөрчлөлтөд спектрал анализ болон хугацааны дүн шинжилгээ хийж түүнд Нарны толбо болон Нарны 10.7см урсгалын идэвхжилтэй, наран дээрх хүчтэй тэсрэлт, хүчтэй геосоронзон шуурга зэрэг идэвхт үзэгдлүүдтэй харьцуулж, хамаарлыг тогтоосон (Д.Баатархүү, GPS Ионосферийн электроны нийт агууламжийн урт хугацааны өөрчлөлтийн фурье, вейвлет хувиргалт, 2021).

Энэхүү судалгааны ажлаараа дээрх 10 жилийн хугацаанд ЭНА-ийг нэмж удаан

хугацааны геосоронзон шуургатай харьцуулж зурсан. Сүүлийн жилүүдэд GPS-ийн хиймэл дагуулыг хүлээн авагч станцын тоо нэмэгдсэнээр дунд өргөрөгт таамаглаж байгаагүй үзэгдлүүдийг бүртгэх боломжтой болж ЭНА-ийн өдрийн, улирлын болон олон жилийн өөрчлөлтийн судалгааг глобал болон бүсийн хэмжээнд хийж буй нь олон эрдэмтдийн ажилд тусгагдах болсон.

Зурагт 1-т саарал өнгөөр Ховдын ЭНА-ийн тасралтгүй мэдээ улаанаар түүний сарын дунжийг харуулсан. Бидний судалгаанд ашиглагдсан GPS станцуудын ЭНА-ийн мэдээнүүд нь Нарны циклийн үетэй хамааралтай байгаа нь ажиглагдаж байдаг (Зураг 2).



Зураг 1. Ховд GPS станцаар тодорхойлсон ЭНА удаан хугацааны өөрчлөлт

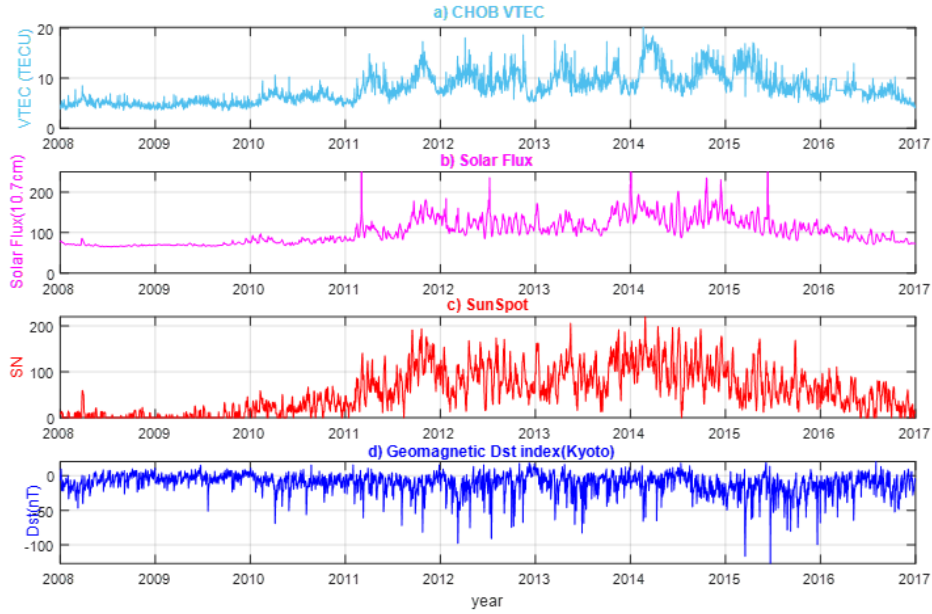
Нарны идэвхжилтийг илтгэгч индексийг Нарны толбоны тоо болон Нарны 10.7см урсгалаар илэрхийлдэг. Толбоны тооны ихсэлт нь ионосферийн хэвийн төлөв байдлын өөрчлөлтийг таамаглахад ашигладаг.

ЭНА-ийн хэмжээг Нарны 10.7 см долгионы урттай цацаргалт (Solar flux, F10.7см) болон Нарны толбо, Геосоронзон шуурганы Dst индексийн мэдээтэй харьцуулж Зураг 2-т харууллаа. Энд 2008-2016 онуудын хооронд нийт 9 жилийн хугацаанд ЭНА-ийн өдрийн

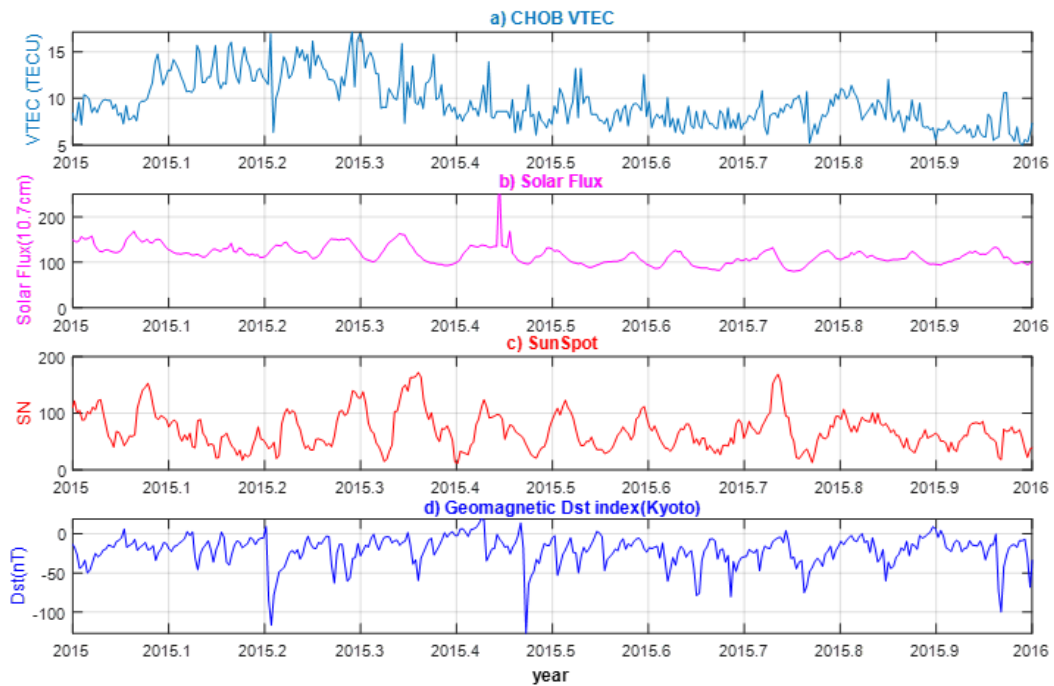
дундаж утгыг ашигласан болно. ЭНА-ийн явц нь F10.7 болон Нарны 11 жилийн идэвхжилтийн графиктай фазаараа давхцаж 2008-2013 онуудын хооронд өсөж, 2013, 2014 онуудад хамгийн их утгадаа хүрээд түүнээс хойш 2015, 2016 онуудад буурч байгаа нь эдгээр параметрууд шууд холбоотойг харуулж байна (Зураг 2).

Мөн зураг 2, 3-т Соронзон орны идэвхжил нь 2015 онд хамгийн их байгаа нь ажиглагдаж байна.

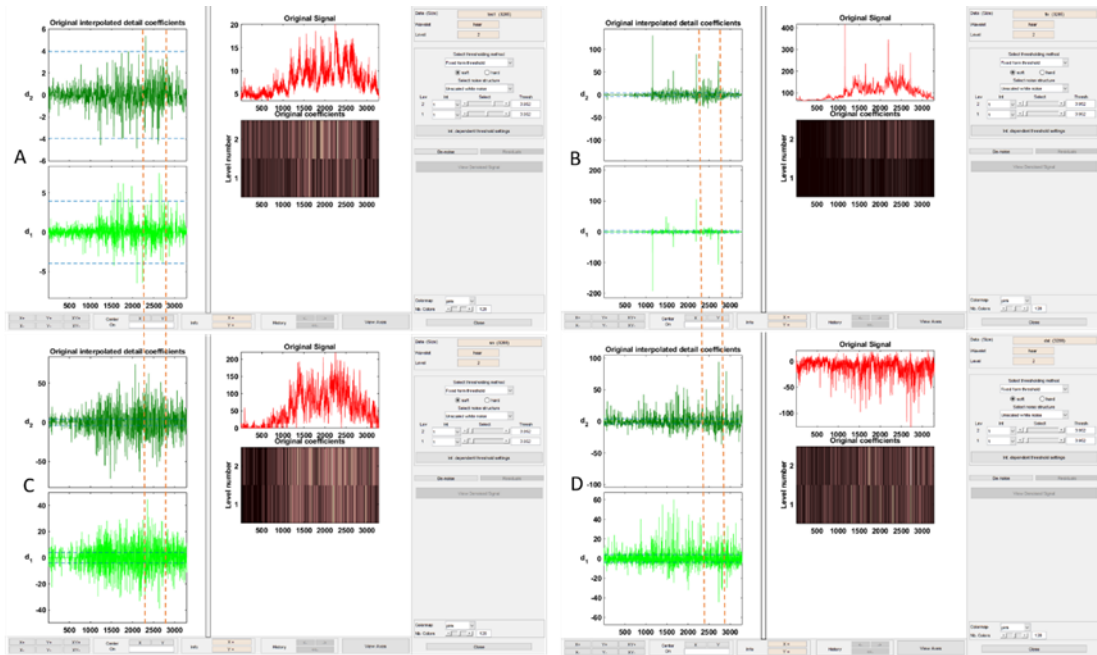




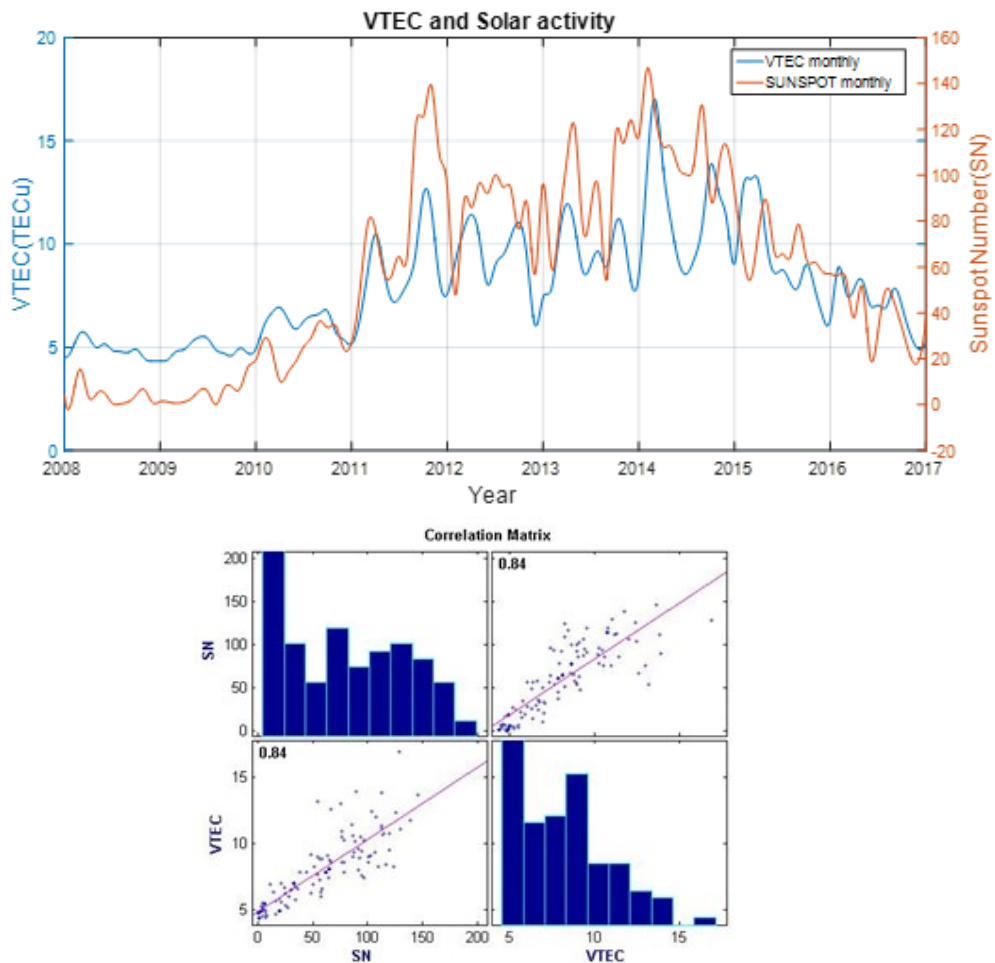
Зураг2. Электроны нийт агууламж (a), Нарны идэвхжилийн 10.7см урсгал (b), Нарны идэвхжилийн толбоны тоо (c), Геосоронзон шуурганы Dst индекс (d) зэрэг параметруудийн удаан хугацааны өөрчлөлтүүдийн харилцан шүтэлцээ



Зураг 3. 2015 оны Соронзон шуурга (d) ихтэй үед Электроны нийт агууламжид (a) өөрчлөлт ажиглагдаж байгаа нь



Зураг 4. А,В,С,Д гэсэн 4-н параметр дээрээ 1 хэмжээст вейвлет хугацааны анализ хийж 2015 онд бүгдэд нь далайц өндөр байгаа өөрчлөлт ажиглагдсаныг тасралттай босоо шугамаар харуулав



Зураг 5. Сарын дундаж утгуудаар байгуулсан ЭНА (TEC) болон Нарны идэвхжил (Sunspot number) хоорондын хамаарал. Корреляцийн матриц 84%.

Удаан хугацааны ЭНА болон Нарны идэвхжилийн (толбоны тоо) 24 дэх циклийн өөрчлөлтүүдийн сарын дундаж утгуудаар график байгуулж, тэдгээрийн хоорондын хамаарлыг бодож, корреляцийн коэффициент 0.84 байгааг тодорхойллоо. Нарны идэвхжилийн

хамгийн бага үе нь 2009 онд харин хамгийн их үе нь 2013 онд болсон. ЭНА-ийн сарын дундаж утгаар байгуулсан өөрчлөлт нь нарны идэвхжилт сулаас их байх үед харьцуулан 8TECU орчимоор өөрлөгдсөн, хамаарлын коэффициент 84% байгааг бодож харуулсан (Зураг 5).

## ДҮГНЭЛТ

Одон Орон Судлах Оргилын GPS/GNSS станцуудын мэдээг ашиглан электроны нийт агууламжийн удаан хугацааны буюу 11 жилийн турш Нарны идэвхжилийн(толбоны тоо, 10.7см ургал), Геосоронзон Dst индекс зэргийн харьцуулсан хугацааны өөрчлөлтүүдийг гаргасан. ЭНА болон Нарны толбоны идэвхжил хоёрын сарын дундаж

утгуудаар байгуулсан урт хугацааны цуваанд анализ хийхэд эдгээр утгууд хоорондоо шууд хамааралтай байгааг нь харагдаж байна. Нарны циклийн буурах үе болох 2015 онд дээрх параметрууд хамгийн их идэвхжилтэй байгааг харуулж байна. Мөн электроны нийт агууламжид 8TECU өөрчлөлт орж, хугацааны цуваанууд дээр далайц өндөртэй байгаа нь ажиглагдсан.

## НОМЗҮЙ

Cannon, M. (1997). Satellite Positioning. Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary.

E D Lopez Izurieta1, 2. (2022). Ionospheric total electron content (TEC) above Ecuador. Journal of Physics: Conference Series, 2238.

Eltrass, A. S. (2015). The Mid-Latitude Ionosphere. PhD Thesis, Blacksburg, Virginia.

Lastovicka, J. J. (2017). Long-term trends in the total. Geophys. Res. Lett., 44,, 8168–8172.  
doi:doi:10.1002/2017GL075063

Liao, X. (2000). Carrier Phase Based Ionosphere Recovery Over A Regional Area GPS Network. CALGARY, ALBERTA: THE UNIVERSITY OF CALGARY.

Wilson, B. a. (1994). Extracting ionospheric measurement from GPS in the presence of Anti-Spoofing. . Proceeding of ION GPS-94, 1599-1608.

Д.Баатархүү, Ш. (2020). GPS

Ионосферийн мэдээгээр сансарын цаг агаарыг судалсан зарим үр дүн. Геофизик ба одон орон судлал, 80-86.

Д.Баатархүү, Ш. (2021). GPS Ионосферийн электроны нийт агууламжийн урт хугацааны өөрчлөлтийн фурье, вейвлет хувиргалт. Геофизик ба одон орон судлал, 14-21.

## ANALYSIS OF THE LONG TERM EARTH'S IONOSPHERIC TOTAL ELECTRONIC CONTENT VARIATION

Baatarkhuu Dagva<sup>1\*</sup>, Amarjargal Sharav<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [baatarkhuu@iag.ac.mn](mailto:baatarkhuu@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** A time analysis of the long-term variations in the total electron content, which determines the state of the Earth's ionosphere, was performed. In the research, the TEC monthly average long-term (2008-2018) series of Choibalsan (CHOB 48.08N, 114.53E) and Hovd (Hovd 48.00N, 91.66E) GPS (Global Positioning System) permanent stations from 2008 to 2018 were processed analyzed. Correlation coefficients were determined by comparing the periodic variation of electron content in the ionosphere with the solar activity (number of spots), solar F10.7 flux and geomagnetic activity Dst index. A long-term analysis of these parameters showed fluctuation in all of them in 2015.

**Keywords:** GPS, TEC, ionosphere, total electronic content, sun, solar activity, geomagnetic storm



## ГАЗАР ХӨДЛӨЛИЙН ХЭВ ГАЖИЛТЫГ PSI БОЛОН SENTINEL-1 SAR ӨГӨГДЛИЙГ АШИГЛАН ХЯНАХ

Э.Баярсайхан<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [e.bayarsaikhan@iag.ac.mn](mailto:e.bayarsaikhan@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын нутагт 2021 оны 1-р сарын 12-ний өдөр M16.5-тай газар хөдлөлт болсон ба газар хөдлөлтийн шилжилт болон шилжилтийн хугацааны цувааг боловсруулан гаргалаа. Уг газар хөдлөлтийн шилжилтийг интерферометрийн "two-pass" аргаар тооцсон бол PSI арга техникийг шилжилтийн хугацааны цувааг тодорхойлоход ашигласан. Тус судалгааны талбайн мэдээнд Sentinel-1B хиймэл дагуулын IW горимд VV туйлшралттай 2019-2022 он хүртэлх буурах орбитын 26 өгөгдөл ашигласан. Судалгаанаас үзэхэд хагарлын зүүн талд нуурынхаа баруун эрэг орчимд 2 хэсэг газар хамгийн ихдээ 25см хүртэл суулт хиймэл дагуулын чиглэлийн дагуу (LOS) өгсөн байгааг харуулав. Хагарлын баруун хэсгээр 8 хүртэл см суулт өгсөн байгаа ба хагарлын 2 хавтгай өөр өөр деформацид орсон байсан. Мөн нуурын хойд хагас хэсгийн ёроол орчим деформацид орсон байж болохыг тус нуурын баруун болон зүүн эргийн интерферометрын нэг бүтэн фаз харуулж байв. Ажиглалтын гурван жилийн хугацаанд Ханхын газар хөдлөлтийн голомтын талбайн шилжилтийг эс тооцвол 50x100км квадрат талбай бүхий нутаг дэвсгэрийн шилжилтийн хурд тэг буюу ямар нэгэн шилжилт болоогүй байгааг энэхүү өгүүлэлд багтаасан.

**Түлхүүр үг:** Ханх, *psi*, *stamps*, *insar*, *интерферометр*, *snar*, *sentinel*, *хиймэл дагуул*, *деформаци*, *хүчтэй газар хөдлөлт*, *шилжилт*

### ОРШИЛ

Сүүлийн үед гамшигт үзэгдлүүд, газар хөдлөлт, түүний идэвхжилт, байгалийн болон хүний өөрийн оролцоо бүхий аюул ихээр тохиолдох болов. Тухайлбал газар хөдлөлт, гүний усны хэрэглээ, газрын тосны олборлолт, уул уурхай, далан гүүр болон томоохон бүтээн байгуулалт зэрэг нь бодит аюул дагуулж байдаг.

Иймээс тухайн объект болон газар нутгийн мониторинг хийх нь тэдгээрийн шилжилт болон суулт, бүтцийн эвдрэл, газар хөдлөлтийн деформацийг тооцож дүн шинжилгээ хийх, урьдчилан сэргийлэх боломжийг олгодог. Ялангуяа хүний оролцоотой бүтээн объектууд, тэр дундаа усан далан, томоохон барилга байгууламж болон зам гүүр зэргийг PSI (persistent scatterer interferometry) мониторингийн арга зүйг амжилттай хэрэгжүүлж байгаа маш

олон тохиолдлууд дэлхийд байдаг.

Энэ зорилгын үүднээс Европын Сансрын Агентлаг (ESA), SentiNel Application Platform (SNAP) болон Стэнфордын PSI аргачлалыг (StaMPS) (Ferretti, Prati, & Rocca, Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry, 2000) ашиглан газрын деформацийн мониторингийн боловсруулалтыг 2021 оны 1-р сарын 11-ны (UTC) өдөр болсон Ханхын газар хөдлөлт дээр танилцуулна.

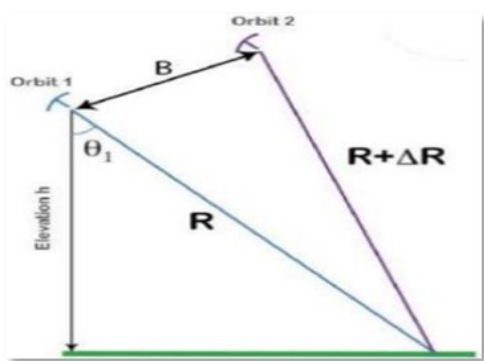
Сүүлийн 20 гаран жилийн хугацаанд InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry), PSI-ийн техникүүд асар их хувьсал хийсэн бөгөөд өндөр нарийвчлал, том талбайгаар газрын гадарга болон дэд бүтцийн хөдөлгөөнийг хянахад эрчимтэй ашиглагдах болсон. Энэ нь мэдээж SAR өгөгдөл мэдээний хүртээмжтэй байдал

бөгөөд PSI арга зүйг хөгжүүлэхэд тодорхой нөхцөл болж өгсөн. Ферретти нарын гаргасан (Ferretti, Prati, & Rocca, Permanent scatterers in SAR interferometry, 2001) анхдагч алгоритмыг дараа нь PSI боловсруулах бүх талыг хамарсан ерөнхий томъёоллыг Crosetto нар (Crosetto, Monserrat, Cuevas-González, Devanthery, & Crippa, 2016) 2016 онд боловсруулан гаргажээ.

PSI-ийн хөгжлийн үеүүдэд ERS-1/2, Envisat болон Radarsat-ын C зурвасын өгөгдлийг ашиглахаас гадна маш өндөр нарийвчлалтай нягт түүвэрлэлт, жижиг хэв гажилтанд өндөр мэдрэмтгий X өгөгдөл (TerraSAR-X болон COSMO-SkyMed) зэрэг дэвшилтэт техникийн боломжууд нэвтэрч байна. X-band бүхий хиймэл дагуулууд

## ОНОЛ, АРГАЗҮЙ

Тандан судалгааг идэвхтэй ба идэвхгүй гэж хоёр ангилах ба энэ техник нь идэвхтэй тандан судалгааны төрөлд хамаарна. Идэвхгүй буюу оптик төрлийн тандан судалгаанаас ялгаатай нь үүлэн бүрхүүлийн нөлөөлөлд автдаггүй, өдөр шөнийн аль ч цагаар өгөгдөл мэдээг цуглуулж чаддаг.



Зураг 1. Зургийг sentinel.esa.int-с авав

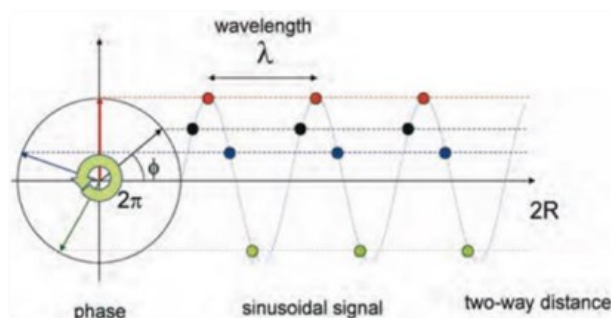
Интерферометрийн арга нь хоёр өөр цаг хугацаанд авагдсан долгионы фазын зөрүү (1) болон тухайн фазын хэд хэдэн алдааны нийлбэрийг тооцож (2) дэлхийн гадаргын деформацийг гарган авдаг. Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) мэдээ нь далайц болон фазын мэдээг агуулдаг (Зураг 1). SAR зургийн фаз нь хиймэл дагуулын антен ба

2007 онд эхлүүлж байсан бол тэд одоо ч хэд хэдэн боломжит хиймэл дагуулуудыг хөөргөн мэдээллээ түгээсээр байна. Гэсэн хэдий ч өгөгдөл мэдээний хувьд өндөр өртөгтэй байсаар байна.

PSI хөгжүүлэлтийн дараагийн чухал таатай зүйл бол нээлттэй мэдээ бүхий хоёр Sentinel-1 хиймэл дагуулууд дээр C зурвасын мэдрэгчийг хөөргөсөн (анх 2014 онд хөөргөсөн) явдал байв.

Sentinel-1-ийн мэдээн дээр хийгдсэн хэд хэдэн бүтээлд хөрсний гулсалт (Barra, et al., 2015) болон (Intrieri, et al., 2017), хөрсний суулт (Novellino, et al., 2017) болон газар хөдлөлтийн хэв гажилт (Nam1, et al., 2020) зэрэг олон ажлууд хийгдсэн байна.

зорилтод газрын гадарга хоорондын зайгаар тодорхойлогддог. Долгионы фаз нь тухайн долгионы уртад хамаарах  $(-\pi, \pi)$ -ийн хооронд байх үеүүд бөгөөд долгионы урт нь тухайн хиймэл дагуулын мэдрэгчийн төрлөөс хамаараад  $\sim 3$  см (X-Band),  $\sim 5-6$  см (C-Band),  $>20$  см (L-Band) байдаг (Зураг 2) Энэ нь газрын гадаргын хөдөлгөөн нь үргэлж долгионы уртаас бага байхыг шаардана.



Зураг 2. Энд далайц нь радарын ойлтын эрчим, фаз нь нэг бүтэн синус долгионы цикл (SAR долгионы урт) юм

Хэрэв хөдөлгөөн нь хиймэл дагуулын LOS чиглэлд их байвал (ерөнхийдөө  $25^\circ$  -  $45^\circ$  nadir) радарын долгионы фаз нь дараагийн үе рүү шилждэг.

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= 4\pi R/\lambda, \quad \Phi_2 = 4\pi(R+\Delta R)/\lambda \\ \Delta\Phi &= \Phi_2 - \Phi_1 = 4\pi\Delta R/\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

$$\Delta\phi = \Delta\phi_{fl} + \Delta\phi_{ele} + \Delta\phi_{disp} + \Delta\phi_{at} + \Delta\phi_{noise} \quad (2)$$

Хэрэв интерферометрын ямар нэгэн пикселд өөрчлөлт орсон бол хэв гажилтын өөрчлөлт орсон гэж үзэж болох боловч ургамал, мод, бут, сөөг болон тариан талбай гэх мэтийн хөдөлгөөнт биетийн алдааны мэдээлэл байх боломжтой.

Богино долгион (X-band болон C band) нь байшин барилга хүмүүсийн хийж бүтээсэн байгууламжид илүү нарийвчлал сайтай байдаг. Урт долгион буюу L-band-ийн хувьд дээр дурьдсанчилан ургамал, мод, бут, сөөг болон тариан талбайд илүү нэвтрэх чадвартай байдаг.

Мэдээллийн боловсруулалтыг Sentinel Application Platform (SNAP) болон Stanford Method for Persistent Scatterer (StaMPS) (Hooper, Bekaert, Spaans, & Arikan, 2012) програм хангамжуудыг ашигласан. PSI арга нь DInSAR-ийн сайжруулсан арга

## БОЛОВСРУУЛАЛТЫН ҮР ДҮН

### Ханхын газар хөдлөлтийн шилжилтийн үр дүн

Хөвсгөлийн идэвхжилтийн бүсэд (48.9 - 52.5; 97.0 - 103.7) сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд болсон хамгийн хүчтэй газар хөдлөлт бол Ханхын (2021/01/12) (M16.5) (Ад.Мөнхсайхан, бас бус., 2021) газар хөдлөлт юм.

Sentinel-1 өгөгдөл дээр үндэслэн тус газар хөдлөлтийн хугацааны цуваа болон деформаци гэсэн хоёр үр дүнг боловсруулсан. Тус газар хөдлөлтийн гадаргуугийн деформацийн үр дүнг гаргахын тулд тухайн бүс нутгийг хамарсан Sentinel-1 хиймэл дагуулын descending өгөгдлийг ашигласан.

Газар хөдлөлийн өмнөх (2021-01-07) болон дараах (2021-01-17) өдрүүдийн мэдээний нэг интерферограммыг гарган авсныг дараах зурагт харуулав (Зураг 3). Зургаас харахад хагарлын зүүн талд нуурынхаа баруун хойд эрэг орчимд 2 хэсэг газарт илүүтэй деформацид орсон байна. Нуурын дунд хэсгийн ёроол орчим хэв гажилтад орсон байж болохыг тус нуурын баруун болон зүүн эргийн

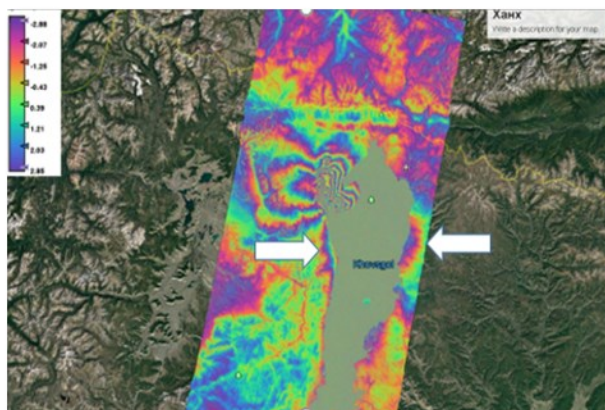
бөгөөд олон интерферограм олонлог үүсгэхийн тулд нэг газар авсан олон SAR мэдээг ашигладаг.

Sentinel-1 хиймэл дагуулуудыг Европын сансрын агентлаг (ESA) Коперникийн хөтөлбөрийн хүрээнд (<https://www.copernicus.eu>) чиглүүлэн удирддаг.

StaMPS нь PS болон SBAS аргыг ашиглан хэд хэдэн SAR үзэгдэлийг боловсруулахад зориулагдсан програм хангамж юм.

Хоёр програм хангамжаар PSI аргыг хэрэгжүүлдэг бөгөөд SNAP-ээр slave мэдээг бэлтгэж StaMPS-ээр хугацааны цувааны боловсруулт шинжилгээг гүйцэтгэнэ.

Эдгээр боловсруулалтын алхмуудын талаарх дэлгэрэнгүй мэдээллийг Hooper A. нарын (Hooper, Bekaert, Spaans, & Arikan, 2012) гаргасан бүтээлээс харж болно.

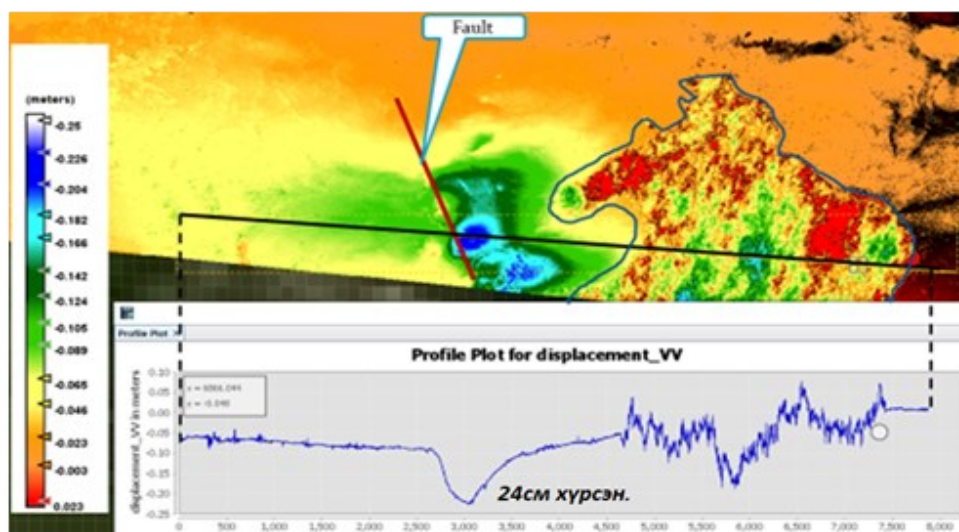


Зураг 3. Ханхын газар хөдлөлтийн деформаци

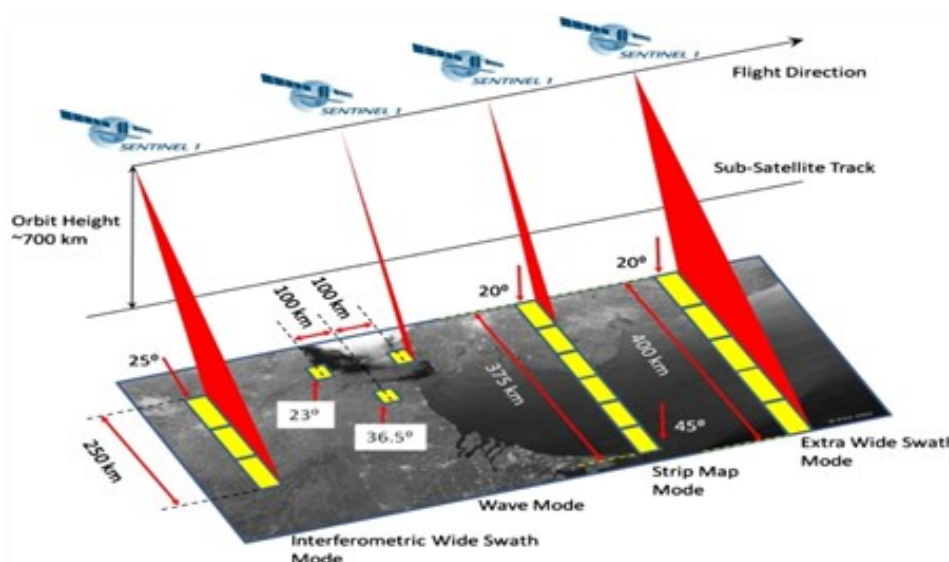
интерферометрын нэг бүтэн фаз (цагаан сумаар заасан хэсэг) харуулж байна.

Тус газар хөдлөлтийн хагарлын хоёр хавтгай өөр өөр деформацид орсон байгаа нь хөндлөн татсан профайлын графикаас харагдана (Зураг 4). Хагарлын зүүн буюу нууран талын хавтгай баруун талын хавтгайг бодвол илүү их деформацид орсон байна.

Хагарлын баруун хэсгээр LOS (line of sight) чиглэлийн дагуу 8см хүртэл суулт өгсөн бол хагарлын залгаа зүүн хажууд 24см хүртэлх суулт өгсөн байна.



Зураг 4. Нууран дээрх мөсний эвдрэл зураг дээрх хөндлөн татсан профайлын графикаас харагдана



Зураг 5. Sentinel-1 өгөгдөл мэдээ авах горим

### PSI хугацааны цуваа

Дараах үр дүнг PSI аргыг ашиглан гаргасан. Sentinel-1 хиймэл дагуул нь хойд болон урд туйлыг чиглэсэн орбиттой бөгөөд өгөгдөл бүртгэх өсөх (ascending) эсвэл буурах (descending) замд LOS чиг нь хиймэл дагуулынхаа баруун тийш харсан байдаг. Тус хиймэл дагуул нь Wide Swath (IW), Extra Wide Swath (EW), StripMap (SM), and Wave (WV) гэсэн дөрвөн өөр нарийвчлал, хамрах хүрээ бүхий онцгой дүрслэлийн горимтой

(Зураг 5). TOPS (Terrain Observation with Progressive Scans in azimuth) IW ба EW горимууд нь 250км өргөн зурвасаар 5x20m, 400км газрын өргөн зурвасаар 20x40m-ийн нягтралтайгаар хэмжилтийг хийдэг. Тус судалгааны талбайн мэдээнд Sentinel-1B хиймэл дагуулын IW горимд WV туйлшралттай 2019-2022 он хүртэлх буурах орбитын 26 өгөгдөл ашигласан.

Хоёр дахь үр дүнг PSI аргыг ашиглан гаргасан. PSI хугацааны цувааны үндсэн үр дүнг дараах зургаас харж болно



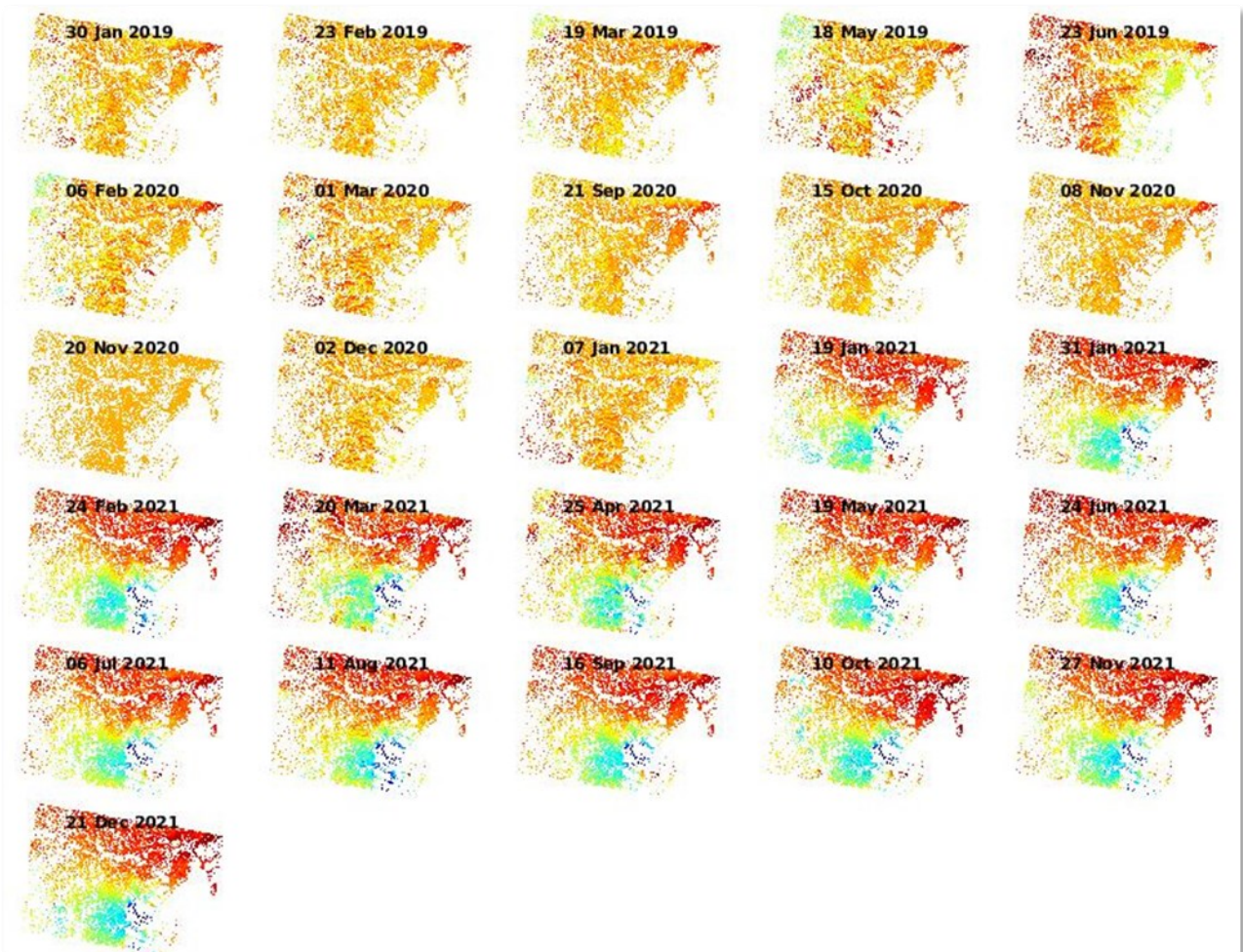
(Зураг 6). Боловсруулалтад master зургийн сонголтыг 2020-11-20-ний өдрийн мэдээгээр сонгосон бөгөөд доорх үр дүнгээс үзвэл 2021 оны 1-р сарын 19-ний өдрөөс эхлэн гадаргын өөрчлөлт орсон байгааг харж байна. Учир нь 2021 оны 1-р сарын 12-ны өдөр Ханхын газар хөдлөлт болсон байдаг. Зураг 6-т ажиглалтын 36 сарын хугацааны нийт шилжилтийг харуулж байна.

Газар хөдлөлт болохоос өмнө тус бүс нутагт ямар нэгэн хүчтэй шилжилт хөдөлгөөн ажиглагдаагүй бол хүчтэй хөдлөлтийн дараагаар томоохон шилжилт хөдөлгөөн орсныг зураг 6-с харж байна. Энэ бол зөвхөн нэг удаагийн газар хөдлөлтөөс үүссэн томоохон деформаци юм.

Интерферометрийн олонлогоос PSI техникээр гаргаж авсан хамгийн сонирхолтой, дэвшилтэт бүтээгдэхүүний нэг бол хугацааны цуваа бөгөөд ажиглагдсан хугацааны туршид цэг бүрийн шилжилтийн түүхийг харуулдаг.

Дараах зургийн (a) хэсэгт гадаргуугийн шилжилтийн хурдны утгуудын стандарт хазайлтыг харуулсан байна. Энд жилд 0.5-с 6.5мм хөдөлж байгаа бөгөөд хурдны утгаас харахад дийлэнх массаараа 0.5 - 1мм/жил гэсэн утгад ойрхон байна.

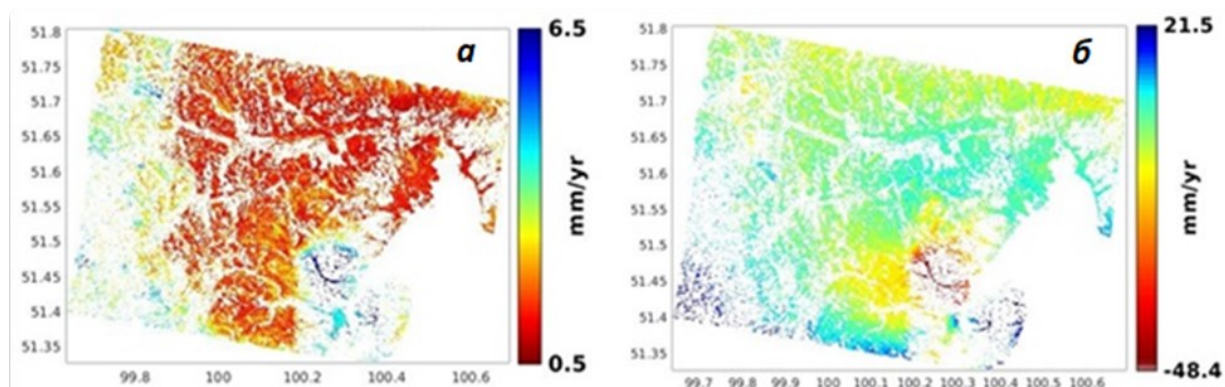
Энэ нь манай хурдны утгын үр дүнгийн үнэн зөв байдлыг илтгэж байна. Зураг 7(б) хэсэгт тус бүс нутгийн гадаргын нэг жилд шилжих шилжилтийн хурдны утгыг харуулна.



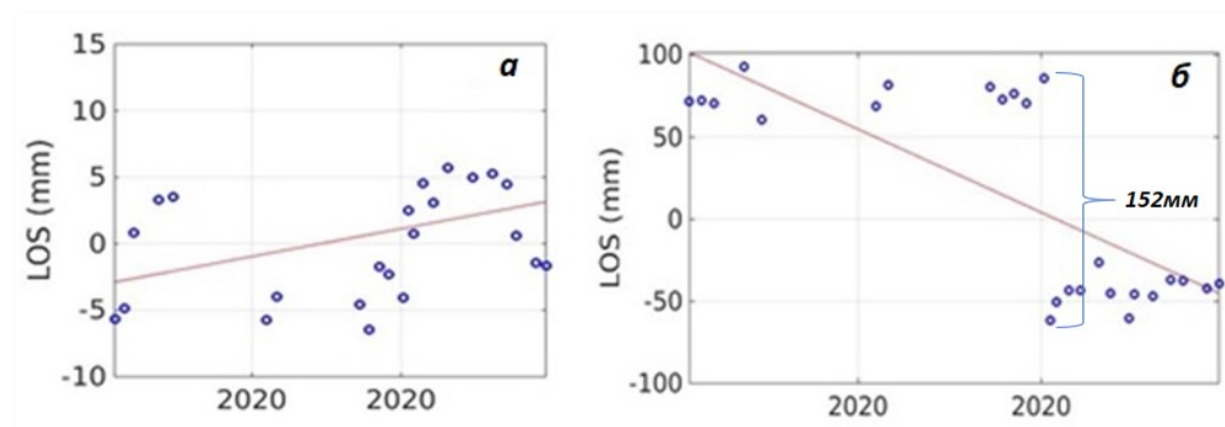
Зураг 6. Энд хэв гажилтын хугацааны цуваад цагаан өнгө хоосон утга, хөх өнгө,ногоон суулт буюу нуралт, хар улаан өнгө босоо шилжилттэй бол цайвар улаан болон шар өнгө 0-д ойрхон буюу шилжилт бага гэж үзнэ

Энд (Зураг 7.б) босоо чигийн (LOS) хурдыг хар хөх өнгөөр илэрхийлж байгаа бол улаан өнгөөр суулт өгч байгаа чиглэлийн хурдыг харуулж байна. Эндээс Ханхын газар хөдлөлтийн голомтын талбайг эс тооцвол судалгааны талбай болох 50x100км квадрат талбай бүхий нутаг дэвсгэрийн шилжилтийн хурд маш бага, хөдөлгөөнгүй тогтвортой байгааг харж болно. Деформацийн цаг хугацааны цувааны хоёр цэгийн жишээг доор үзүүлэв

(Зураг 8). Дээрх үр дүнд харуулснаар судалгааны талбайн тогтвортой хэсэг болон газар хөдөлсөн голомтын бүсүүдэд тус тус 50м рудиусттай талбайг сонгон авч хугацааны цуваанд задалсан байгааг дараах зурганд үзүүлэв (Зураг 8). Энд цаг хугацааны цуваа нь сонгон авсан радиус бүхий талбайн хөрсний шилжилтийн дундаж утгыг харуулна.



Зураг 7.(а)Гадаргын шилжилтийн хурдны утгын стандарт хазайлт, (б)Жилд шилжих хурд (LOS)



Зураг 8. Тогтвортой талбайн гадаргын шилжилт (а), Газар хөдлөлтийн голомтын бүс (б)

Дээрх хоёр зургаас харахад эхний зураг тогтвортой байдлыг харуулж байхад дараах зураг нь огцом шилжилтийн үе гарч байгааг харж болох ба энэ нь 2021 оны 1-р сарын 12-ны өдрийн газар хөдлөлтийн шилжилтийн утга болно. Сонгосон талбайн шилжилт (цэгүүдийн дундаж) ойролцоогоор

152мм байна. Энэ шилжилт нь голомтын талбайгаас сонгож авсан цэгийн эргэн тойронд 50м радиус доторх нийт цэгүүдийн дундаж шилжилт гэж ойлгоно. Энэ төрлийн судалгаанд нэг цэгийн утгыг бус нэг хэсэг талбайн утгын үр дүнг чухалчилж авч үзэх нь зүйтэй юм. Ханхын газар хөдлөлтийн бүсэд дээрх үр дүнгийн

шилжилтийг баталгаажуулах GNSS хэмжилтийн өгөгдөл байхгүй ч тус PSI болон GNSS технологийг ашиглан гаргасан олон ажлууд байдаг. Тухайлбал Phugiao (Nam1, бас бус., 2020) уурхайн хоёр бүсэд дээрх хоёр судалгааг харьцуулан үзэхэд PSI цувааны үр дүн нь GNSS хэмжилтийн үр дүнтэй маш ойролцоо байгааг харуулсан байдаг.

## ДҮГНЭЛТ

Газар хөдлөлтийн хугацааны цуваа болон деформаци гэсэн хоёр үр дүнг 2021 оны 1-р сарын 12-ний өдөр Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын орчимд M16.5-тай газар хөдлөлтийн голомтод авагдсан Sentinel хиймэл дагуулын мэдээг ашиглан гаргалаа. Эхний үр дүнгийн боловсруулалтыг "two-pass" дифференциал интерферометрийн аргыг ашигласан ба хагарлын зүүн талд нуурынхаа баруун эрэг орчимд хоёр хэсэг газар хамгийн ихдээ 24см хүртэлх суулт (LOS дагуу) өгсөн байгааг харуулж байна.

Хагарлын баруун хэсгээр 8 хүртэл см суулт өгсөн байгаа ба хагарлын 2 хавтгай өөр өөр деформацид орсон байна. Мөн нуурын дунд хэсгийн ёроол орчим деформацид орсон байж болохыг тус нуурын баруун болон зүүн эргийн интерферометрын нэг бүтэн фаз харуулж байна.

Хугацааны цуваа PSI аргын хувьд 2019 оны 1-р сараас 2021 оны 12-р сарын хооронд авагдсан 26 Sentinel-1B зургийн өгөгдлийн багцыг цуглуулж SNAP болон StaMPS (linux орчин) програм хангамжийг хослуулан ашигласан.

Дээрх боловсруулалтын үр дүн нь дараах үр дүнг харуулж байна. Үүнд:

- Газар хөдлөлт болохоос өмнө тус бүс нутагт ямар нэгэн хүчтэй шилжилт хөдөлгөөн ажиглагдаагүй бол хүчтэй хөдлөлтийн дараагаар томоохон шилжилт хөдөлгөөн орсныг харж байна. Энэ бол зөвхөн нэг удаагийн газар хөдлөлтөөс

Харьцуулсан үр дүнгийн зөрүүний утга нь Phugiao 1-д  $\pm 2.6$  мм, Phugiao 2-д  $\pm 3.7$  мм байсныг илтгэсэн байна. Ингэхдээ Sentinel-1 хиймэл дагуулын мэдээний PSI арга зүйн боловсруулалтын үр дүн нь гадаргын деформацийг тодорхойлох чадвартайг нотолж байна гэж дүгнэжээ.

үүссэн томоохон деформаци юм.

- Гадаргуугийн шилжилтийн хурдны стандарт хазайлт дийлэнх массаараа жилд 0.5 - 1мм/жил байгаа нь хурдны утгын үр дүнг хангалттай үнэмшилтэй гэж үзэж байна.
- Ханхын газар хөдлөлтийн голомтын талбайг эс тооцвол судалгааны талбай болох 50x100км квадрат талбай бүхий нутаг дэвсгэрийн шилжилтийн хурд хөдөлгөөнгүй тогтвортой байна.
- Шилжилтийн хурд байхгүй буюу 0-д ойрхон хурдны утгатай талбайгаас цэг сонгон авч хугацааны цувааны босоо шилжилтийг авч үзэхэд  $\pm 5$ мм буюу тогтвортой байдлыг харуулж байна. Хурдны утга улаантай хэсгийн талбайд огцом шилжилтийн үе гарсан ба энэ нь 2021 оны 1-р сарын 12-ны өдрийн газар хөдлөлтийн шилжилтийн утга болно. Сонгосон талбайн деформаци нь (дундаж) ойролцоогоор 152мм байна.

Энэхүү судалгаанд 36 сарын хугацааны мэдээлэл хангалтгүй. Хугацааны цувааны мониторингийн шинжилгээг сайжруулахын тулд ажиглалтын талбайн урт хугацааны SAR сансрын мэдээгээр мэдээллийн санг өргөжүүлэх шаардлагатай байна.



## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн хамтран ажилласан ШУА-ийн

ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

## НОМЗҮЙ

- Barra, A., Monserrat, O., Mazzanti, P., Esposito, C., Crosetto, M., & Scarascia Mugnozza, G. (2015). First insights on the potential of Sentinel-1 for landslides detection. *Geomatics Natural Hazards and Risks*, 1-10.
- Crosetto, M., Monserrat, O., Cuevas-González, M., Devanthery, N., & Crippa, B. (2016). Persistent Scatterer Interferometry. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 78-89.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE TGRS*, 2202-2212.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2000). Nonlinear subsidence rate estimation using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE TGRS*, 2202-2212.
- Ferretti, A., Prati, C., & Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE TGRS*, 8-20.
- Hooper, A., Bekaert, D., Spaans, K., & Arikan, M. (2012). Recent advances in SAR interferometry time series analysis for measuring crustal deformation. *Tectonophysics*, 514-517.
- Intrieri, E., Raspini, F., Fumagalli, A., Lu, P. D., Farina, P., Allievi, J., . . . Casagli, N. (2017). The Maoxian landslide as seen from space: detecting precursors of failure with Sentinel-1 data. *Landslides*, 123-133.
- Nam1, B. X., Anh, T. V., Bui, L. K., Long, N. Q., Ha, T. L., & Goyal., R. (2020). Mining-Induced Land Subsidence Detection by Persistent Scatterer InSAR and Sentinel-1: Application to Phugiao Quarries, Vietnam. *Springer*, 18-38.
- Novellino, A., Cigna, F., Brahmi, M., Sowter, A., Bateson, L., & Marsh, S. (2017 оны 3 30). Assessing the Feasibility of a National InSAR Ground Deformation Map of Great Britain with Sentinel-1. <https://www.mdpi.com/2076-3263/7/2/19-ээс> Гаргасан
- Ад.Мөнхсайхан, Л.Тунгалаг, Д.Ганзориг, Г.Ариунаа, Л.Дагзинмаа, М.Долгормаа, . . . Д.Хонгор. (2021). Ханхын хүчтэй газар хөдлөлт. Геофизик ба Одон орон судлал, 58-67.



## EARTHQUAKE MONITORING USING PSI AND SENTINEL-1 SAR DATA

Bayarsaikhan Enkhee<sup>1\*</sup><sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*\*Corresponding author: [e.bayarsaikhan@iag.ac.mn](mailto:e.bayarsaikhan@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** On January 12, 2021, a magnitude M<sub>l</sub>6.5 earthquake struck the Khanh Sum area of Khuvsgul province. Seismic displacements were calculated using the two-pass interferometric method, and the PSI technique determined the displacement time series. The study's field data encompassed 26 descending orbit data sets from 2019 to 2022, employing VV polarization in IW mode of the Sentinel-1B satellite. On the left side of the fault, 2 pieces of land near the west shore of the lake are shown to have subsided to a maximum of 25cm (Line-Of-Sight). An additional subsidence of up to 8 cm was observed in the right part of a crack, and the two planes of the crack deformed differently. Also, deformation may have occurred near the bottom of the northern half of the lake. Because it was shown by one complete phase of the interferometer on the west and east shores of the lake. Over the three-year observation period, aside from the displacement at the Khankh earthquake epicenter, there was either zero displacement or no observable movement within the 50x100 km area under investigation.

**Keywords:** *Khanh, psi, stamps, insar, interferometry, snap, sentinel, satellite, depormation, strong earthquake, displacement*

# ХОВД ГЕОСОРОНЗОН ОРГИЛЫН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ БА СОРОНЗОН ОРНЫ ЭЛЕМЕНТҮҮДИЙН ҮНДСЭН ШУГАМЫН УТГЫГ ТОДОРХОЙЛСОН ҮР ДҮН

С.Загдсүрэн<sup>1\*</sup>, П.Чимэдцэрэн<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Дэлхий нь шингэн металл цөм, хатуу манти ба царцдас, үл дамжуулагч агаар мандал, түүнийг хүрээлэгч соронзон мандал гэж нэрлэгдэх плазмын муж гэсэн үндсэн хэсгүүдээс тогтох бөгөөд агаар мандлаас бусад муж давхрагууд нь дэлхийн соронзон оронд өөрийн хувь нэмрээ оруулж, нөлөөгөө үзүүлдэг. 2002 онд “Баруун монголд хийх соронзон орны судалгаа” төслийн хүрээнд Ховд аймагт анхны соронзон вариацийн станцыг суурилуульж мэдээлэл авч эхэлснээс хойш эдүгээ 20 гаруй жил болжээ. Энэ хугацаанд 2011 онд богино үет хувьслыг хэмжигч MAGDAS-9 станц, 2012 онд POS-1 станц тус бүрийг байгуулж, соронзон орны абсолют хэмжилтийг тогтмол хийж ирснээр Ховд геосоронзон оргилыг бүрдүүлэхэд чухал нөлөө үзүүлсэн. Эдгээр станцуудын мэдээлэл бүрдүүлэлт, хэмжилтийн үр дүнг ашиглан MATLAB, EXCEL програмуудын тусламжтайгаар боловсруулалт хийж соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг тооцоолон гаргасан. Ингэснээр вариацийн станцын мэдээлэл боловсруулалтанд тооцож соронзон орны бүх байгуулагчуудын үнэмлэхүй утгыг гаргах бүрэн боломжтой болж байна. Ингэснээр цаашид геосоронзон судлалд ашиглахад суурь судалгааны чухал баримт болох юм.

*Түлхүүр үг: Соронзон оргил, вариацийн станц, соронзон шуурга, содон цэг*

## ОРШИЛ

Анх дэлхийн соронзон оронг саваа хэлбэртэй соронзтой төсөөтэй гэсэн санааг 1600 оны үед Уильям Гильберт авч үзсэн байдаг.

Дэлхийн соронзон орон Гильбертийн энэ хялбаршуулсан ойлголтоос орон зайн хувьд ялгаатай ихээхэн төвөгтэй тогтоцтойн зэрэгцээ цаг хугацаанаас хамааран тасралтгүй хувирч өөрчлөгдөж байдаг.

Энэ нь соронзон орныг хэмжигч өндөр нарийвчлалтай багажаар манай гаригийн янз бүрийн газарт олон жилийн тасралтгүй хэмжилт хийсний үр дүнд тодорхойлогдсон.

Эндээс дэлхийн соронзон оронг гаригийн дотор ба гадна эх үүсгэгч бүхий орны нийлбэр гэж үзэх болов (Б.М.Яновский, 1978; У.Паркинсон, 1986).

Дэлхийн соронзон орны өөрчлөлт

буюу вариаци гэж түүний хугацааны өөрчлөлтийг хэлнэ. Вариацийн үечлэл нь хэдэн миллисекундээс 10000 жил хүртэл өргөн хүрээнд хэлбэлзэж байдаг. Вариацийг дотор нь эриний хувьсал, үе үе давтагдах вариаци, богино үетэй хэлбэлзэл, огцом хувьсал гэж хувааж үздэг (Д.Лхагвадорж, 2010).

Зууны хувьсал гэж соронзон орны харьцангуй удаан хугацааны өөрчлөлтийг хэлнэ. Зууны хувьслын тоон үнэлгээ нь соронзон орны байгуулагчдын нэг жилийн дундаж утгын өөрчлөлтийн хэмжээгээр тодорхойлогддог.

Соронзон индукцийн вектор ба түүний байгуулагчуудын модулийн хамгийн их өөрчлөлт газрын гадаргуун зарим нэг онцгой мужид (зууны хувьслын фокусын цэг гэж нэрлэдэг) жилийн дотор 150 нТл хүрдэг (Д.Лхагвадорж, 2010).

## АРГАЗҮЙ БА ӨГӨГДӨЛ

### Соронзон орныг тодорхойлох байгуулагчид

Соронзд гүйдэлтэй дамжуулагч эргэлдэх хөдөлгөөн хийснээр индукцийн соронзон орон үүсдэг. Эргэлдэх хүчний момент нь эргэлдэж буй дамжуулагчийн соронзоны чиглэлээс хамаардаг болох нь тогтоогдсон учраас соронзон орон нь цэг болгонд өөр өөр чиглэлтэй байдаг. Ийм оронг вектор орон гэж нэрлэдэг бөгөөд соронзон орны бүрэн векторыг  $F$  -ээр тэмдэглэдэг.

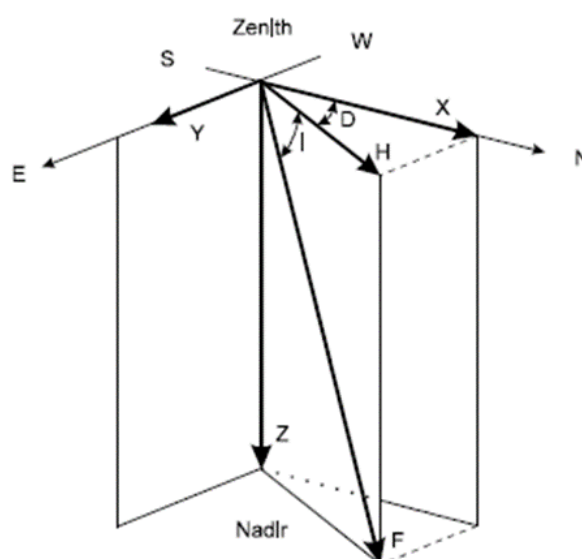
Энэ векторыг тодорхойлохын тулд дурын 3 байгуулагчийг нь мэдэх шаардлагатай. Үүний тулд гол чиглэл болгож хойт ба зүүн зүг, эгц доош чиглэлийг сонгож авдаг ба тэгш өнцөгт солбицлын тогтолцоонд соронзон орны  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  байгуулагчууд харгалздаг (Зураг 1).

Эдгээрээс гадна хазайлтын өнцөг ( $D$ ) гэж нэрлэгддэг хойт зүг ба соронзон орны хэвтээ байгуулагч ( $H$ )–ийн хоорондох өнцөг (энэ өнцгийг хойт зүгээс цагийн зүүний дагуу тоолдог), мөн бөхийлтийн өнцөг ( $I$ ) гэж нэрлэгддэг соронзон орны бүрэн хүчлэг ( $F$ ), хэвтээ байгуулагч ( $H$ )–ийн хоорондох өнцөг (хэвтээ хавгайгаас доош тоологддог), соронзон орны хэвтээ байгуулагч ( $H$ ), соронзон векторын далайц болох соронзон орны бүрэн хүчлэг ( $F$ ) гэсэн тодорхойлолтууд өргөн хэрэглэгддэг.

Оронг тодорхойлохын тулд дээр тодорхойлогдсон байгуулагчуудаас аль нэг гурвыг нь хэмжихэд хангалттай. Ямар байгуулагчуудыг хэмжих зорилгоосоо ихээхэн хамаардаг.

Анализ хийхэд ихэвчлэн  $X$ ,  $Y$  хэрэглэгддэг. Голдуу  $X$ ,  $D$ ,  $Z$  байгуулагчуудыг бүртгэдэг. Зарим тохиолдолд  $H$ ,  $D$ ,  $Z$  байгуулагчуудыг хэмжих нь хялбар байсан бол технологийн шинэчлэлтээс хамааран  $F$ ,  $D$ ,  $I$ –ийг хэмжих болсон (А.Д.Шевнин, 1988).

Соронзон орны бүрэн вектор  $F$  орших босоо хавтгайг соронзон меридиан гэж нэрлэдэг. Тригонометрын энгийн харьцаагаар соронзон орны байгуулагчуудыг тодорхойлж болно (Зураг 1).



Зураг 1 Соронзон орны байгуулагчуудын вектор

$$\operatorname{tg} D = Y/X \quad (1)$$

$$\operatorname{Sin} D = Y/H \quad (2)$$

$$H = (X^2 + Y^2)^{1/2} \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} I = Z/H \quad (4)$$

$$\operatorname{Sin} I = Z/F \quad (5)$$

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (6)$$

### Ховд геосоронзон оргил

Геосоронзон орон нь орон зайн байрлал, цаг хугацаанаас нилээн төвөгтэй байдлаар хамаардаг учраас соронзон хэмжилтийг хийхдээ заавал тодорхой зорилготой буюу тухайлбал орон зайн юм уу, эсвэл цаг хугацааны өөрчлөлтийн динамикийг шийдэх зорилт тавьсан байдаг. Ийм учраас уртын масштаб ба цаг хугацааны үргэлжлэхээс нь хамааруулан орчин үед 7 төрлийн хэмжилт хийж байна. Үүнд:

1. Соронзон оргилд тасралтгүй хийх хэмжилт (хугацааны),
2. Бүс нутагт хийх (регионал) соронзон хэмжилт (орон зайн),
3. Орон нутагт хийх (локал) соронзон хэмжилт (орон зайн),

4. Агаар ба далайд хийх соронзон орны хэмжилт (орон зайн болон хугацааны),
5. Сансрын хиймэл дагуул болон зондоос хийх соронзон хэмжилт (орон зайн болон хугацааны),
6. Соронзон орны хувьсал, пульсац (хугацааны)
7. Соронзон вариацийн талбай дээрх хэмжилт буюу цахилгаан соронзон соронзон тандалтын хэмжилт (орон зайн).

Геосоронзон оргил нь дэлхийн соронзон орны аливаа 3 байгуулагчийн цаг хугацааны өөрчлөлтийг тасралтгүй бүртгэж байдаг эрдэм шинжилгээний нэгж бөгөөд үндсэн шаардлага нь соронзон орны өөрчлөлтийг  $\pm 0.1$  нтл нарийвчлалтай, цаг хугацааны хувьд 1 секундээс ихгүй байх шаардлагыг хангасан байхаас гадна динамик өөрчлөлтийг бүртгэн авах чадвартай байх ёстой.

ООГХ-ийн Ховд салбарт дээрх 7 төрлийн хэмжилтээс 3-г нь тасралтгүй хийж байна. Үүнд:

- Соронзон оргилд тасралтгүй хийх хэмжилт (вариацийн хэмжилт)
- Соронзон оргилд тасралтгүй хийх хэмжилт (fluxgate магнитометр)
- Орон нутагт хийх (локал) соронзон хэмжилт (Абсолют хэмжилт).

Дээрх аргаар ООГХ-ийн Ховд салбарт соронзон оргилыг дараах байдлаар

бүрдүүлэн тасралтгүй хэмжилт хийгдэж байна (Зураг 2).

1. 2002 онд “Баруун монголд хийх соронзон орны судалгаа” төслийн хүрээнд байгуулагдсан соронзон вариацийн байнгын ажиллагаатай станц;
2. Японы Кюшүгийн их сургуулийн сансар судлалын судалгааны төвийн (SERC) тусламжаар MAGDAS сулжээний хүрээнд 2011 оноос соронзон орны хувьслыг 0.1 секундын давтамжтай бүртгэгч fluxgate магнитометр;
3. 2012 оноос Дэлхийн соронзон орны абсолют утгыг хэмждэг Оверхаузын өндөр нарийвчлал бүхий протон магнитометр POS-1;
4. Соронзон орны хазайлт/налалтын үнэмлэхүй утгыг хэмжигч Lemi-204



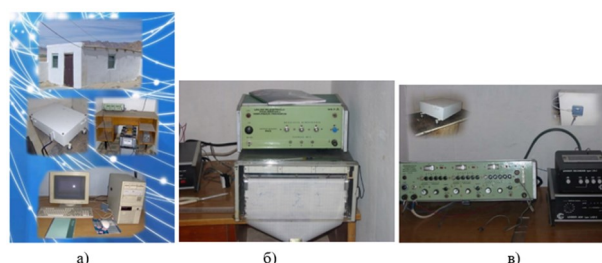
Зураг 2. Ховд соронзон орны оргилын станцуудын байршил

## ХЭМЖИЛТИЙН БАГАЖ ТӨХӨӨРӨМЖ

### Соронзон орны вариацийн станц

Ховд дахь соронзон вариацийн станц ( $\varphi=91^{\circ}40'07.46''$  E,  $\lambda=48^{\circ}00'54.30''$  N,  $h=1412$ m) нь соронзон орны хэвтээ байгуулагч H, хазайлтын өнцөг D, босоо байгуулагч Z тус бүрийн өөрчлөлтийг 5 секунд тутамд бүртгэдэг.

Ховд салбарт 2002 онд анх соронзон вариацийг аналогийн байдлаар бичигч PSM/R-7803NR06 төхөөрөмжийн тусламжтайгаар цаасан дээр бэхээр зурж мэдээллээ авдаг байсан бөгөөд 2003-2005 онд дуу



Зураг 3. а). Анхны соронзон вариацийн станцын байр, сенсор, тэжээлийн хэсэг, б). бэхээр зурж тэмдэглэж авдаг 3 байгуулагчийн recorder, в). Соронзон тууз бүхий logger recorder LA-Z болон Logger ADC LAD-Z



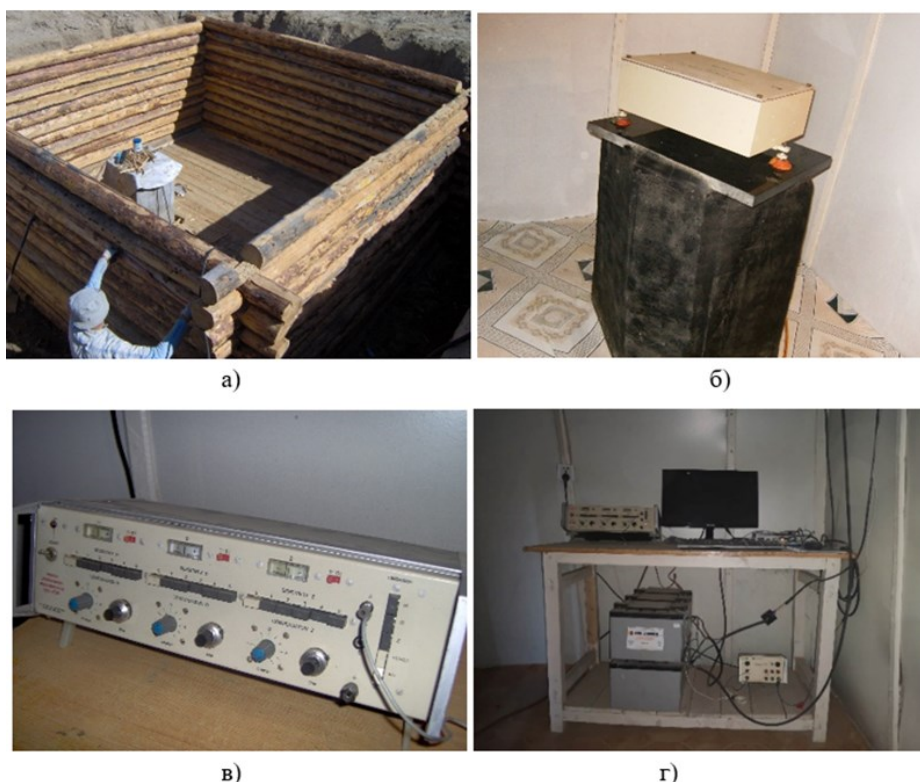
бичлэгийн магнитофон ашиглан кассетанд мэдээллээ бичдэг logger recorder LA-Z болон Logger ADC LAD-Z төхөөрөмжөөр соронзон орны элементүүдийн аналог мэдээллийг бичиж авдаг болсон (Зураг 3).

2005-2008 онд Польш улсад үйлдвэрлэгдсэн мэдрэгчээс ирж буй гуйдлийг PSM 8811-08 логгерээр дамжуулан өсгөж, улмаар 12 битийн аналого-тоон хувиргагчаар тоон хэлбэрт хөрвүүлэн файл болгон хадгалах шинэ технологид шилжсэн.

2008 оноос хойш багажийн шинэчлэлт хийгдэж шинээр Фотоцахилгаан магнетометр (ФЦМ) суурилуулж, түүний аналого гаралтаас мэдээлэл хүлээн авагч (PSM 8811-06B)-аар дамжин "USB-1608FS" маркийн 16 битийн аналого-тоон хувиргагчаар мэдээллийг тоон хэлбэрт шилжүүлэн авч байна (Зураг 4).

Ховд салбарт 2008 онд соронзон вариацийн станцын шинэ павилоныг

стандартын түвшинд газрын доор барьж ашиглаж эхэлсэн бөгөөд станцын байрыг сонгож барихдаа суурь цутгах хөрсний гулгалт өгөх эсэхийг тодорхойлсон бөгөөд 5-10м зай болгонд соронзон орны хэмжилтийг хийж гүйцэтгэсэн. Соронзон вариацийн нөлөөг оруулахгүй байхын тулд 2 протоны магнитометрээр хэмжилт хийсэн бөгөөд нэг магнитометрээ соронзон оргилынхоо төлөвлөж байгаа талбайн төвд байрлуулж харьцуулсан хэмжилт хийж гүйцэтгэсэн. Ингэхдээ 10м зай тугамд газраас 1-1.5 метр өндөрт (яваандаа багаж байрлуулах төвшин) торлосон хэмжилт хийсэн бөгөөд соронзон орны градиентын хэмжээ 5нТл/м, харин яг вариацийн багаж байрлуулах газарт хэвтээ ба босоо чиглэлийн аль алинд нь 2 нТл/м –ээс хэтрэхгүй байх нөхцлийг хангаж байгаа эсэхийг шалгасан (Ү.Сүхбаатар, Эрдэм шинжилгээний тайлан "Геосоронзон 2005-2007", 2009).



Зураг 4 а). Шинэ байрны барилгын явц бөгөөд ямар нэгэн төмөр эдлэл ороогүй, зөвхөн модоор барьсан байр, б). 3 байгуулагчийн шинэ сенсоорын суурь, в). Мэдээлэл хөрвүүлэгч PSM 8811-06B, г). Тэжээлийн хэсэг, тоон хөрвүүлэгч, мэдээлэл хянагч дэлгэц

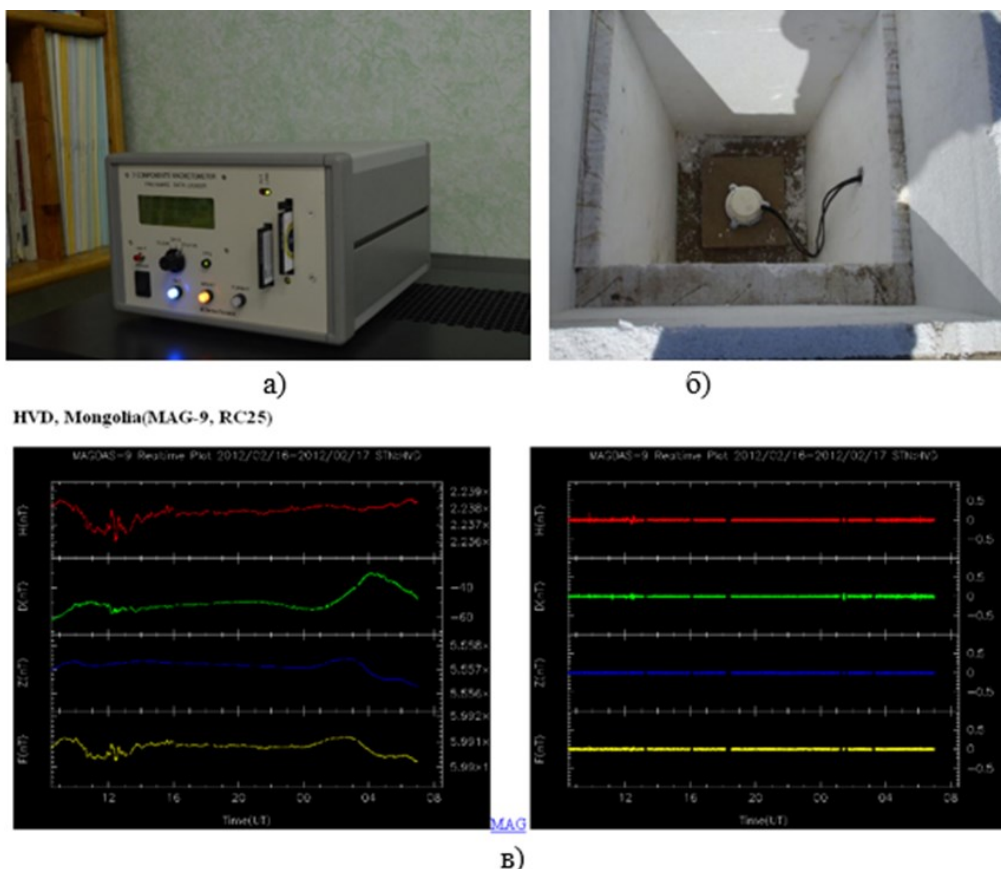
Өндөр нарийвчлалын fluxgate магнитометр (MAGDAS сүлжээ)

Кюүшугийн их сургуулийн дэргэдэх Сансрын орчны судалгааны төв (SERC) нь 2005-2011 онд зохион байгуулж буй 210°, 96° меридианы дагуу соронзон орны хувьслыг бүртгэх сүлжээний шугамаар 2011 оны 7 дугаар сарын 19-нд 0.1 сек-ийн

нарийвчлалтай fluxgate магнитометр суурилуулсан (Yumoto.K, 2009).

Соронзон орны 3 байгуулагчийн мэдээллийг гадна дискэнд хадгалахын зэрэгцээ интернэтийн горимоор тасралтгүй төв станцад дамжуулж байна (Зураг 5).

Станцын мэдээллийг <http://magdas2.serc.kyushu-u.ac.jp/realtime/index.html> онлайн горимоор харж болно.



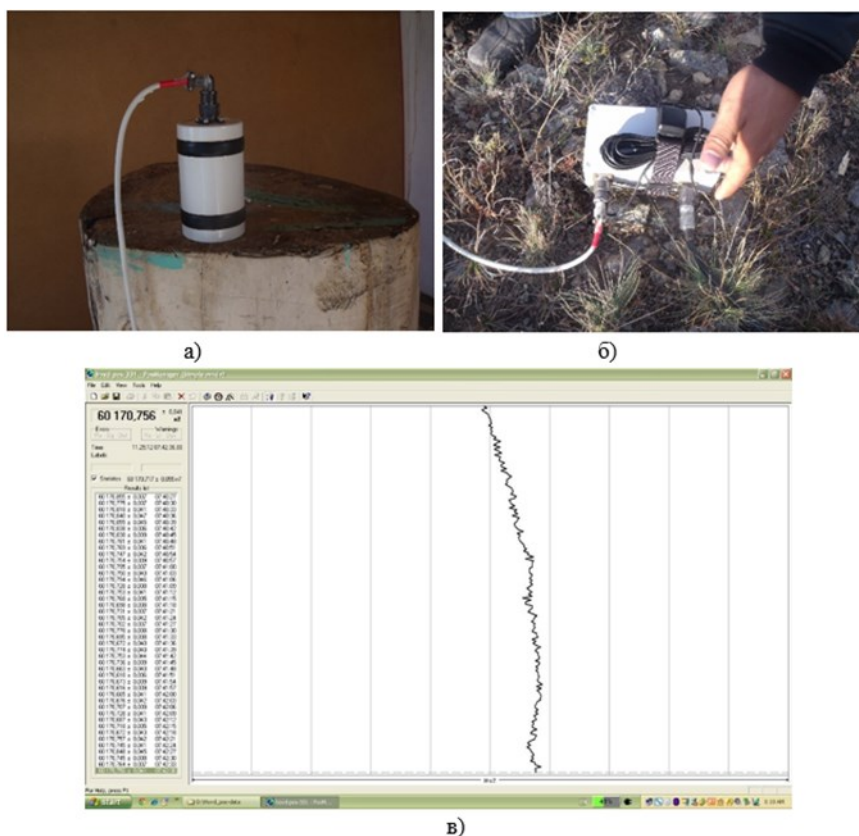
Зураг 5. а). Мэдээл хүлээн авагч, дамжуулагч Logger, б).3 байгуулагч бүхий сенсор, в).Бичлэгийг онлайнаар харах байдал

Протон магнитометр буюу POS-1 станц

2012 оноос хойш Дэлхийн соронзон орны абсолют утгыг хэмждэг Оверхаузын үзэгдэлд үндэслэсэн өндөр нарийвчлал бүхий протон магнитометр POS-1-ээр соронзон орны бүрэн хүчлэгийн мэдээллийг тасралтгүй авч байна (Зураг 6).

POS-1 магнитометр 10 хүртэл жил тасралтгүй найдвартай ажиллах протон агуулсан Overhauser эффект мэдрэгч дээр суурилдаг. Хэрэглээний микропроцессорын систем нь ажиллагааг автоматжуулах боломжийг олгодог.

Протоны процессийн дохиог дижитал боловруулах тусгай алгоритмууд нь талбайн нэгжийн хэмжилтийн алдааг нэгэн зэрэг тодорхойлох замаар хэмжилтийн өндөр нарийвчлал, мэдрэмжийг баталгаажуулдаг. Overhauser мэдрэгчийг тохируулах нь гараар урьдчилан тохируулсан бараг бүх горимд автоматаар хийгддэг. Градиент хүчдлийг нэмэгдүүлэхийн тулд POS-1 нь богино дохиог хянаж, хэмжилт хийх оновчтой хугацааны интервалыг тооцоолдог.



Зураг 6. а).сенсор, б).хөрвүүлэгч, в). бичлэг

## Соронзон орны вектор өгөгдөл

### Вариацийн станц

Ховд соронзон оргилын соронзон вариацийн станц нь соронзон орны хэвтээ байгуулагч H, хазайлт D, босоо байгуулагч Z-ийг бүртгэдэг бөгөөд 2001-2003 онд мм-ийн хуваарьтай цаасанд бэхээр зурж мэдээлэл авдаг байсан бол 2003-2005 онд дууны соронзон хальс бүхий кассет-д мэдээллээ бичдэг горимоор ажиллаж байсан. Үүний дараа 2005 онд нэг дэвшилтэт технологийг нэвтрүүлж аналог гаралтыг тоон гаралтад хувиргах 12 битийн хувиргагч тавьснаар мэдээлэл гарган авах шинэ технологид нэвтэрсэн. 2008 оноос шинээр байр ашиглалтад орж шинэ техник технологийн аргаар мэдээллээ бүрэн хэмжээгээр тоон утгад хөрвүүлж авч эхэлсэн.

2008-2022 оны тоон мэдээллийн бичигдсэн эх бичлэгийг нэг формат оруулахын тулд Matlab2008b хэл дээр бичигдсэн програм ашиглан өөрчлөлт хийхгүйгээр нэг загварт оруулсан ба вариацийн станцын бичлэг нь янз бүрийн

форматаар бичигдсэн байсныг нэг загварт оруулж өгөх шаардлагатай учраас бүх мэдээллийг тооцоолол хийх замаар нэгтгэн минутын утгад шилжүүлэн хөрвүүлсэн болно.

Ингэхдээ вариацийн станцын бичсэн 5 секунд тутмын мэдээлэлд олон улсын “ИНТЕРМАГНИТ” хөтөлбөрийн шаардлагын дагуу олон улсын стандартад тохирсон нэг минутын утга гаргахдаа (Хүснэгт 1)-д харуулсан Гауссын шүүлтүүрийн утгыг хэрэглэсэн болно.

Хүснэгт 1. Гауссын шүүлтүүр

A0 =0.00229315	A1=0.00531440	A2 =0.01115655
A3 =0.02121585	A4=0.03654680	A5=0.05702885
A6 =0.08061140	A7 =0.10321785	A8 =0.11972085
A9=0.12578865	A10=0.11972085	A11=0.10321785
A12=0.08051140	A13=0.05702885	A14=0.03654680
A15=0.02121585	A16=0.01115655	A17=0.000531440
A18=0.00229315		

Вариацийн станцын чухал хэсэг бол багажийн мэдрэх чадварыг тодорхойлох



байдаг. Жилд 2 удаа багажийн мэдрэх чадварыг тодорхойлж ирсэн бөгөөд жил бүрийн утгыг (Хүснэгт 2)-т харуулав. Вариацийн станцын минутын утганд

шилжсэн вариацийн утгыг дээрх мэдрэх чадвараар үржүүлж соронзон орны утганд шилжүүлдэг.

Хүснэгт 2. Мэдрэх чадварыг тодорхойлсон жагсаалт

Он	2009			2010	2011		2012		2013	
H, нТл/мВ	48.3418	48.3924	48.4151	48.5076	48.6028	48.5571	48.5266	48.5937	48.8328	48.7559
D, нТл/мВ	48.8667	48.8513	48.8582	48.9455	48.91	48.9486	48.8744	49.1319	49.4569	49.221
Z, нТл/мВ	48.2544	47.919	48.3901	48.4522	48.5266	48.5723	48.4826	48.599	49.221	48.91
Он	2014		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
H, нТл/мВ	48.7559	48.7237	48.641	48.711	48.764	48.619	48.61	48.657	48.598	48.955
D, нТл/мВ	49.1429	49.0564	49.126	49.162	49.174	49.115	49.115	48.892	48.75	49.126
Z, нТл/мВ	48.9873	48.9424	48.976	49.02	49.096	49.081	49.423	49.187	49.015	49.443
Дундаж: H-48.6280, D-49.0361, Z- 48.8249										

*MAGDAS-9 станц*

Богино үет хувьслыг хэмжигч MAGDAS-9-ийн станц нь соронзон орны богино үет хувьслын X, Y, Z байгуулагчууд, Температурын өөрчлөлт TS, TP, тильметр X(NS), Y(EW) тус бүрийн үнэмлэхүй буюу абсолют утгыг 0.1 секундын нарийвчлалтайгаар бинар кодоор бичиж байдаг.

Энэхүү станцын 2011-2022 оны мэдээллийн бинар кодыг ASCII код руу хөрвүүлэх, 1 минутын утгад шилжүүлэх зэрэг програм хангамжийн тусламжтайгаар өдөр, сар, жилийн өгөгдлийг тоцоолдог. Жишээ болгож 2021 оны 9-р сарын 04-ний өдрийн мэдээллийг хөрвүүлж соронзон орны элементүүдийг минутын утганд шилжүүлсэн байдлыг харуулав (Хүснэгт 3).

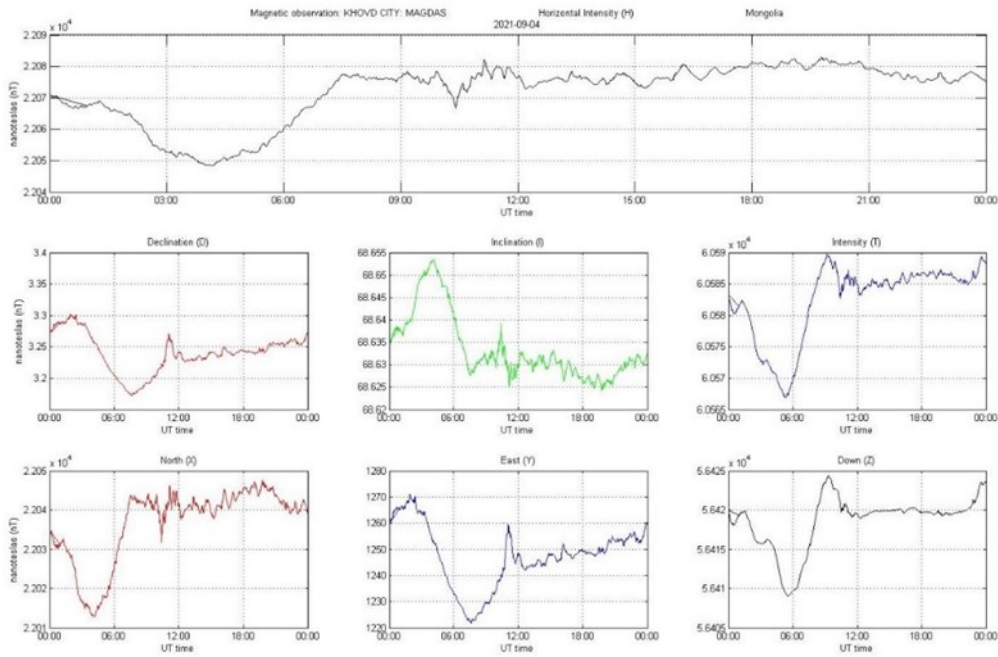
Хүснэгт 3. Минутын утгад хөрвүүлсэн соронзон орны элементүүдийн үнэмлэхүй утгыг гаргасан байдал

Он сар өдөр	Хугацаа /минут/	X	Y	Z	H	T	D	I
9/4/2021	00000	22034.845	1259.619	56419.943	22070.818	60583.257	3.2717	68.6351
9/4/2021	00001	22034.761	1259.762	56419.818	22070.743	60583.113	3.2721	68.6352
9/4/2021	00002	22034.745	1259.89	56419.693	22070.735	60582.994	3.2725	68.6351
9/4/2021	00003	22034.514	1260.056	56419.571	22070.513	60582.799	3.2729	68.6353
9/4/2021	00004	22034.142	1260.738	56419.529	22070.181	60582.639	3.2747	68.6356
9/4/2021	00005	22034.069	1260.899	56419.42	22070.116	60582.513	3.2752	68.6356
9/4/2021	00006	22033.98	1261.232	56419.317	22070.047	60582.393	3.2761	68.6356
9/4/2021	00007	22034.094	1261.444	56419.218	22070.173	60582.346	3.2766	68.6355
9/4/2021	00008	22034.24	1261.543	56419.082	22070.324	60582.275	3.2768	68.6353
9/4/2021	00009	22034.459	1261.209	56418.891	22070.524	60582.17	3.2759	68.635
9/4/2021	00010	22034.623	1261.229	56418.765	22070.689	60582.112	3.276	68.6349

Дээрх мэдээллээр соронзон орны элементүүдээр график байгуулж,

хоногийн хувьслыг гаргасан байдлыг (Зураг 7)-д үзүүлэв.



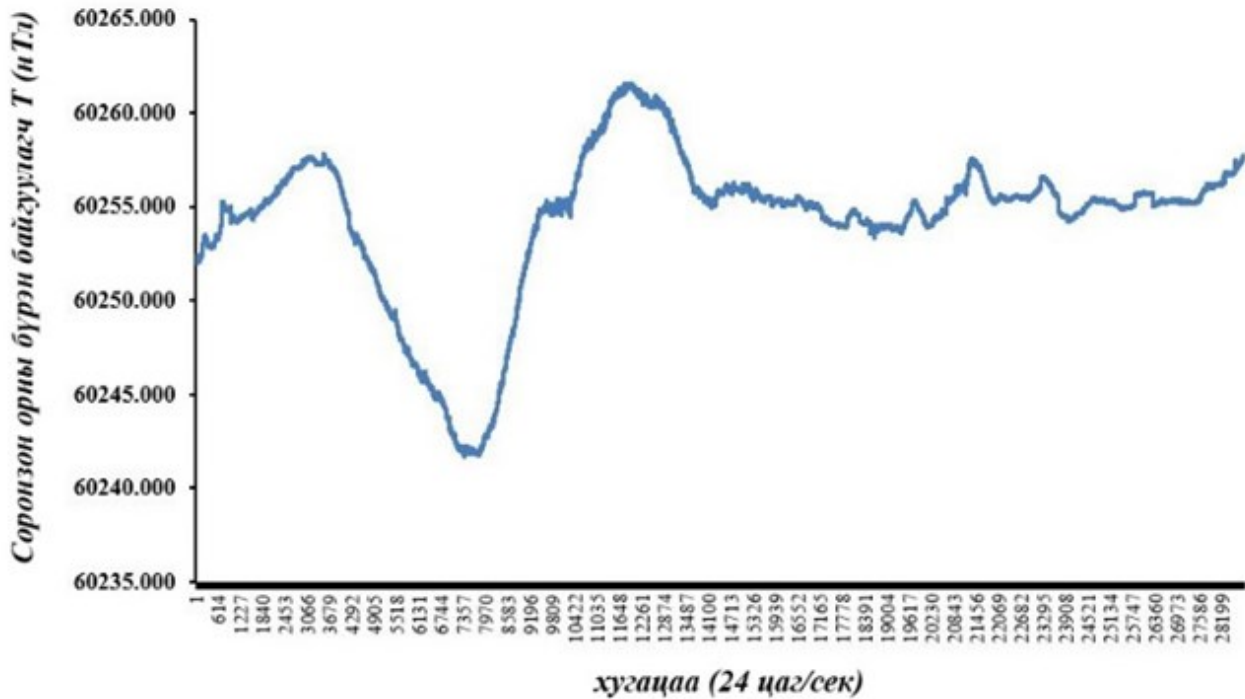


Зураг 7. Magdas-9 станцын мэдээллээр соронзон орны элементүүдийг 2021 оны 9-р сарын 04-ний өдрийн хоногийн хувьслыг олон улсын цагаар гаргасан байдал

Скаляр соронзон өгөгдөл ба POS-1 (Протон магнитометр) станц

2003-2012 он хүртэл RMP-5 протон магнетометрээр F элементийг хэмжиж байсан бол 2012 оноос хойш POS-1 автомат

станцаар тасралтгүй бүртгэж байна. Хоногт 3 секундын давтамжтайгаар 28800 утга, жилийн хугацаанд 10512000 утга бүртгэж байна. Энэ станцын утгыг абсолют хэмжилтэнд авч ашиглаж байна (Зураг 8).



Зураг 8. Протон магнитометрийн станцын 2021 оны 3-р сарын 09-ний өдрийн соронзон орны бүрэн байгуулагч T-ийн утгыг бичсэн байдал.

Үнэмлэхүй хэмжилтийн өгөгдөл

Ховд салбарынхан соронзон орны утгыг тодорхойлох үнэмлэхүй (абсолют) утгын хэмжилтийг 7 хоногт 2 удаа хийж байна. Өвлийн улиралд цаг агаарын байдлаас шалтгаалаад хийгддэггүй.

2008-2022 онд абсолют хэмжилтийн

нийт 1000 гаруй удаагийн утгыг бүрдүүлсэн.

Абсолют хэмжилтийн  $D, I, F$  гурван байгуулагч мэдэгдэж байвал бусад  $H, X, Y, Z$  байгуулагчуудын утгыг олж болно. Жишээ болгож хэмжилтийн үр дүнгийн хэсгээс хүснэгт байдлаар оруулав (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Абсолют хэмжилтийн үр дүнгээр Соронзон орны элементүүдийн үнэмлэхүй утгыг тодорхойлсон байдлыг харуулсан нь

2021 он	Хэмжсэн цаг	Хэмжилтийн үр дүн									Бодсон үр дүн			
		D			I			T	H	X	Y	Z		
20210322	03:40-03:50	3	12	46	3.2128	68	36	47	68.6131	60246.63	21969.815	21935.284	1231.280	56097.983
	3:53-04:02	3	12	59	3.2164	68	36	49	68.6136	60245.641	21968.910	21934.304	1232.612	56097.275
	04:04-04:12	3	12	39	3.2108	68	37	0	68.6167	60243.559	21965.159	21930.678	1230.275	56096.508
20210331	06:23-06:32	3	7	57	3.1325	68	36	57	68.6158	60237.039	21963.598	21930.781	1200.205	56090.117
	06:34-06:44	3	7	32	3.1256	68	36	53	68.6147	60238.052	21965.055	21932.381	1197.627	56090.634
	06:46-06:55	3	7	38	3.1272	68	36	59	68.6164	60238.651	21963.642	21930.935	1198.188	56091.831
20210402	03:50-03:57	3	12	40	3.2111	68	36	14	68.6039	60254.231	21981.562	21947.049	1231.300	56101.544
	03:59-04:06	3	12	25	3.2069	68	36	18	68.6050	60252.968	21980.014	21945.593	1229.617	56100.795
	04:08-04:15	3	12	7	3.2019	68	36	3	68.6008	60251.361	21983.507	21949.188	1227.897	56097.700
20210405	04:21-04:28	3	11	5	3.1847	68	35	42	68.5950	60249.27	21988.455	21954.496	1221.575	56093.515
	04:31-04:37	3	11	9	3.1858	68	35	41	68.5947	60249.099	21988.665	21954.682	1222.012	56093.249
	04:39-04:47	3	10	29	3.1747	68	35	30	68.5917	60249.069	21991.645	21957.894	1217.919	56092.048

ҮР ДҮН

Хоногийн хувьсал

Соронзон орны бичлэгээс харахад зарим өдөр соронзон орон буснил багатай аажим үелсэн байдалтай байхад зарим өдөр далайц, үе нь огцом өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагддаг. Эхний хувьслыг нь тайван хувьсал гэж нэрлэх ба дараагийнхийг нь соронзон буснил гэж нэрлэдэг. Тайван хувьсалд 24, 12 цагийн үетэй хоногийн хувьсал, 12.4 цагийн үетэй сарны хоногийн хувьсал, жилийн хувьслууд багтдаг.

Соронзон оргилуудад байрлуулсан багажууд нь дэлхийн соронзон орны харьцангуй өөрчлөлтийг бүртгэж байдаг. Ихэвчлэн соронзон орны  $H, D, Z$  байгуулагчуудыг бүртгэдэг.

Соронзон оргилд дахь станцуудын бичлэг дэлхийн цагаар (UT) хийгдэх ба хоногийн хувьсалыг судлахад орон нутгийн (LT) цагийг ашиглах шаардлагатай байдаг. Ийм учраас UT цагаас доорх илэрхийлэл ашиглан LT цагруу шилждэг.

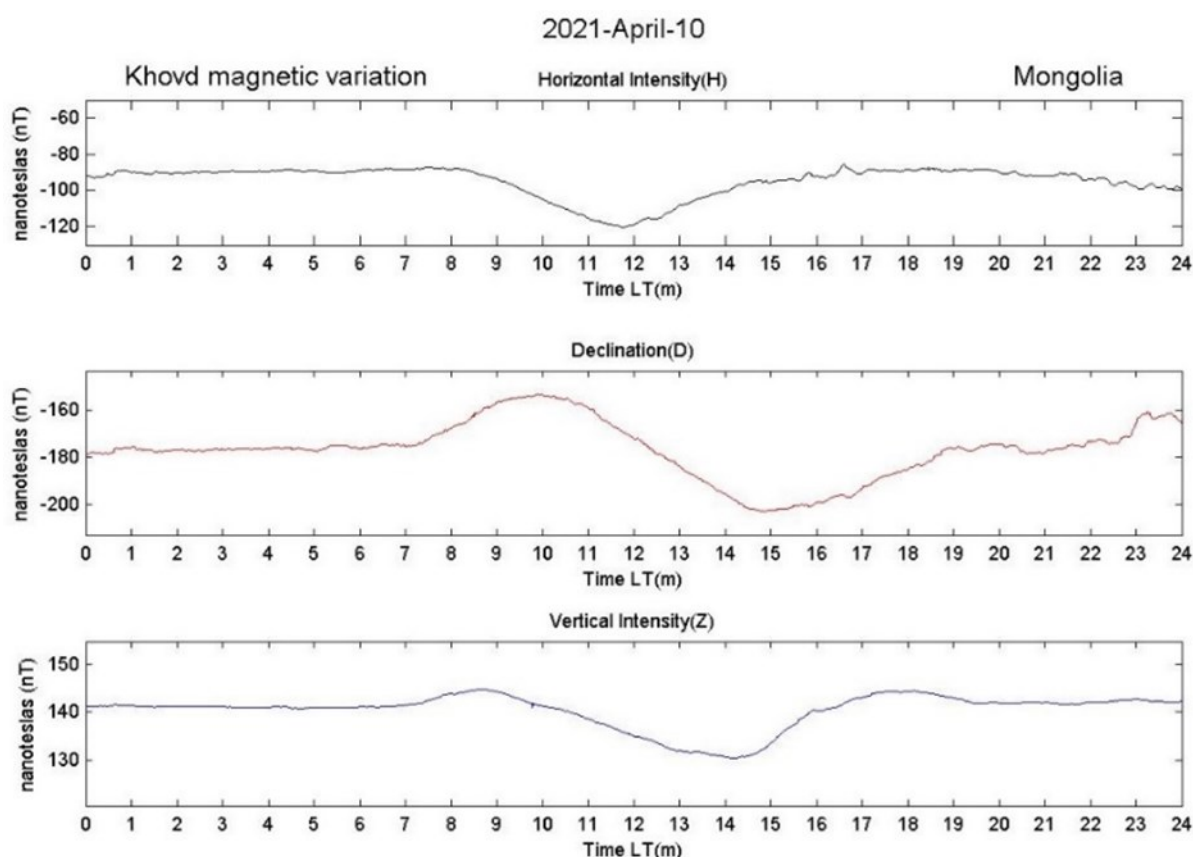
$$LT=UT-[(\lambda/15)-D] \tag{11}$$

Энд:  $\lambda$ -тухайн цэгийн уртрагийн утга,  $D$ - дискрет цаг.

Жишээ болгож Ховд соронзон вариацийн станцад бичигдсэн 2021 оны 04-р сарын 10-ны тайван өдрийн хоногийн өөрчлөлт (магнитограмм)-ийг харуулав (Зураг 9).

Орон нутгийн цагаар ялгасан соронзон байгуулагчуудын хоногийн өөрчлөлт өдрийн цагуудад хамгийн их, бага, шөнийн цагт бараг өөрчлөгдөхгүй байгааг зургаас харж болно. Ер нь өдрийн цагийн өөрчлөлт нь дэлхийн E-давхаргад нартай холбоотой үүсэж байгаа гүйдлийн системтэй холбоотой юм.

Хоног бүрийн дундаж утгыг цаг бүрийн нь утгаас хасаж хоногийн явц буюу хоногийн хувьслыг гарган авч болно. Хоногийн хувьслын нэг онцлог нь соронзон орны идэвхжлээс ихээхэн хамаардаг. Ийм учраас нарны хоногийн



Зураг 9. Ховд соронзон вариацийн станцад бичигдсэн 2021 оны 04-р сарын 10-ны тайван өдрийн хоногийн өөрчлөлт (магнитограмм)

хувьслыг хоногийн тайван хувьсал ( $S_q$ ), хоногийн бусниун хувьсал ( $S_d$ ) гэж ялган судалдаг.

Хоногийн тайван хувьслыг олон улсаас зарладаг тухайн сарын 5 тайван өдрийн дунджаар тодорхойлдог, хоногийн бусниун хувьслыг мөн олон улсаас зарладаг 5 буснилтай өдрүүдийн дунджаар тодорхойлдог (А.Д.Шевнин, 1988).

Улирлыг тооцохдоо соронзон орны судалгаанд өргөн хэрэглэдэг Ллойдын 3 улирал буюу 11, 12, 1, 2-р саруудыг өвлийн, 3, 4, 9, 10 -р саруудыг тэнцлийн (хавар, намрын), 5, 6, 7, 8-р саруудыг зуны сар гэж авч үзсэн (А.Д.Шевнин, 1988). 2021 оны сар бүрийн хамгийн тайван, хамгийн бусниун өдрүүдийн Олон улсаас зарласан жагсаалтыг доорх (Хүснэгт 5)-д харуулав.

Дээрх хүснэгтийн хүрээнд Ховд соронзон оргилын мэдээллээс өвлийн, тэнцэл (Хавар, намар)-ийн, зуны улирлын 5

тайван өдрийг ялгаж Ховд соронзон оргилын хувьд соронзон орны хэвтээ байгуулагч  $H$ -ийн хоногийн тайван хувьсал ( $S_q$ )-ыг орон нутгийн цагаар гаргалаа (Зураг 10).

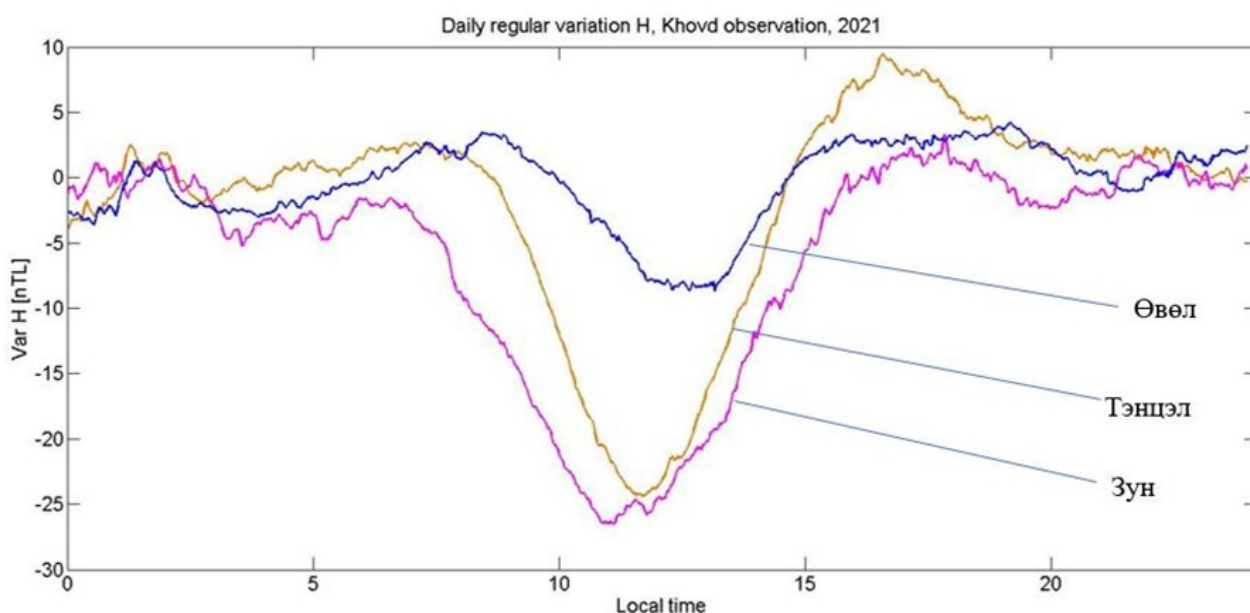
Үр дүнгээс харахад соронзон орны хэвтээ байгуулагч  $H$ -ийн хоногийн тайван хувьслын далайц нь өвлийн улиралд 10 орчим нТл, зуны улиралд 25-30нТл орчимд эрчимжсэн нь харагдаж байна. Харин хавар, намрын тэнцлийн үед 32-34нТл хүрсэн нь харагдаж байна.

Үүнээс гадна, хоногийн хувьслын минимум утга нь зун эрт, өвөл оройтож ажиглагдаж байгаа нь нар мандалтын цагийн зөрүүтэй холбоотой юм.



Хүснэгт 5. Олон улсаас зарласан 2021 оны тайван, бусниун өдрүүдийн жагсаалт

Season	Month	Year	Quietest Days /Тайван өдрүүд/										Most Disturbed Days /Бусниун өдрүүд/				
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	D1	D2	D3	D4	D5
Winter	Jan	2021	2	3	14	8	31	30	4	21	17	9	25*	11*	26*	6*	27*
	Feb	2021	11	10	27	9	14	18	15	1	5	28	20	21	24*	7*	22*
	Nov	2021	13	26	14	12	11	24	27K	19	25	18	4	2*	6*	3*	16*
	Dec	2021	9	10	17	26	12	18	8	31	23	7	1*	20*	19*	27*	22*
Spring, autumn	Mar	2021	10	16	9	29	30	11	18	17	5	8K	20	14	1	21	3*
	Apr	2021	6	28	4	3	9	8	29	10	5	12	17	16*	19*	25*	18*
	Sept	2021	26	19	20	16	2	9	1	29	4	15	17	8*	22*	23*	28*
	Oct	2021	28	27	29	7	23	22	24	8	9	25	12	11*	31*	1*	19*
Summer	May	2021	5	28	31	24	7	25	11	9	8	6	12	20	27*	26*	18*
	June	2021	1	28	27	9	19	26	21	14	23	4	15*	16*	30*	7*	12*
	July	2021	25	4	23	24	26	11	17	8	16	3	14*	28*	20*	15*	22*
	Aug	2021	5	23	22	14	1	21	9	12	19	8	27	28*	2*	7*	3*



Зураг 10. Ховд соронзон оргилын хувьд соронзон орны хэвтээ байгуулагч H-ийн хоногийн тайван хувьсал (Sq)-ыг орон нутгийн цагаар гаргасан байдал

**Соронзон буснил**

Дэлхийн соронзон оронд аажим үелсэн хувьслын зэрэгцээ өдөр болгон ажиглагддаггүй ч зарим үед үет бус, эмх замбараагүй мэт өөрчлөлт болж байдаг. Үүнийг соронзон буснил гэж нэрлэдэг. Соронзон буснил нь далайц, үргэлжлэх хугацаа, үүссэн газар зүйн байрлал зэргээрээ янз бүр байдаг. Хүчтэй буснилыг соронзон шуурга гэж нэрлэх ба дотор нь сул, бага, дундаж, их, асар их хүчтэй гэж ангилдаг.

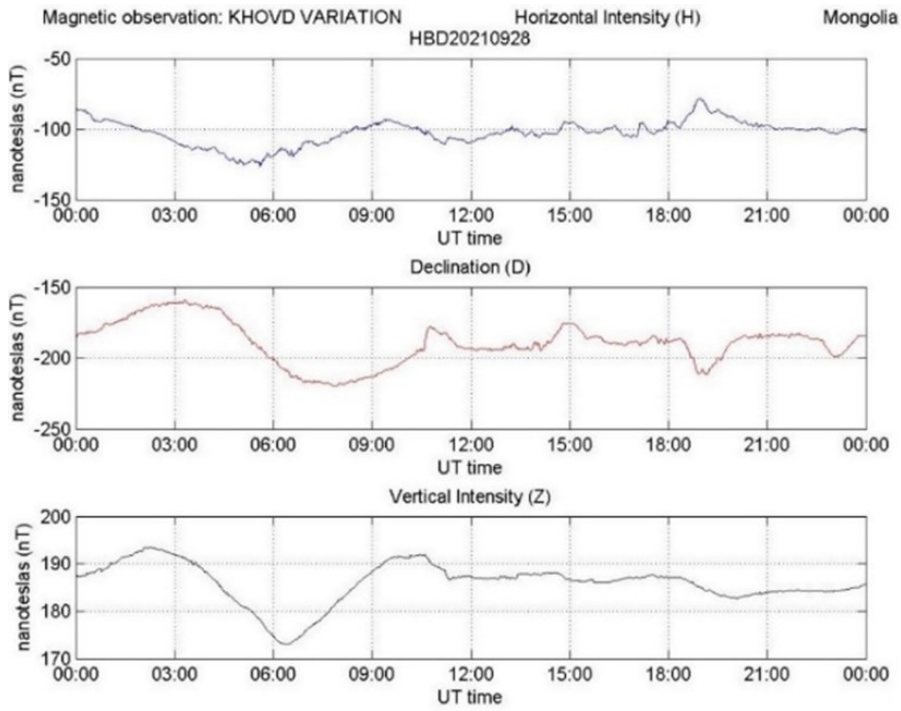
Соронзон идэвхжил өндөр байх үе нь нарны плазмын урсгал (нарны салхи)

дэлхийн соронзон мандалтай харилцан үйлчлэлцсэний улмаас үүсэх бүх дэлхийг хамарсан соронзон шуурганы үед тохиолддог.

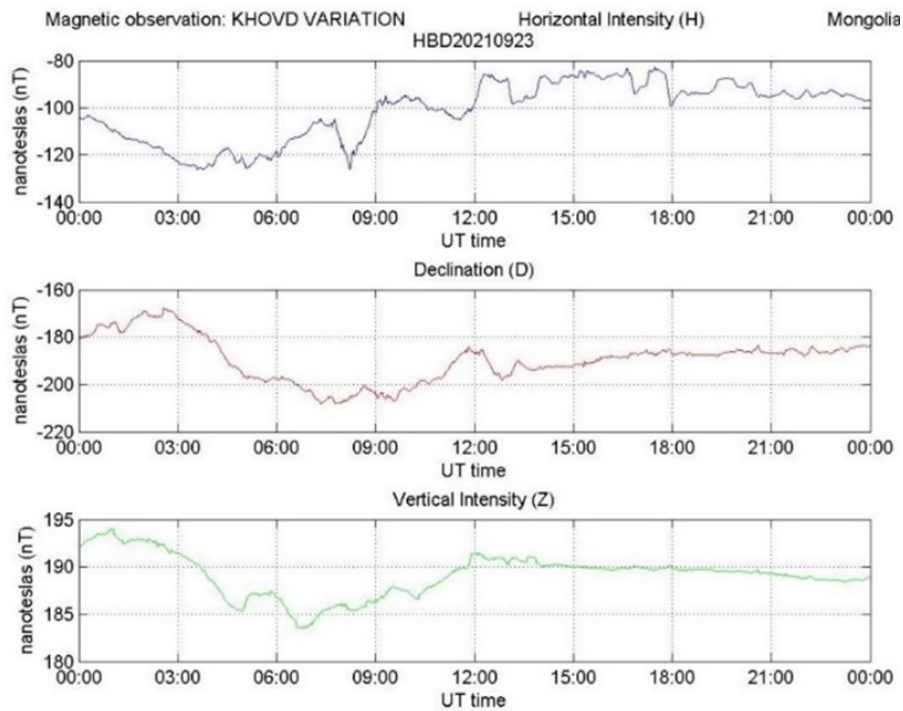
Соронзон шуурганы онцлог шинж нь соронзон орон өөрчлөгдөх давтамж ба далайц нь цаг хугацаа, орон зайгаас хамаарч дэлхийг хамарсан шинжтэй байхын зэрэгцээ орон нутгийн онцлогтой байдаг.

Соронзон оргилууд ажиглагдсан соронзон шуурганы эхэлсэн дууссан хугацаа, соронзон орны байгуулагчуудын максимум өөрчлөлтийн хэмжээ, үргэлжилсэн хугацаа, идэвхтэй үе зэрэг





Зураг 11. 2021 оны 9-р сарын 28-ны бусниун өдрийн магнитометр



Зураг 12. 2021 оны 9-р сарын 23-ны бусниун өдрийн магнитометр

үзүүлэлтүүдийг багтаасан соронзон шуурганы жагсаалт (каталог) гаргадаг бөгөөд Олон улсаас 2021 онд нийтдээ 60 бусниун өдрийн жагсаалтыг гаргасан (Хүснэгт 5). Буснил бага үед соронзон орны бичлэг дээр хоногийн хувьсал ялгарч харагддаг бол буснилтай үед түүнийг ялгаж харах нь хэцүү болдог ба их

буснилтай үед бараг харагдахаа болдог.

Олон улсаас зарладаг тухайн жилийн бусниун өдрийн жагсаалт (хүснэгт 6)-аас сонгож авсан бусниун өдрийн өөрчлөлтийг Ховд соронзон оргилын станцад бичигдсэн байдлыг тус тус харуулав. (Зураг 11, Зураг 12).

График 5-аас харахад хоногийн

хувьслын явц сулавтар боловч ажиглагддаг байхад (Зураг 12)-д хоногийн хувьслын явц ажиглагдах боломжгүй харагдаж байна.

*Соронзон орны байгуулагчуудын үндсэн шугамын утгыг тодорхойлох*

Ховд соронзон оргилын соронзон орны байгуулагчуудын үндсэн шугамын утгыг доорх 2 арга зүйгээр тодорхойлсон.

*Харьцуулалтын арга зүйгээр тодорхойлох*

Үндсэн шугам буюу суурь утгыг  $H_0$  – оор, ажигласан утгыг  $H_a$ -аар тус тус тэмдэглэвэл доорхи илэрхийллийг бичиж болно.

$$H_0 = H_a - \delta H \quad (12)$$

Энд  $\delta H$ -нь тухайн үнэмлэхүй утгын хэмжилт хийх үеийн вариацийн утга.

Вариацийн утгыг соронзон орны утганд шилжүүлэхэд тухайн багажны мэдрэх чадвар чухал ач холбогдолтой байдаг. Мэдрэх чадварыг (Хүснэгт 3)-д байгаа утгыг ашигласан болно.

Энэ үр дүнг гаргахдаа Ховд соронзон

оргилын богино үет хувьслыг хэмжигч MAGDAS-9 станцын 2021 оны 9-р сарын 6-ны өдрийн UTC 03:15-04:45 цагийн хоорондох мэдээллийг минутын утганд шилжүүлсэн 100 үнэмлэхүй утгаас вариацийн станцын мөн дээрх цагт харгалзах вариацийн 100 утгыг хасаж Соронзон орны хэвтээ байгуулагч Н, хазайлт D, босоо байгуулагч Z тус бүрийн үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсон.

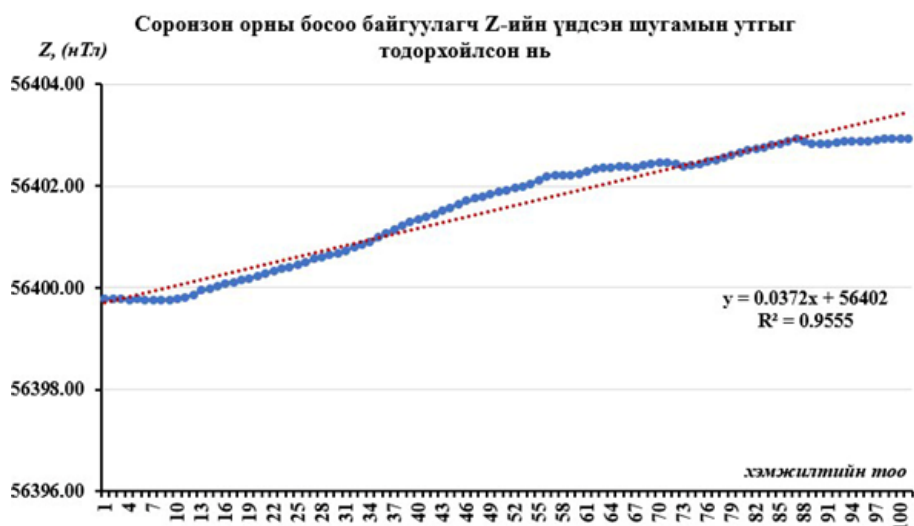
(Зураг 13)-д хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хэмжилтийн тоо, босоо тэнхлэгийн дагуу соронзон орны хэвтээ байгуулагч Н-ийн үндсэн шугамын утгыг тус тус авч соронзон орны хэвтээ байгуулагчийн үндсэн шугамын утгын хамаарлыг харуулав. Ингэхдээ соронзон орны хэвтээ байгуулагчийн үндсэн шугамын утгыг квадрат хамаарлаар дөхөх аргыг хэрэглэж тодорхойлоход Н-ийн үндсэн шугамын утга 22056нТл гарсан. Энд температурын засвар хийгдээгүй бөгөөд графикаас харахад температурын өөрчлөлт харьцангуй бага байна.



Зураг 13. Magdas ба вариацийн станцын мэдээллийг харьцуулан тодорхойлсон соронзон орны хэвтээ байгуулагч Н-ийн үндсэн шугамын утга ба хэмжилтийн утга хоёрын хамаарлын график



Зураг 14. Magdas ба вариацийн станцын мэдээллийг харьцуулан тодорхойлсон соронзон орны хазайлтын өнцөг D-ийн үндсэн шугамын утга ба хэмжилтийн утга хоорондын хамаарал



Зураг 15. Magdas ба вариацийн станцын мэдээллийг харьцуулан тодорхойлсон соронзон орны босоо байгуулагч Z-ийн үндсэн шугамын утга ба хэмжилтийн утга хоорондын хамаарал

Мөн дээрх арга зүйгээр соронзон орны хазайлт өнцөг D-ийн үндсэн шугамын утга 3.5979, босоо байгуулагч Z-ийн үндсэн шугамын утга 56402нТл тус тус гарсан. (Зураг 14, Зураг 15).

Графикаас харахад соронзон хазайлтын утга температурын өөрчлөлтөөс хамаарч бага зэрэг өөрчлөгдсөн байна. Цаашид температурын өөрчлөлтийг тооцооло нь чухал байна.

Зураг 16-аас харахад соронзон босоо байгуулагчийн вариацийн утга мөн л

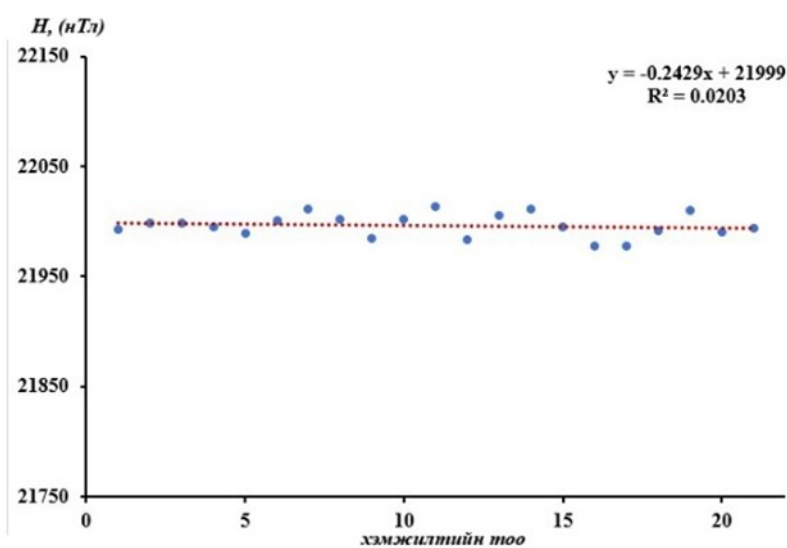
температурын өөрчлөлтөөс хамаарч өөрчлөгдсөн байна.

*Абсолют хэмжилтийн аргаар тодорхойлох*

Ховд салбарын ажилтнууд соронзон орны абсолют хэмжилтийг 2021 онд 67 удаа хийж гүйцэтгэсэн байна. Энэ нь вариацийн станцын 5 секундын 8000 гаруй удаагийн хэмжилтийн үр дүнтэй тэнцэж байна.

Соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг гаргахдаа абсолют

хэмжилтийн бодсон утгаас тухайн өдрийн харгалзах вариацийн утгыг хасаж тооцсон.

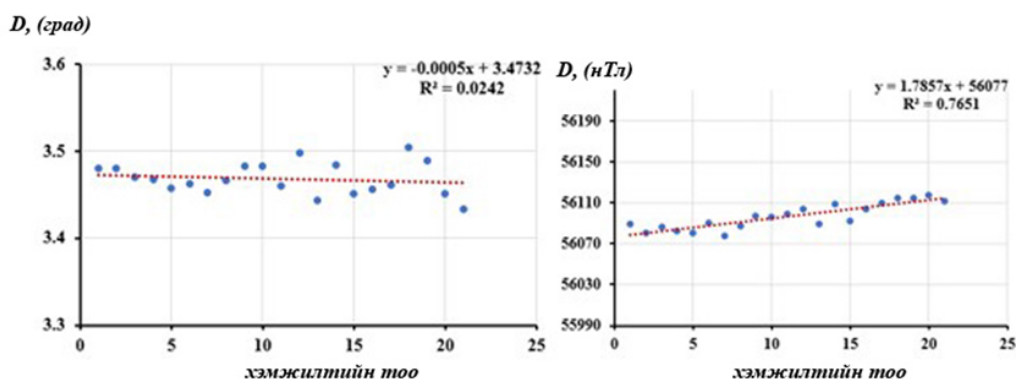


Зураг 16. Соронзон орны хэвтээ байгуулагчийн үндсэн шугамын утга ба хэмжилтийн тооны хамаарал

Энэ удаад 2021 оны 22 удаагийн абсолют хэмжилт хийсэн тухайн өдрийн үндсэн шугамын утгыг гаргасан. Өдөр бүрийн гаргасан үндсэн шугамын утгын зөрүү хамгийн ихдээ 20-30нТл байсан учир нь энэ утгыг бараг тогтмол гэж авч үзэж болохоор байна. Соронзон орны хэвтээ байгуулагчийн үндсэн шугамын утгыг шулууны дундаж хамаарлаар тодорхойлоход Н-ийн үндсэн шугамын утга 21999нТл гарсан (Зураг 17).

Хүснэгт 7-оос дүгнэхэд алдааны зөрүү нь температурын өөрчлөлт, багажийн хувийн алдаа, хэмжилтийн алдаа, станцуудын байршлалын зөрөө зэргээс хамаарсан өөрчлөлтүүд нөлөөлсөн байж болох талтай. Гэхдээ зөрүү харьцангуй

бага түвшинд байгаа учраас температурын өөрчлөлтийн засалт хийчихвэл боловсруулалтанд ашиглах боломжтой гэж үзэж байна. Дээрх арга зүйгээр Соронзон орны үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсноор вариацийн станцын мэдээлэл боловсруулалтанд тооцож соронзон орны бүх байгуулагчуудын үнэмлэхүй утгыг гаргах бүрэн боломжтой болж байна. Эдгээр үр дүнг MAGDAS-9 станц болон абсолют хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулах аргаар бидний гаргасан үндсэн шугамын утга хэр бодитойг харж болох юм (Хүснэгт 8). Ингэснээр цаашид геосоронзон судлалд ашиглахад суурь судалгааны чухал баримт болох юм.



Зураг 17. Соронзон орны хазайлт, босоо байгуулагчийн үндсэн шугамын утга ба хэмжилтийн тооны хамаарал

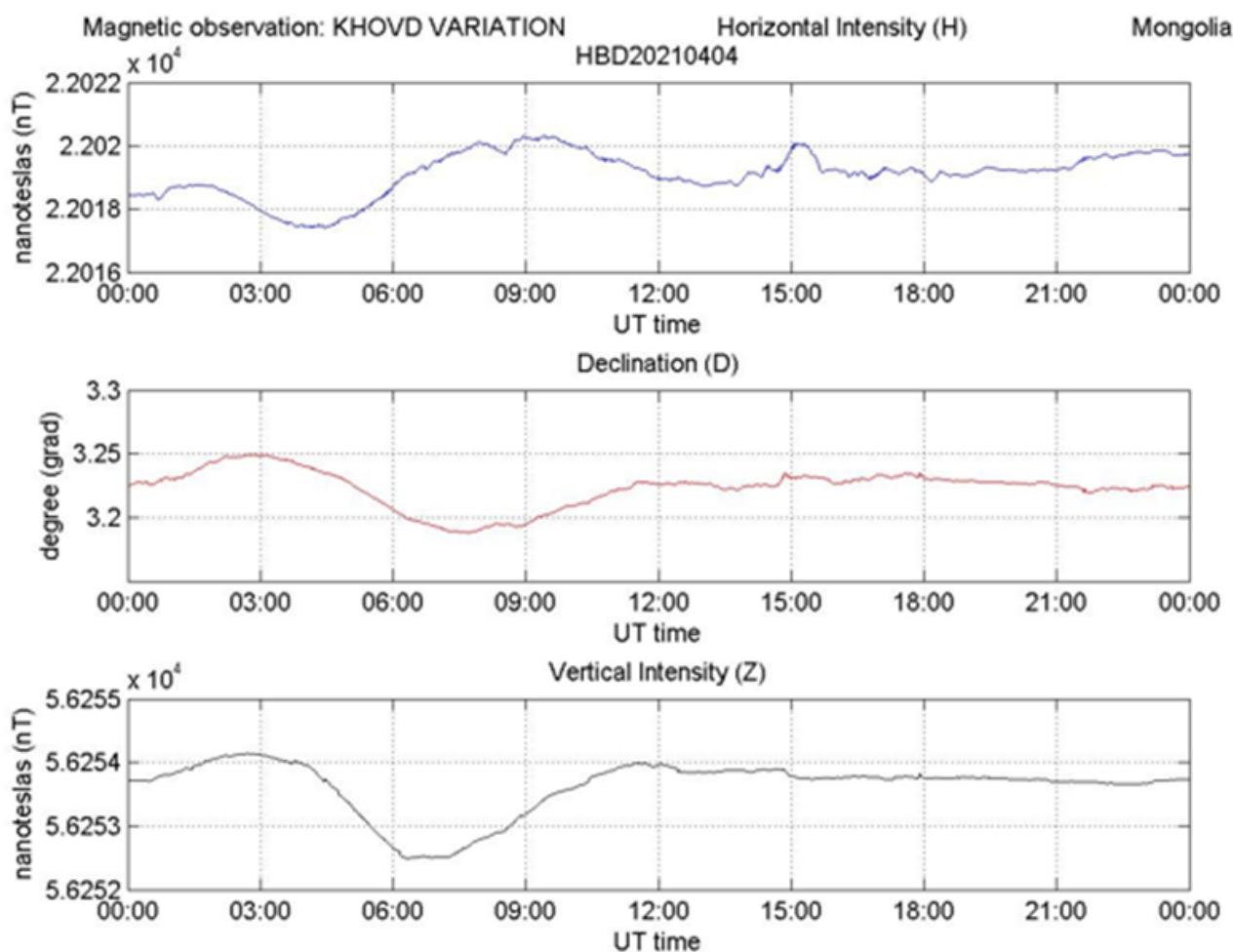


Хүснэгт 6. 2 аргаар тодорхойлсон үр дүнг нэгтгэж дундаж үр дүнг гаргасан нь

Арга зүй	H, нТл	D, град	Z, нТл
MAGDAS-9 станцын мэдээлэлтэй харьцуулах аргаар тодорхойлсон үндсэн шугамын утга	22056	3.5979	56402
Абсолют хэмжилтийн аргаар гаргасан үндсэн шугамын утга	21999	3.473	56077
Зөрүү	57	0.124	321
<b>ДУНДЖААР</b>	<b>22028</b>	<b>3.535</b>	<b>56240</b>

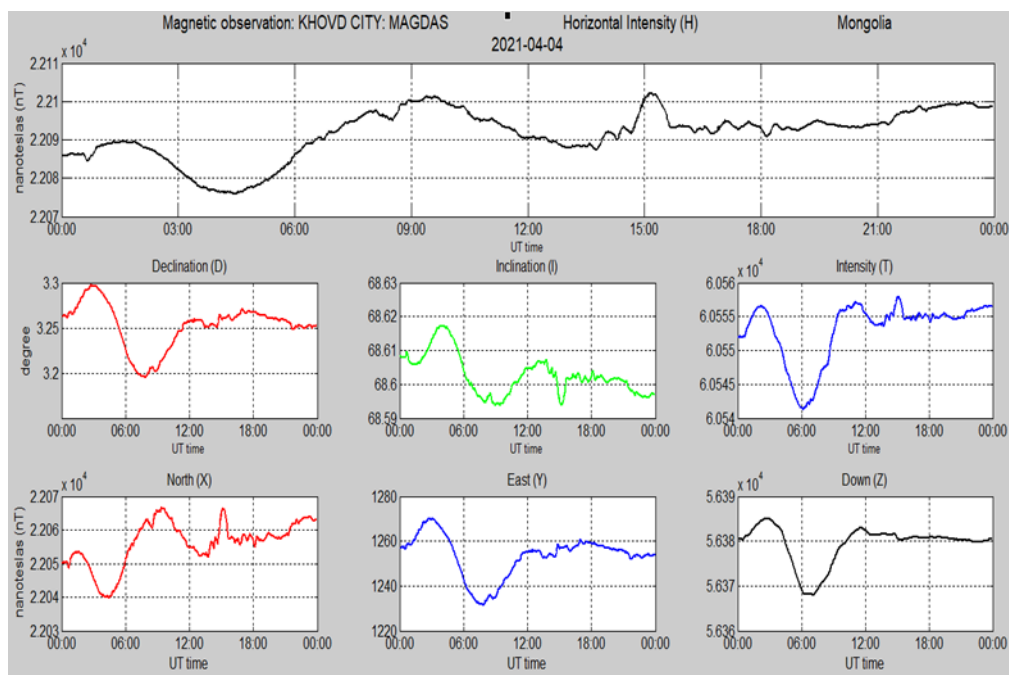
Хүснэгт 8-д вариацийн станцын мэдээлэл үндсэн шугамын утгыг тооцон соронзон орны бүх байгуулагчуудын үнэмлэхүй утгыг гаргасан үр дүнг тухайн өдрийн MAGDAS-9 станц болон абсолют хэмжилтийн үр дүнтэй харьцуулсан байдлыг үзүүлэв. Дээрх үр дүнгээр жишээ болгож вариацийн станцын 2021 оны 4-р сарын 04-ний өдрийн хоногийн хувьслыг

зурж MAGDAS-9 станцын үр дүнтэй харьцуулж үзсэн үр дүнг (Зураг 18, Зураг 19). Эндээс дүгнэхэд вариацийн станцын утга дээр үндсэн шугамын утгыг тооцож гаргасан үр дүн нь үнэмлэхүй утга бичдэг MAGDAS-9 станцын үр дүнгээр гаргасан бичлэгтэй тохирч байгаа нь харагдаж байна.



Зураг 18. Вариацийн станцын 3 байгуулагчийн утга дээр үндсэн шугамын утгыг тооцон үнэмлэхүй утга гаргасан үр дүнгээр Олон улсын цагаар хоногийн хувьсал харуулсан байдал

(2021 оны 4-р сарын 04-ний мэдээлэл)



Зураг 19. MAGDAS-9 станцын бичдэг соронзон орны бүх байгуулагчуудын үнэмлэхүй утгаар Олон улсын цагаар хоногийн хувьсал гаргасан үр дүн. (2021 оны 4-р сарын 04-ний мэдээлэл)

## ДҮГНЭЛТ

Ховд соронзон оргилын Вариацийн станцын 2008-2022 он, богино үет хувьслыг хэмжигч MAGDAS-9-ын 2011-2022 он, Үнэмлэхүй /абсолют/ хэмжилтийн 2003-2022 он, багажийн мэдрэх чадварыг тодорхойлох хэмжилтийн 2008-2022 он тус бүрийн мэдээллийг нэгтгэн боловсруулж, станц бүрийн мэдээллийг нэг загварын дагуу бэлтгэсэн бөгөөд энэхүү судалгаанд 2021 оны мэдээлэлд боловсруулалт хийсэн үр дүнг оруулсан. Ховд соронзон оргилын соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг доорх 2 арга зүйгээр тодорхойлов. Үүнд:

*Харьцуулалтын арга зүйгээр тодорхойлох*

Ховд соронзон оргилын богино үет хувьслыг хэмжигч MAGDAS-9 станцын 2021 оны 9-р сарын 6-ны өдрийн UTC 03:15-04:45 цагийн хоорондох мэдээллийг минутын утганд шилжүүлсэн 100 үнэмлэхүй утгаас вариацийн станцын мөн дээрх цагт харгалзах вариацийн 100 утгыг хасаж соронзон орны хэвтээ байгуулагч

H, хазайлт D, босоо байгуулагч Z тус бүрийн үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсон. Энэ арга зүйгээр соронзон орны хэвтээ байгуулагч H-ийн үндсэн шугамын утга 22056нТл, соронзон орны хазайлт өнцөг D-ийн үндсэн шугамын утга 3.5970, босоо байгуулагч Z-ийн үндсэн шугамын утга 56402нТл тус тус гарсан.

*Абсолют хэмжилтийн аргаар тодорхойлох*

Ховд салбарын ажилтнууд соронзон орны абсолют хэмжилтийг 2021 онд 67 удаа хийж гүйцэтгэсэн байна. Энэ нь вариацийн станцын 5 секундын 8000 гаруй удаагийн хэмжилтийн үр дүнтэй тэнцэж байна. Соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг гаргахдаа абсолют хэмжилтийн бодсон утгаас тухайн өдрийн харгалзах вариацийн утгыг хасаж тооцсон. Энэ удаад 2021 оны 22 удаагийн абсолют хэмжилт хийсэн тухайн өдрийн үндсэн шугамын утгыг гаргасан. Өдөр бүрийн гаргасан үндсэн шугамын утгын зөрүү хамгийн ихдээ 20-30нТл байсан учир нь энэ утгыг бараг тогтмол гэж авч үзэж

байна. Соронзон орны хэвтээ байгуулагчийн үндсэн шугамын утгыг шулууны дундаж хамаарлаар тодорхойлоход Н-ийн үндсэн шугамын утга 21999нТл, хазайлтын өнцгийн үндсэн шугамын утга 3.4730, босоо байгуулагчийн үндсэн шугамын утга 56077нТл тус тус гарсан. Дээрх 2 арга зүйгээр тодорхойлсон үр дүнг харьцуулахад Н-ийн хувьд хоорондын үндсэн шугамын утгууд нь 57нТл-өөр зөрүүтэй байгаа нь хэмжилтийн алдаа, багажийн байршлын хоорондох зай, багажийн хувийн алдаа, мөн температурын засвар хийгдээгүй зэргээс шалтгаалсан гэж үзэж байна. Тиймээс дээрх аргуудын үр дүнгийн дундажаар үндсэн шугамын утгыг

харгалзан гаргахад соронзон орны хэвтээ байгуулагч Н-ийн үндсэн шугамын утга 22028нТл, соронзон орны хазайлт өнцөг D-ийн үндсэн шугамын утга 3.5350, босоо байгуулагч Z-ийн үндсэн шугамын утга 56240нТл тус тус тодорхойлогдсон. (Хүснэгт 7). Ийнхүү соронзон орны үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсноор вариацийн станцын мэдээлэл боловсруулалтанд тооцож соронзон орны бүх байгуулагчуудын үнэмлэхүй утгыг гаргах бүрэн боломжтой болж байна. Ингэснээр цаашид геосоронзон судлалд ашиглахад суурь судалгааны чухал баримт болох юм.

## **ТАЛАРХАЛ**

Соронзон орны абсолют хэмжилтийг 7 хоногийн 2 өдөр хийхэд бичилт хийж өгдөг Ховд салбарын ЭША-даа талархал илэрхийлье.

## **НОМЗҮЙ**

Yumoto.K. (2009). "MAGDAS Project for Litho-Space Weather during ISWI". Fukuoka, Japan: Space Environment Research Center, Kyushu University, Fukuoka, 812-8581.

А.Д.Шевнин, В. Г. (1988). Переменное магнитное поле на территории МНР. М.: Наука.

А.Нишида. (1980). "Геомагнитный диагноз магнитосферы". Москва.

Б.М.Яновский. (1978). "Земной магнетизм". Москва, Ленинградского университета.

Г.Аюушжав, И. Ч. (1982г). "Геомагнитное поле Монголии". Москва: Наука.

Д.Лхагвадорж. (2010). "Соронзон хайгуул". Улаанбаатар: ШУТИС-ийн Геологи газрын тосны сургууль, 28-41.

Пухальский.Г.И. (1990). Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах. Москва.

У.Паркинсон. (1986). Введение в Геомагнетизм. Москва.

Ү.Сүхбаатар. (2009). Эрдэм шинжилгээний тайлан "Геосоронзон 2005-2007". Улаанбаатар: ООГфС-ны төвийн фонд, 3-9.

Ү.Сүхбаатар. (2010). Эрдэм шинжилгээний тайлан "Геосоронзон 2008-2010". анбаатар.

Ү.Сүхбаатар, д. (. (2010). Онолын суурь судалгааны "Геосоронзон " сэдвийн эрдэм шинжилгээний тайлан (2008-2010). Улаанбаатар: ООГфС төв.

## ХАВСРАЛТ

Соронзон орны үнэмлэхүй хэмжилт нь дэлхийн соронзон орны байгуулагчдын эриний хувьслыг тодорхойлох, соронзон оргилуудын вариацийн станцуудын хэвийн ажиллагааг хянах, тухайн цэг ба нутаг оронд соронзон орны утгыг тодорхойлох зорилгоор хийгддэг. Соронзон оронг хэмжих болсон энэ 200 гаруй жилд хэмжих багаж төхөөрөмжөөс өгсүүлээд арга зүйн хувьд асар их өөрчлөлт гарсан. Соронзон зүү (компас), Гауссын соронзын ганхалтыг хэмжих аргаас электрон аргаар хэмжих хүртэл их замыг туулсан байдаг. Өнөөдөр соронзон орны үнэмлэхүй утгыг протон магнитометр, хазайлт, бөхийлтийн өнцгийг DI-магнитометр болон хэвтээ байгуулагч, хазайлтын өнцгийг кварцан магнитометр-QNM ашиглан хэмжиж байна (Д.Лхагвадорж, 2010).

### Хэмжилтийн багаж төхөөрөмж

Ховд салбарт Соронзон орны утгыг тодорхойлох үнэмлэхүй (абсолют) хэмжилтийг 2002 оноос хойш тогтмол хийж ирсэн.

- 2002-2008 он хүртэл ферросоронзон хэмжигч буюу DI-магнитометрийг соронзон хазайлтын өнцөг (D), бөхийлтийн өнцгийг (I) хэмжихэд хэрэглэж байв (Зураг 20а). Ийм хэмжигч нь соронзгүй эд хэсгээс бүрдсэн астрономын теодолит, түүний дуран дээр байрлуулсан ферросоронзон мэдрэгч (феррозонд-fluxgate)-ээс тогтоно.
- 2008-2014 онд Украин улсад үйлдвэрлэсэн өндөр нарийвчлалтай 2Т30П теодолит дээр суурилуулсан LEMI-204 багажийг ашиглаж байв (Зураг 20б, Зураг 20г).
- 2014 оноос хойш Украин улсад үйлдвэрлэсэн 3Т2КП теодолит бүхий 1 секундын нарийвчлалтай багажийг ашиглаж байна (Зураг 20в).
- Абсолют хэмжилтийн үед хийгддэг протоны хэмжилтэнд 2002-2012 онд Польшийн Геофизикийн хүрээлэнд

хийсэн RMP-5 протоны магнитометрийг ашиглаж байсан бөгөөд 2012 оноос хойш POS-1 станцын мэдээллийг авдаг болсон.



Зураг\_20 а). ферросоронзон хэмжигч, б), г). Теодолит 2Т30П ба LEMI-204, в). Теодолит 3Т2КП (1секундын алдаатай)

### Хэмжилтийн mark буюу содон цэг

Содон цэг гэдэг нь абсолют хэмжилийн үед соронзон орны хойд зүг ба газар зүйн хойд зүгийн хоорондох азимутыг тодорхойлохоор сонгон авсан тусгайлсан цэгийг хэлнэ.

- 2003-2012 онд Ховд соронзон оргилын абсолют хэмжилтийн байрнаас өмнө зүгт 10-аад км зайд орших Баатархайрхан уулын орой дээрх баганыг содон цэгээр авч хэмжилт хийж байсан. Тэрхүү цэгийн азимут нь  $208^{\circ}08'45''$ .
- 2012 оноос хойш хэмжилтийн цэгээс хойт зүгт 300м зайд байрлах тусгайлан босгосон тэмдэг бүхий модон шонг содон цэгээр авч хэмжилт хийж байна. Содон цэгийн азимутыг 2012 онд GPS-ийн тусламжтайгаар тодорхойлсон бөгөөд азимут нь  $352^{\circ}27'52''$ .

Абсолют хэмжилтийн боловсруулалт хийх арга зүй:



– DI-магнитомер дээр хийсэн хэмжилтийн утгуудыг ашиглан D – олох бодолт хийнэ. Энэ нь соронзон орны хэвтээ байгуулагч H, газарзүйн хойт өргөргөөс хэдэн градус ялгаатай байгааг олно гэсэн үг. Ингэхийн тулд багажаар хэмжиж олсон соронзон орны хэвтээ байгуулагч H-ийн координат (m)-аас газарзүйн хойт өргөрөг (M)-ийн утгыг хасах хэрэгтэй болно. Газарзүйн хойт өргөрөг (M)-ийн утгыг олохдоо хэмжилт хийж байгаа цэгийн координат /тухайн цэгийн координатыг урьдчилан хэмжиж тогтоосон/ дээр хэмжилтээр олсон утгыг нэмж өгнө.

– Параметруудийн хамаарлыг харуулав.  
 – Value for Mark = Meanly /Measurement of Mark /  
 – Mark Azimuth =  $360^{\circ}$  - Azimuth of base  
 – Geogra. North M = Value for Mark + Mark Azimuth  
 – Magnetic North m = meanly / Observation of Declination/ $\pm 90^{\circ}$   
 – D=m-M= Magnetic North - Geogra. North  
 – Соронзон орны бөхийлтийн өнцгийг хэмжилтийн утгаас тооцоолж шууд гаргана.  
 – Абсолют хэмжилт хийхэд ашиглагддаг (Хүснэгт 7)-ийг харуулав.

Хүснэгт 7. Абсолют хэмжилт хийхэд ашигладаг бэлдэц

Form for Total intensity, Declination and Inslination																														
Name of Station:	Hovd				Hovd-1				Date: 2015.10.13																					
Azimuth of base:	Шинэ содон цэг				No. of DI meter: 3Т2КП				No. of F meter: POS																					
Highness of Sensor:	1.23 m				Observer: Х.Ганзориг				Recorder: П.Чимэдцэрэн Page: 1																					
Observation of Declination																														
Time (UT.)			Sensor			Vertical North			Vertical South			Meanly																		
Begin	7	h	29	m	Up	{1}	335	°	27	'	59	"	{2}	154	°	47	'	0	"	155	°	7	'	29	"					
End	7	h	33	m	Down	{4}	334	°	45	'	40	"	{3}	155	°	30	'	18	"	155	°	7	'	59	"					
Meanly												155 ° 7 ' 44 "																		
Measurement of Mark																														
												m( + 90°)=			245 ° 7 ' 44 "															
												m( - 90°)=			65 ° 7 ' 44 "															
Mark	Vertical Left			Vertical Right			Meanly			Value for Mark			54 ° 7 ' 24 "																	
Begin	234	°	10	'	26	"	10	'	34	"	54	°	9	'	40	"	9	'	38	"	54	°	10	'	4	"	Mark Azimuth	352 ° 27 ' 30 "		
End	234	°	10	'	0	"	10	'	11	"	53	°	59	'	20	"	59	'	26	"	54	°	4	'	44	"	Geographical North M	61 ° 39 ' 57 "		
Meanly						54 ° 7 ' 24 "			Magnetic North m			65 ° 7 ' 44 "																		
												D=m - M			3 ° 27 ' 47 "															
Observation of Inclination																														
Time (UT.)			Sensor			Vertical East			Vertical west			Meanly																		
Begin	7	h	36	m	Up	{1}	111	°	33	'	11	"	{2}	68	°	3	'	52	"	68	°	15	'	21	"					
End	7	h	40	m	Down	{4}	291	°	43	'	11	"	{3}	248	°	13	'	52	"	68	°	15	'	21	"					
Meanly												68 ° 15 ' 21 "																		
Observation of Total intensity																														
Time (UT.)			Value (Fn) Unit:nT						Meanly (F <sub>3</sub> )																					
Begin	7	h	29	m	59888.896	59890.300		59891.377	59890.194																					
					59888.874	59889.668																								
End	7	h	40	m	59889.599	59890.491		59891.639																						
					59890.509	59890.589																								
Difference of Sites			$\Delta F_{12} =$			nT			F <sub>4</sub> = 59890.194 nT																					
Note: $\Delta F_{12}$ is the difference between F measuring site and DI measuring site, F <sub>4</sub> =F <sub>3</sub> + $\Delta F_{12}$ is the final measuring value of the Total Intensity at the site of DI measuring site																														
Remark:																														

## DATA PROCESSING OF CORE MAGNETIC FIELD PEAKS AND RESULTS OF DETERMINING BASELINE VALUES OF MAGNETIC FIELD ELEMENTS

Zagdsuren Sainbayar<sup>1\*</sup>, Chimedtseren Purevjamts<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences\*Corresponding author: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** The Earth consists of a liquid metallic core, a solid mantle and crust, a non-conducting atmosphere (atmosphere), and a plasma region surrounding it called the magnetosphere. shows. In 2002, it has been more than 20 years since the first magnetic variation station was installed in Khovd Province and data collection began as part of the "Magnetic Field Research in Western Mongolia" project. During this period, the MAGDAS-9 short-period evolution measuring station was established in 2011, and the Proton magnetometer or POS-1 station was established in 2012, and the regular absolute measurements of the magnetic field had a significant impact on the formation of the magnetic peak in Hovd. Based on the data collection and measurement results of these stations, MATLAB and EXCEL programs were used to calculate the main line values of the magnetic field elements. In this way, it becomes possible to calculate the absolute value of all the components of the magnetic field, taking into account the data processing of the variation station. In this way, it will become an important fact of basic research to be used in geomagnetism. 2008-2022 of Hovd magnetic peak variation station, 2011-2022 of MAGDAS-9 measuring short period, 2003-2022 of absolute measurement, 2008-2022 of instrument sensitivity measurement and processing of each data The data of each was prepared according to the same model, and the results of processing the data of 2021 were included in this study. The baseline values of the magnetic field elements of the Hovd magnetic peak were determined by the following 2 methods. Based on the average of the above 2 results, the baseline value of the horizontal generator H of the magnetic field is 22028nT, the baseline value of the tilt angle D of the magnetic field is  $3.535^{\circ}$ , and the baseline value of the vertical generator Z is 56240nT.

**Keywords:** Geomagnetism, magnetic peak, variation station, magnetic storm, mark

## МОНГОЛ ОРНЫ ЦАРЦДАСЫН ОРЧИН ҮЕИЙН ШИЛЖИХ ХӨДӨЛГӨӨНИЙ ХУРД БА ДЕФОРМАЦИЙН ТӨРЛҮҮД

Д.Эрдэнэзул<sup>1\*</sup>, А.Дөлгөөн<sup>1</sup>, Э. Баярсайхан<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [erdenezul@iag.ac.mn](mailto:erdenezul@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Монгол орны нутаг дэвсгэр дэх царцдасын өнөө үеийн шилжилт хөдөлгөөнийг судлах нь эх газар дахь деформацийн үйл явц, геодинамик, мөн түүнчлэн газар хөдлөлт тохиолдох таамаглалыг олж мэдэх гол түлхүүр болох юм. Энэ асуудлыг шийдэх зорилгоор энэхүү судалгааны хүрээнд геодези болон геологийн мэдээллээр хурд болон деформацийн орныг тодорхойлох замаар тоон харьцуулалт хийх арга зүйг Франц улсын эрдэмтэн, Парис хот дахь ENS (Ecole Normal Supérieure) судалгааны институтын профессор Eric Calais-ийн хамт боловсруулсан. Байнгын болон давтан хэмжилтийн цэгүүд дээр суурилсан GNSS өгөгдлийг боловсруулж, царцдасын шилжилтийн хурдны утгыг Монгол орны хэмжээнд тооцоолж, Монгол оронд явагдаж буй царцдасын орчин үеийн шилжих хөдөлгөөний хурд (кинематик) ба деформацийн (динамик) төрлүүдийг тогтоож загварчиллаа.

*Түлхүүр үг:* Геодинамик, деформаци, GNSS, царцдасын шилжилт хөдөлгөөн

### ОРШИЛ

Монгол орон нь Энэтхэг ба Евроазийн хавтангуудын шахалтын бүсэд багтдаг Төв Азийн Атираат Бүс /Central Asian Orogenic Belt-CAOB/-д оршдог. Энэтхэгийн хавтангийн шахалтаар үүсэж буй Гималайн нурууны өргөгдөл одоо ч үргэлжилж байна. Шахалтын хүчний улмаас Монгол-Алтайн нуруу, Говь-Алтайн нуруу, Хангайн уулсыг хамарсан өргөн бүсэд шилжих, тохрох зэрэг деформаци илэрч иржээ. Энэ царцдасын деформацийн улмаас өнгөрсөн зуунд Монгол орны нутаг дэвсгэрт 8 магнитуд ба түүнээс дээш хүчтэй газар хөдлөлт дөрөв тохиолдсон (Schlupp, 1996).

Хэдийгээр литосферийн шахалтын деформацийн хүч Түвдийн өндөрлөгт бүртгэгдсэнээс бага байгаа ч Монгол орны нутаг дэвсгэрт газар хөдлөлт сүүлийн жилүүдэд илүү эрчимжиж байна. Олон улсад газар хөдлөх үзэгдэл, болзошгүй хүчтэй газар хөдлөлтийг урьдчилан таамаглах зориулалтаар цэгийн шилжилтийг хянах геодезийн

Байрлал Тогтоох Хиймэл Дагуулын Систем (Global Navigation Satellite System-GNSS) -ийн аргыг хэрэглэж байна (Bayasgalan et al., 2005; Calais et al., 2006; Holt et al., 2000; Vergnolle et al., 2007). Манай оронд хиймэл дагуулаас мэдээлэл хүлээн авах байнгын станцууд ба хээрийн түр хэмжилтийн цэгүүд суурилуулагдаад байгаа нь Монгол орны нутаг дэвсгэрийн царцдасын деформацийг хянах боломж бүрдээд байгаа юм.

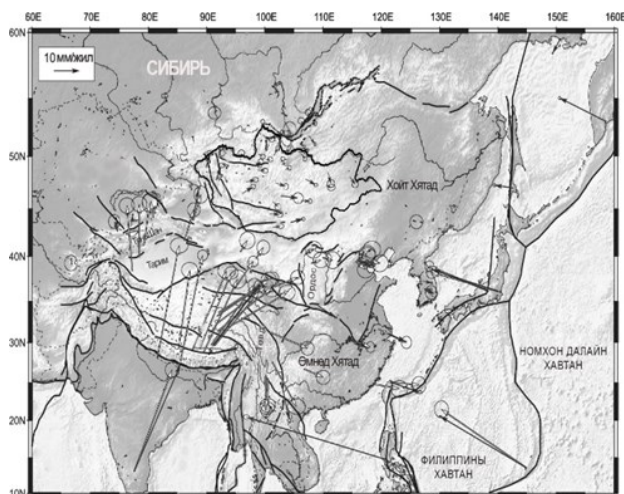
*Эх газар дахь литосферийн деформаци ба реологийн шинжүүд*

Эх газар дахь литосферийн деформацийн процесс нь хэдэн зуугаас хэдэн мянган километр хүртэлх өргөн талбайг хамарч байгааг Хойт Америк тивийн баруун хэсэг болон Энэтхэгийн хавтангийн шахалтаар Ази тивд үүсч буй деформацийн судалгаанууд харуулж байна (Tarponnier et al., 1982; Vergnolle et al., 2007; Calais et al., 2006).

Ази тивийн хувьд Энэтхэгийн

хавтангийн шилжих үзэгдэл нь Түвдийн өндөрлөг болон зүүн-өмнөд зүг рүү чиглэсэн хэвтээ шахалттай царцдасын зузааралтаар илэрч байна. (Molnar & Tapponnier, 1975). Өөрөөр хэлбэл, Түвд ба зүүн-өмнөд Азийн литосфер нь реологи шинж чанараасаа хамааран зуурамтгай шингэн мэт уян хатан байдлаар деформацид орсоор байгаа юм (Searle, 1996; Wang, 2004; England & Molnar, 2005;).

Литосферийн хавтангуудын зааг, хагарлын дагууд өндөр нарийвчлалын GNSS технологиор геодезийн давтан хэмжилтүүдийг хийж, дэлхийн томоохон хавтангуудын хөдөлгөөний хурдыг тодорхойлж байна. Ази тивийн ихэнх нутаг дэвсгэрийг хамарсан GNSS хэмжилтийн судалгааны үр дүн нь, Энэтхэг-Евроазийн хавтангуудын коллизын нөлөөгөөр бий болсон шахалтын бүсүүд буюу Гималай, Тянь-Шаны болон Алтайн уулсууд нь Ази тив рүү коллизын хүчийг дамжуулж буйг үзүүлж байна. Ази тив нь дээд маанти буюу царцдасын доод хэсэг дэх хатуу



Зураг 1. Ази тив дэх царцдасын шилжих хөдөлгөөн (Calais et al., 2003)

төлөвөөс шингэн төлөвт шилжих үзэгдлийн нөлөөн доор олон тооны бичил хавтангуудад хуваагдсан байдаг бөгөөд судлаачид энэхүү асар том газар нутгийн деформацийг зурвас хагарлын бүсүүдийн дагуу төвлөрсөн хүчдэлүүдийг хуримтлуулсан чулуулаг бүрхүүлийн салангид бичил хавтангуудын харьцангуй хөдөлгөөнөөр тайлбарладаг (Зураг 1).

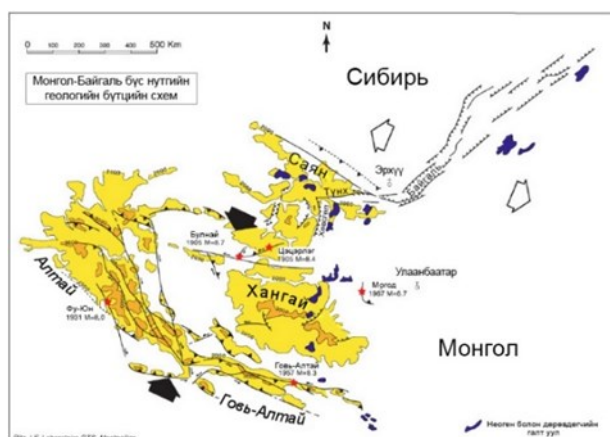
Тухайлбал: Энэтхэгийн хавтан дээр 55-60 мм/жил –ийн хурдтай шилжилт, Гималайн уулсад 21 мм/жил, Тянь-Шаны уулсын баруун хэсэгт 20 мм/жил, Монгол Алтайн нуруунд 7 мм/жил -ийн харьцангуй хурдтайгаар агшилт хуниралтын процесс явагдаж байхад, Байгалын рифтийн бүсэд  $4\pm 1$  мм/жил –ийн хурдтай тэлэлтийн процесс давамгайлж байгаа ажээ (Calais et al., 2003).

*Монгол орны нутаг дэвсгэр дэх тектоник орчин, судлагдсан байдал*

Гималайн коллиз болон Номхон далайн субдукцаас ойролцоогоор ижил зайд байрлах Монгол улсын нутаг дэвсгэр дэх царцдасын шилжих хөдөлгөөн нь өнөөг хүртэл таамаглаж буй Ази тив дэх литосферийн деформацийн загварыг тогтоож, эх газрын царцдаст хүчдэл хэрхэн хувирч байгааг илүү сайн ойлгох боломжтой юм.

Монгол орны царцдас өмнөд хэсэгтээ Тянь-Шаны уулсаас эхлэн урдаас-хойшоо чиглэлтэй ойртож буй муж болон хойт талдаа Байгалын рифтийн бүс бүхий баруун-хойноос зүүн урагш чиглэсэн тэлэлтийн муж нь Ази тивд онцлог байр суурийг эзэлдэг.

Судалгааны талбайд Монгол орны нутаг дэвсгэрийг бүхэлд нь хамруулах үүднээс Хятадын хойт хэсэг Тянь-Шаны уулсаас Байгал нуур, Саяны уулс хүртэл



Зураг 2. Монгол-Байгалын бүс нутгийн геологи бүтцийн схем зураг, (J.-F. Ritz et al., 2003)



үргэлжилж байгаа ба баруун хэсэг дэх өндөрлөг муж нь идэвхтэй тектоник деформацийн нөлөөн дор үүсэж буй залуу уулс, доош сууж буй тунамал чулуулаг бүхий сав газар, хүчтэй газар хөдлөлтөөс үүссэн гадаргын эвдрэлээр илэрхийлэгдэнэ.

## **СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ**

Тодорхой хугацааны давтамжтай хийгдэж байгаа геодезийн GNSS-байрлал тодорхойлох хэмжилт нь дэлхийн гадаргуу дээрх цэгийн байршлын үнэмлэхүй хурдны орныг үнэлэх боломжийг өгдөг. Хэрвээ GNSS сүлжээний цэгүүдийн байршил нь нягтаршил өндөртэй бол тухайн газар нутгийн царцдасын шилжих хөдөлгөөний хурдны орныг локаль түвшинд тогтоож чадах юм. Деформац нь энэхүү хурдны орны орон зайнаас үүдэлтэй байна.

1997-2022 оны GNSS хэмжилтийн мэдээллийн сан дахь өгөгдлийн чанарыг шалгаж боломжит мэдээллийг судалгааны зориулалттай GAMIT/

## **МЭДЭЭЛЛИЙН САН**

Судалгаанд зориулсан хоёр төрлийн мэдээллийн санг үүсгэсэн. Үүнд:

⇒ Монгол орны нутаг дэвсгэр дэхь GNSS байнгын станцуудын өгөгдөл болон хээрийн цэгүүдийн геодезийн давтан хэмжилтээр мэдээллийг цуглуулж мэдээллийн сан бүрдүүлэх: үүнд царцдасын орчин үеийн хөдөлгөөнийг тогтоох, мөн төрөл бүрийн түвшний деформацуудыг судлах энэхүү судалгааны ажилд зориулан Монгол орны төвийн болон зүүн бүс нутагт GNSS буюу Байрлал тогтоох хиймэл дагуулаас мэдээ хүлээн авах хээрийн давтан хэмжилтийн цэгүүдийн сүлжээг байгуулсан. Баруун бүс нутагт өмнө байгуулсан сүлжээ байсан учраас тэдгээр цэгүүд дээр геодезийн давтан хэмжилтүүдийг хийсэн. Хээрийн

Судалгааны талбайд хамрагдсан 4 үндсэн тогтоц буюу баруун хэсэгт Алтайн уулс, урд талаар Говь-Алтай муж, төв хэсэгт Хангай, харин хойд хэсгээр Байгал-Саяны уулс гэсэн мужуудыг ялгаж харуулсан (Зураг 2).

GLOBK (Herring et al., 2018) программ хангамжаар боловсруулж шилжих хөдөлгөөний чиглэл ба хурдыг тогтоож, эдгээрийн харьцангуй утгыг литосферийн шилжих хөдөлгөөн тогтвортой

Евроазийн хавтантай харьцуулах, кинематик загварыг тогтоох, GNSS байнгын станц болон давтан хэмжилтийн цэгүүдийн байрлалыг харгалзах гурвалжлалын торлолыг байгуулж Монгол орны нутагт явагдаж буй деформацийн төрлүүдийг тогтоох, динамик загвар тогтоох, Монгол орны царцдаст хүчтэй газар хөдлөлтөөр үүссэн хагарлуудын геологийн судалгаа ба тооцоологдсон деформацийн уялдааг тогтоох юм.

давтан хэмжилтээр өгөгдөл цуглуулахаас гадна Монгол орон даяар тархаан суурилуулсан GNSS буюу Байрлал Тогтоох Хиймэл дагуулын системээс тасралтгүй мэдээлэл хүлээн авах байнгын станцын сүлжээний өгөгдлийг тасалдалтгүй хүлээн авч 1997-2021 онуудын мэдээллийн сан үүсгэсэн. Энэ мэдээллийн санд Calais et.al, 2003 нарын 1997 оноос эхэлсэн геодинамикийн судалгааны ажлын мэдээллийн санг нэгтгэсэн. Байрлал тогтоох хиймэл дагуулын ажиглалтын өгөгдлийн чанар нь GNSS байршлын нарийвчлал, үнэн зөв найдвартай байдалд шууд нөлөөлдөг. Ажиглалтын өндөр чанарын өгөгдлийг бий болгоход TEQC (Translation, Editing, Quality Checking) программыг ашигладаг.

Үүнээс гадна, хэмжилт хийгдэж байхад хиймэл дагуулын харагдах тоо, тэдгээрийн харьцангуй байршлын геометр нь нь хэмжилтийн нарийвчлалыг хангахад чухал үүрэгтэй. Гэвч байгалийн (өндөр уулс, ой мод гэх мэт) болон хүний оролцоотой (байшин барилга гэх мэт) саадууд нь хиймэл дагуулын харагдах байдлыг бууруулж, байршлын нарийвчлалыг хангаж чадахгүйд хүрдэг. Тиймээс Skyplot программаар цэг тус бүр дээр хиймэл дагуулын бүртгэгдэж байгаа тоо, байршлыг тодорхойлох нь судалгааны ажлын үр дүнг үнэлэх, цаашлаад GNSS байнгын станцыг зөв байрлалд суурилуулах, хээрийн давтан хэмжилтийн цэгүүдийг зөв төлөвлөх зэрэг ач холбогдолтой.

⇒ Монгол оронд 1905 оноос хойш тохиолдсон магнитуд 8-аас дээш хүчтэй дөрвөн газар хөдлөлтөөр олон

зуун км үргэлжилсэн эвдрэл бүхий гурван үндсэн хагарлын систем бий болсон. Эх газарт тохиолдсон эдгээр хүчтэй газар хөдлөлтүүдээр үүссэн идэвхтэй хагарлуудын геологийн судалгаагаар тогтоогдсон параметрууд болох хагарлын шилжилтийн чиглэл (strike), хагарлын хавтгайн уналын өнцөг (dip), мөн хагарлын хавтгайн налуугийн өнцөг (rake) ба дөрөвдөгчийн үеийн шилжилтийг тооцоолсон утга бүхий мэдээллүүдийг тухайн хагарал тус бүрээр судалж хэвлэгдсэн бүтээлүүдээс нэгтгэж мэдээллийн сан үүсгэсэн (Baljinniyam et al., 1983; Bayasgalan & Jackson, 1999; Frankel et al., 2010; Gregory et al., 2014; Kurtz et al., 2018; Nissen, Walker, Bayasgalan, et al., 2009; Nissen, Walker, Molnar, et al., 2009; J. F. Ritz & Brown, 1995; J.-F. Ritz et al., 2003, 2018; Rizza et al., 2011, 2015; Schlupp, 1996).

## **МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ**

Монгол орны нутаг дэвсгэр дэх GNSS суурин станцын өгөгдөл ба давтан хэмжилтийн цэгүүд дээрх тасралтгүй 72 цаг, түүнээс багагүй хугацааны хэмжилтээс бүрдэх мэдээллийн сан дахь өгөгдлийг геофизикийн судалгааны ажилд зориулсан геодезийн багц программ болох GAMIT (King & Bock, 2000), GLOBK (Herring нар, 1990) программаар боловсруулсан. GAMIT/GLOBK нь литосферийн шилжих хөдөлгөөн ба деформацийг судлахад зориулагдсан ба үүнээс, GAMIT программ нь GNSS мэдээллийн сан дахь анхдагч өгөгдлүүдийг хиймэл дагуулын тойрог замын байрлал, дэлхийн эргэлтийн параметрууд зэрэг мэдээллүүдийн хамт боловсруулан, литосферийн шилжилт хөдөлгөөнийг тооцоолж гаргадаг. Харин GLOBK нь Калман шүүлтүүрийн (Kalman filter) тусламжтайгаар литосферийн шилжилтийн харилцан хамаарлыг

тооцоолон улмаар деформацийн төрлүүд болох шахалт, тэлэлтийг тогтоодог. Gamit/Globk-оор тооцоологдсон тоон мэдээллийг зурган хэлбэрт шилжүүлж тайлал хийсэн. Боловсруулалтаар 1.5мм/жил-ээс дээш алдаатай хэмжилтийн цэгүүд хасагдсан. GNSS хэмжилтээр царцдасын шилжих хөдөлгөөн төдийгүй деформацийн хэлбэрийг тогтоох боломж бүрдээд байгаа билээ. Дэлхий геоид хэлбэртэй тул түүний гадаргуу нь гурвалжингуудад тэнцвэртэй хуваагддаг болохыг судлаачид тогтоосон байдаг (England & Molnar, 1997, 2005; Holt et al., 1995, 2000).

Энэ загварт гадаргууг гурвалжин болгон хувааж, судалгааны талбайн деформацийн тооцооллыг хийв. Үүний тулд эллипсоид гадаргууг хуваах гурвалжин дотор дор хаяж хоёроос дээш GNSS судалгааны цэг багтах ёстой (Зураг 3).

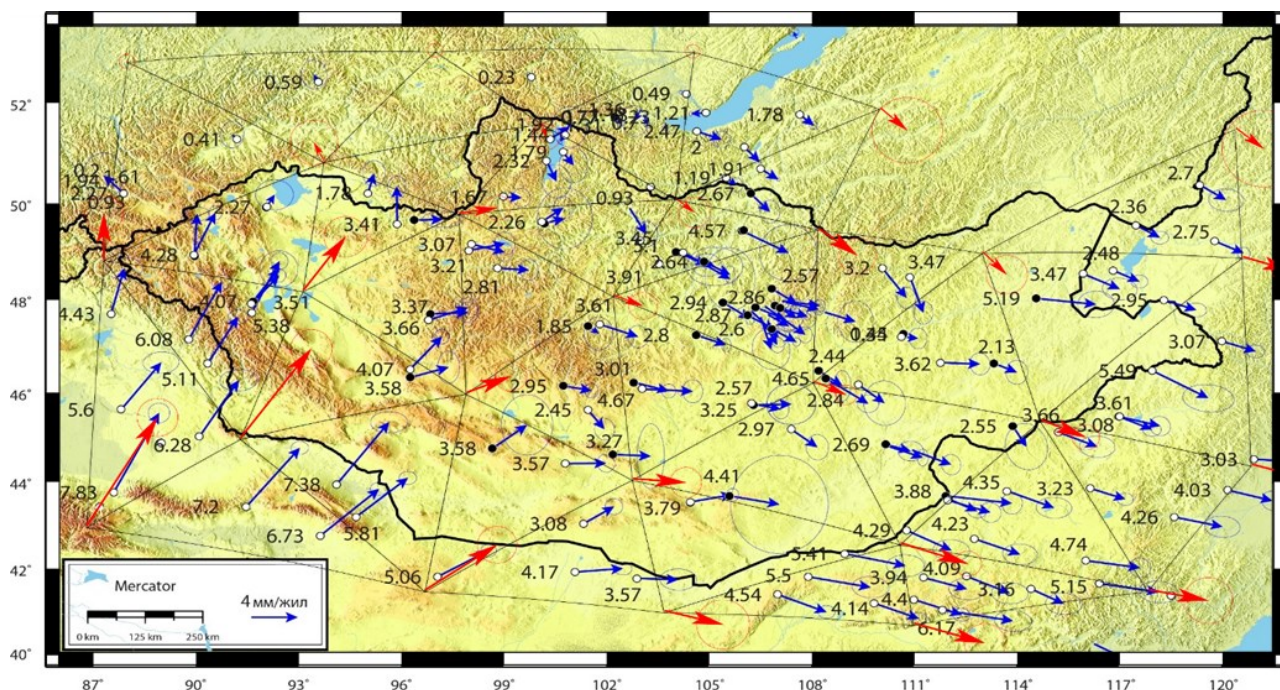
Гурвалжны орой тус бүр дэх хурдыг тооцохын тулд гурвалжин бүрт агуулагдах

геодезийн болон геологийн хоёр төрлийн өгөгдлийг тус бүрд нь инверсийн аргаар бодуулсан. Энэхүү гурвалжлалын торыг ашиглахдаа геологийн өгөгдөл өөрчлөгдөхөд деформацийг тасралтгүй гэж үзэх шаардлагатай бөгөөд эдгээрийг гурвалжин дахь деформацийн дундаж түвшинг тогтооход ашигладаг.

Үүнээс гадна хурдны орон болон деформацид ойрын нөлөөлөл байж болох юм. Хэрвээ GNSS хэмжилтийн цэг нь идэвхтэй хагарлын ойролцоо байрласан бол тухайн орчны уян харимхай үйлчлэлийн нөлөөгөөр хэмжилтийн утга багатай хурдны орныг тодорхойлно. Үүний нэгэн адил, GNSS хэмжилтээс өмнө богино хугацаанд хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдвол (100 жил хүртэл) тэнд зөвхөн “post-seismic” деформацийн үеийн хурд тооцоологдох болно. Геологийн урт удаан хугацааны үйл явцтай харьцуулбал GNSS-ийн богино хугацааны хэмжилт нь сейсмик

мөчлөгийн бүтэн үе шатыг загварчилж чадахгүй байж болох юм.

Сүүлийн үеийн судалгаанууд нь тухайн бүс нутаг дахь хагарлын шилжилт болон GNSS хэмжилтээр тооцоологдсон царцдасын шилжих хөдөлгөөний хурдны чиглэл болон хэмжээг хамтад нь авч үзэж байна (Holt et al., 2000; England & Molnar, 2005). Эдгээр загварчлалууд нь шилжилтийн хурдны орны хувьд нэлээд ойролцоо үр дүнг илтгэдэг ба энэ нь геологийн болон геофизикийн судалгаанд деформацийг үнэлэхэд тохиромжтой юм. Энэхүү судалгааны сонирхолтой тал нь байрлал тогтоох GNSS хэмжилт ба хүчтэй газар хөдлөлтөөр үүссэн хагарлын үндсэн үзүүлэлтүүдийг харьцуулан үзсэнээр удаанаар деформацлагдах боловч хүчтэй газар хөдлөлт болох магадлалтай орчныг тодорхойлох боломжийг бий болгох юм.



Зураг 3. Гурвалжин тус бүрийн оройн цэгийн шилжих хөдөлгөөний хурдны утгыг тооцоолж улаан сумаар хэмжээ болон чиглэлийг Цэнхэр сумаар тухайн гурвалжинд хамрагдаж байгаа GNSS хэмжилтийн цэгүүд, шилжилтийн утгын хамт харуулав

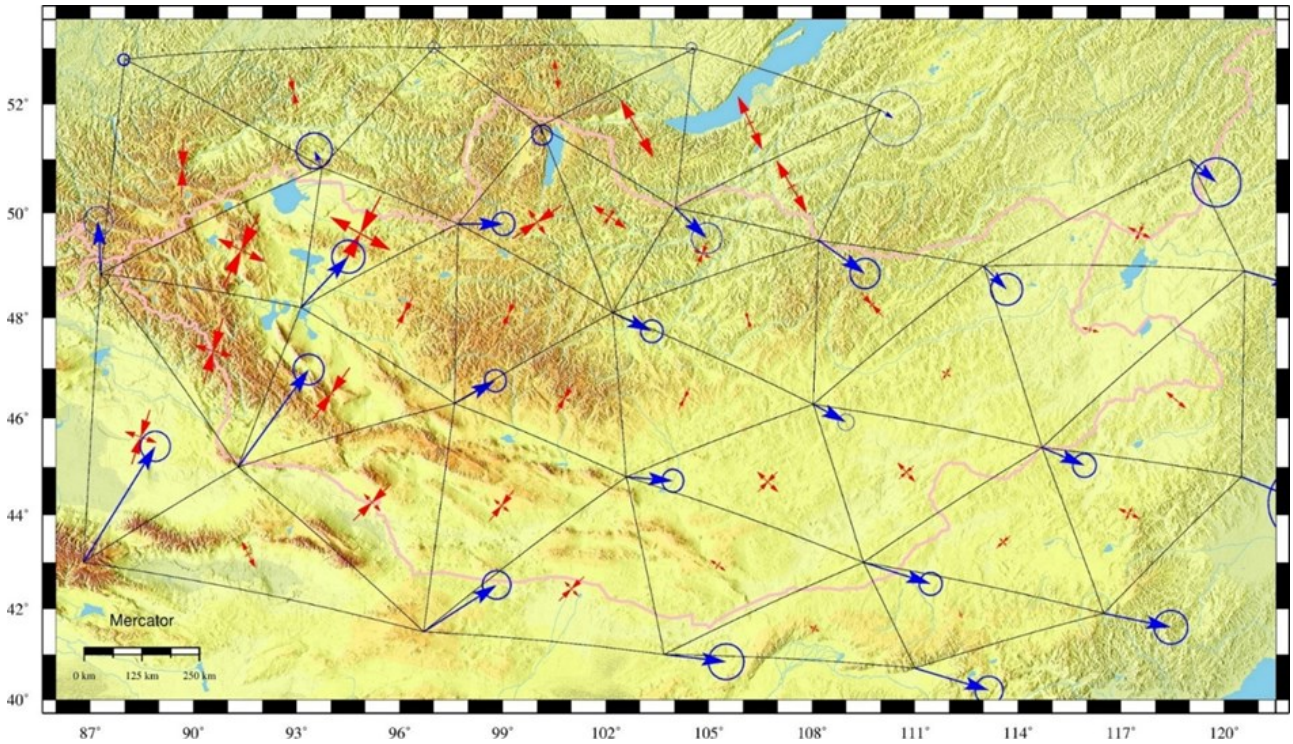
Үүсгэсэн гурвалжин доторх цэгүүдийн шилжилтийн хурдны мэдээгээр гурвалжны оройн цэгүүдийн шилжилтийн утгыг Матлаб программаар

тооцоолон гаргасан. Зураг 3-т улаан сумаар харуулсан гурвалжны оройн цэгүүдэд тооцоологдсон шилжилтийн хурдны утгаас тухайн бүс нутгийн шилжих хөдөлгөөний

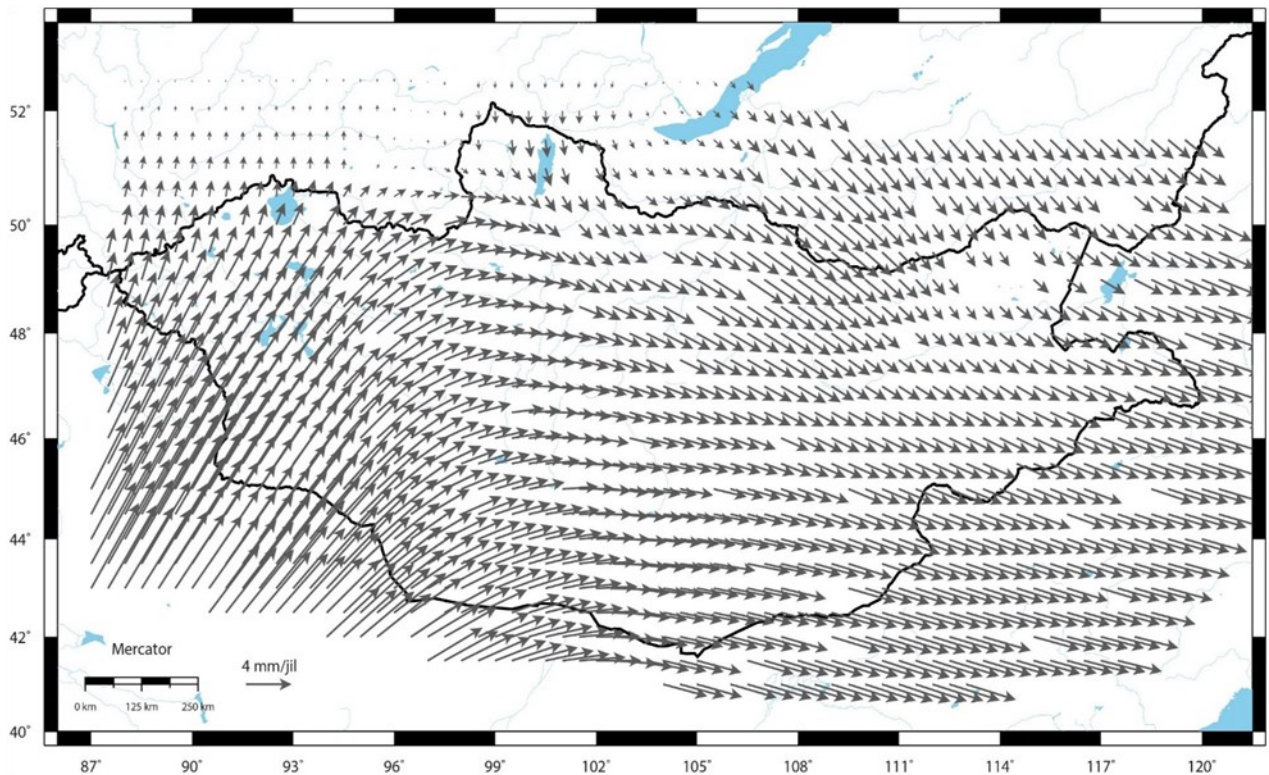


динамик чиг гардаг. Үүнээс дараагийн шатны боловсруулалт буюу деформацийг тооцоолж гаргах юм. Шилжих

хөдөлгөөнөөс деформаци буюу шахах ба тэлэх процессууд тогтоогддог (Зураг 4).



Зураг 4. Гурвалжин тус бүрээр тооцоолсон деформаци, улаан сумаар деформацийн шахах болон тэлэх тэнхлэгийг харуулав



Зураг 5. Царцдасын шилжих хөдөлгөөний хурдны мэдээгээр 0.5\*0.5 хэмийн торлоор үүсгэсэн хурдны кинематик загварчлал

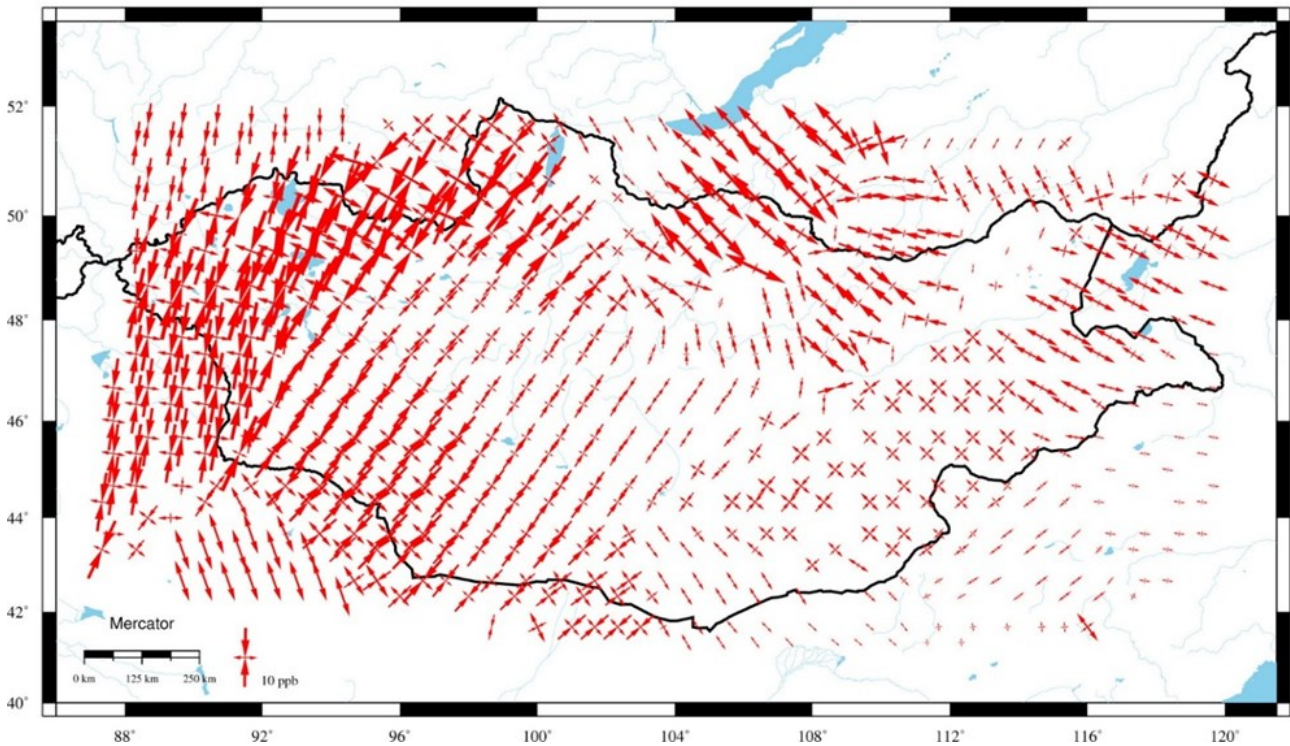


Судалгааны ажлын үр дүн болох Монгол орны царцдасын кинематик (Зураг 5) ба динамик загварчлалуудыг (Зураг 6) математик тооцоолол, загварчлалын Матлаб программаар тооцоолж, зурган боловсруулалтыг GMT (Generic Mapping Tool) программаар хийсэн.

Царцдасын шилжих хөдөлгөөний хурдны мэдээгээр  $0.5 \times 0.5$  хэмийн торлолоор үүсгэсэн хурдны кинематик загварчлалыг гурвалжны аргаар тооцоолсон деформацийн үр дүнтэй давхцуулсанаар царцдасын шилжилтийн

хурд ба деформацийн харилцан уялдааг тогтоосон. Үүнд: хурдны өндөр утга бүхий Монгол Алтай, Хэнтий нурууны орчмоор деформаци эрчимтэй явагдаж байгаа нь харагдана. Монгол Алтай орчимд шахалтын эрчим илүү бол, Хэнтийн бүс нутгаар тэлэлтийн кинематик давамгайл байна.

Gloбk программаар тооцоолсон гурвалжин тус бүр дэх тогтоогдсон деформацийн утгыг (Зураг 5) Матлаб тооцооллын программыг ашиглан  $0.5 \times 0.5$  хэмийн торлолоор динамик загварчлалд оруулав.



Зураг 6. Деформацийн динамик загварчлал

Зураг 6-д харуулсан деформацийн динамик загварчлалаас харахад маш бага деформаци бүхий харьцангуй тогтвортой Хангай ба Зүүн Монгол бүс нутаг нь өмнөд болон баруун талаараа шахалтаар, хойт зүгт тэлэлтээр тодорхойлогдож байна. Энэ деформацийн хэлбэр нь зөвхөн Энэтхэг-ЕвроАзийн шахалтаар тайлбарлахад нэлээд төвөгтэй юм (Vergnolle нар, 2007). Энэ нь Зүүн Азийн сүлдүкцийн бүс дэх маангийн урсгал чухал ач холбогдолтой болохыг харуулж

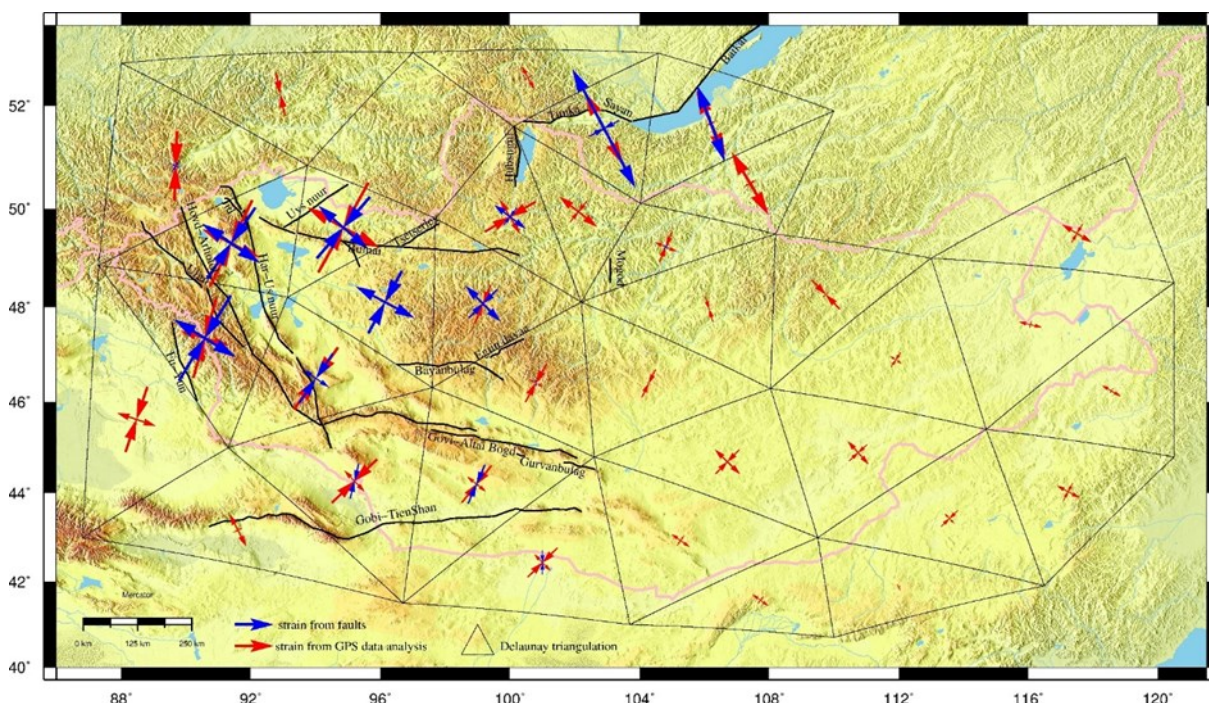
байна.

GNSS хэмжилт, боловсруулалтын үр дүнг бататгахаар хүчтэй газар хөдлөлтөөр үүссэн идэвхтэй хагарлуудын геологийн судалгаагаар тогтоогдсон хагарлын параметрууд: хагарлын чиглэл (strike), хагарлын хавтгайн уналын өнцөг (dip), мөн налууугийн өнцөг (rake) болон дөрөвдөгчийн шилжилтийн хэмжээг олж мэдсэнээр хагарлын дагуух болон хагарлын дотоод дахь деформацийг Костровын (Kostrov, 1974) томъёогоор хувирган

түүний өөрчлөлтийн хэмжээг үнэлсэн. параметруудийг Хүснэгт 1-д харуулав.  
Жишээгээр Булнайн бүлэг хагарлын

Хүснэгт 1. Булнай, Цэцэрлэг, Тэрэгтийн хагарлын загварчлалд оруулсан параметрууд Эх сурвалж: 5 Baljinyam et al., 1993; 9 Rizza et al., 2015; 10 Schlupp et al., 1996

Хагарлын нэр	Уртгар 1	Өргөрөг 1	Уртгар 2	Өргөрөг 2	Хагарлын			Шилжилт (мм/жил)	Эх сурвалж
					Чиглэл	Уналын өнцөг	Налуу өнцөг		
Булнай	93.447	49.513	93.366	49.498	90	87	0	3.1±1.7	9, 10
Цэцэрлэг	96.678	49.261	97.815	49.686	60	63	15	5.0±3.0	9, 10
Тэрэгт	94.837	49.337	95.361	48.82	140	60	160	1.5±0.8	5



Зураг 7. Геологийн судалгааг хиймэл дагуулын мэдээлэл боловсруулалтын үр дүнг харьцуулсан харьцангуй деформаци, Улаан сумаар GNSS судалгааны, цэнхэр сумаар хагарлын параметруудээр тооцоолсон шахалт болон тэлэлтийн тэнхлэгүүдийг харуулав.

J. F. Ritz (2003) нь Монгол орны деформаци бүрэлдэхэд Гималайгаас Сибирийн кратон чиглэсэн баруун хойших чигийн шахалт, Сибирээс Номхон далайн субдукцийг чиглэсэн зүүн урагшаа чигийн тэлэлтүүд гол үүрэгтэйг тогтоосон. Үүнийг баруун хэсэгт Алтайн уулс, урд талаар Говь-Алтай муж, төв хэсэгт Хангай, харин хойд хэсгээр Байгал-Саяны уулсын деформацийн төрлүүд бататгадаг байна (Зураг 7).

Зурагт хэв гажил ихтэй буюу тектоник хүч идэвхтэй үйлчилж буй мужууд ялгарч тэдгээр нь тектоник хүчний шахалт ба тэлэлтийн төрлүүдээр ялгагдаж байна. Тухайлбал, Алтайн уулсын дагуу болон Байгалын рифтийн бүсэд тектоникийн хүч ихтэй тэмдэгтүүд харагдаж байгаа боловч Алтайн ороген мужид шахалт, харин Байгалын рифтийн мужид тэлэлт давамгайлсан байхад, харьцангуй бага хүчдэл Хангай-Хэнтий



орчмоор тогдоогдов. Мөн хүчнүүдийн тэнцүү үйлчлэл ойрхон зайтай тогтоогдож байгаа нь кайнозойн базалтын улмаас үүссэн байх магадлалтай болно. Мөн адил тэнцүү хүч Монголын өмнөд хил орчмоор

тогтоогдож байгаа нь энэ базалтын тархалттай давхцаж байна. Иймд тэлэлтийн бүс дэхь тэнцүү хүч нь кайнозойн деформаттай холбоотой байх магадлалтай болно.

## ДҮГНЭЛТ

Хурдны мэдээ бүхий зураг нь өмнө хийсэн судлаачдын (Calais et al., 2003; Lukhnev et al., 2010) судалгааны үр дүнтэй нийцэж байгаа бөгөөд миний судалгаанд Монгол орны Төв болон Зүүн нутгаар байгуулсан байнгын станцуудын мэдээлэл нэмэгдэж байгаа нь талархууштай юм.

Судалгааны талбайн баруун хэсэгт хурдны утга урдаас хойшлох чиглэлд буурч байна. Энэ нь мөн хүчдэлийн хэмжээ бүхий зураг дээр харагдаж байгаа ба хэвтээ хүчдэлийн шахалтын гол тэнхлэг зүүн хойт-баруун урд чиглэлд давхцаж байна. Энэ нь геологийн ажиглалтаар Алтайн мужид хөндлөнг чиглэлээр багасаж байгаа гэдэгтэй тохирч байна. Мөн Хөвсгөлийн баруун бүс орчимд өмнөх судалгааны адил (Lukhnev et al. 2010) шахалт ажиглагдаж байгаа нь маш сонирхолтой байна.

Эдгээр хурдны болон хүчдэлийн хэмжээ бүхий зураг дээрээс харахад маш бага хүчдэл бүхий харьцангуй тогтвортой

Хангай ба Зүүн Монгол бүс нутаг нь өмнөд болон баруун талаараа шахалтаар, хойт зүгт тэлэлтээр тодорхойлогдож байна. Энэ деформацийн хэлбэр нь зөвхөн Энэтхэг-ЕвроАзийн мөргөлдөөнөөр тайлбарлахад нэлээд төвөгтэй юм (Vergnolle et al., 2007). Энэ нь Зүүн Азийн сүбдүкцийн бүс дэх маантийн урсгал чухал ач холбогдолтой болохыг харуулж байна.

Монгол орны нутаг дэвсгэрт деформацийн 3 өөр хүч үйлчилж байна. Тухайлбал, Өмнөт Монголын бүс нутаг Алтайн өвөр хэсгээр шахалтын дунд эрчимжилттэй хүч, Алтайн өвөр говьд шахалтын эрчим дундаас бага хүртэл буурсан улмаар саарч тэнцүү болж, цаашлаад тэлэлт давамгайлсан байна. Энэ нь Алтай чиглэсэн Энэтхэгийн хавтангын шахалт хүчний үйлчлэл саарч, Сүхбаатар, Тамсагын сав газруудаар рифтийн үйл явц идэвхтэй хэвээр байгааг харуулж байна. Дорнод Монголын тал нутагт деформаци маш бага байгаа нь энэ бүс нутаг нэгэн цул хавтан гэдгийг илэрхийлж байна.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг

үзүүлэн хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

## НОМЗҮЙ

Baljinnyam, I., Bayasgalan, A., Borisov, B. A., Cisternas, A., Demiyanovich, M. G., Ganbaatar, L., Kochetkov, V. M., Kurushin, R. A., Molnar, P., Philip, H., & Vashchilov, Yu. YA. (1983). *Ruptures of Major Earthquakes and Active Deformation in*

*Mongolia and Its Surroundings*. Geological Society of America.

Bayasgalan, A., & Jackson, J. A. (1999). A reassessment of the faulting in the 1967 Mogod earthquakes in Mongolia. *Geophysical Journal International*, 138 (3), Article 3. <https://doi.org/10.1046/j.1365>

- 246x.1999.00907.x
- Bayasgalan, A., Jackson, J., & McKenzie, D. (2005). Lithosphere rheology and active tectonics in Mongolia: Relations between earthquake source parameters, gravity and GPS measurements. *Geophysical Journal International*, 163(3), Article 3. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02764.x>
- Calais, E., Dong, L., Wang, M., Shen, Z., & Vergnolle, M. (2006). Continental deformation in Asia from a combined GPS solution. *Geophysical Research Letters*, 33 (24), Article 24. <https://doi.org/10.1029/2006GL028433>
- Calais, E., Vergnolle, M., San'kov, V., Likhnev, A., Miroshnichenko, A., Amarjargal, S., & Déverchère, J. (2003). GPS measurements of crustal deformation in the Baikal Mongolia area (1994-2002): Implications for current kinematics of Asia: GPS MEASUREMENTS IN MONGOLIA. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B10), Article B10. <https://doi.org/10.1029/2002JB002373>
- England, P., & Molnar, P. (1997). The field of crustal velocity in Asia calculated from Quaternary rates of slip on faults. *Geophysical Journal International*, 130(3), Article 3. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb01853.x>
- England, P., & Molnar, P. (2005). Late Quaternary to decadal velocity fields in Asia. *Journal of Geophysical Research*, 110(B12), Article B12. <https://doi.org/10.1029/2004JB003541>
- Frankel, K. L., Wegmann, K. W., Bayasgalan, A., Carson, R. J., Bader, N. E., Adiya, T., Bolor, E., Durfey, C. C., Otgonkhuu, J., Sprajcar, J., Sweeney, K. E., Walker, R. T., Marsteller, T. L., & Gregory, L. (2010). Late Pleistocene slip rate of the Höh Serh-Tsagaan Salaa fault system, Mongolian Altai and in tracontinental deformation in central Asia: Mongolian Altai late Pleistocene slip rate. *Geophysical Journal International*, 183(3), Article 3. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04826.x>
- Gregory, L. C., Thomas, A. L., Walker, R. T., Garland, R., Mac Niocail, C., Fenton, C. R., Bayasgalan, A., Amgaa, T., Gantulga, B., Xu, S., Schnabel, C., & West, A. J. (2014). Combined uranium series and <sup>10</sup>Be cosmogenic exposure dating of surface abandonment: A case study from the Ölgii strike-slip fault in western Mongolia. *Quaternary Geochronology*, 24, 27–43. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2014.07.005>
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., & McClusky, S. C. (2018). *Introduction to GAMIT/GLOBK*. 54.
- Holt, W. E., Chamot-Rooke, N., Le Pichon, X., Haines, A. J., Shen-Tu, B., & Ren, J. (2000). Velocity field in Asia inferred from Quaternary fault slip rates and Global Positioning System observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B8), Article B8. [doi.org/10.1029/2000JB900045](https://doi.org/10.1029/2000JB900045)
- Holt, W. E., Li, M., & Haines, A. J. (1995). Earthquake strain rates and instantaneous relative motions within central and eastern Asia. *Geophysical Journal International*, 122(2), Article 2. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb07014.x>
- Kurtz, R., Klinger, Y., Ferry, M., & Ritz, J.-F. (2018). Horizontal surface-slip distribution through several seismic cycles: The Eastern Bogd fault, Gobi-Altai, Mongolia. *Tectonophysics*, 734–735, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.03.011>
- Likhnev, A. V., San'kov, V. A., Miroshnichenko, A. I., Ashurkov, S. V., & Calais, E. (2010). GPS rotation and strain rates in the Baikal–Mongolia region. *Russian Geology and Geophysics*, 51 (7), Article 7. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.06.006>



- Molnar, P., & Tapponnier, P. (1975). Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a Continental Collision: Features of recent continental tectonics in Asia can be interpreted as results of the India-Eurasia collision. *Science*, 189(4201), Article 4201. <https://doi.org/10.1126/science.189.4201.419>
- Nissen, E., Walker, R., Molor, E., Fattahi, M., & Bayasgalan, A. (2009). Late Quaternary rates of uplift and shortening at Baatar Hyarhan (Mongolian Altai) with optically stimulated luminescence. *Geophysical Journal International*, 177(1), Article 1. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.04067.x>
- Nissen, E., Walker, R. T., Bayasgalan, A., Carter, A., Fattahi, M., Molor, E., Schnabel, C., West, A. J., & Xu, S. (2009). The late Quaternary slip-rate of the Har-Us-Nuur fault (Mongolian Altai) from cosmogenic  $^{10}\text{Be}$  and luminescence dating. *Earth and Planetary Science Letters*, 286 (3–4), Article 3–4. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2009.06.048>
- Ritz, J. F., & Brown, E. T. (1995). Slip rates along active faults estimated with cosmogenic exposure dates: Application to the Bogd fault, Gobi-Altai, Mongolia. 4.
- Ritz, J.-F., Arzhannikova, A., Vassallo, R., Arzhannikov, S., Larroque, C., Michelot, J.-L., & Massault, M. (2018). Characterizing the Present-Day Activity of the Tunka and Sayan Faults Within Their Relay Zone (Western Baikal Rift System, Russia). *Tectonics*, 37(5), Article 5. <https://doi.org/10.1002/2017TC004691>
- Ritz, J.-F., Bourlès, D., Brown, E. T., Carrelier, S., Chéry, J., Enhtuvshin, B., Galsan, P., Finkel, R. C., Hanks, T. C., Kendrick, K. J., Philip, H., Raisbeck, G., Schlupp, A., Schwartz, D. P., & Yiou, F. (2003). Late Pleistocene to Holocene slip rates for the Gurvan Bulag thrust fault (Gobi-Altay, Mongolia) estimated with  $^{10}\text{Be}$  dates: LATE PLEISTOCENE TO HOLOCENE SLIP RATES. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 108(B3), Article B3. <https://doi.org/10.1029/2001JB000553>
- Rizza, M., Ritz, J. -F., Prentice, C., Vassallo, R., Braucher, R., Larroque, C., Arzhannikova, A., Arzhannikov, S., Mahan, S., Massault, M., Michelot, J. -L., Todbileg, M., & ASTER Team. (2015). Earthquake Geology of the Bulnay Fault (Mongolia). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(1), Article 1. <https://doi.org/10.1785/0120140119>
- Rizza, M., Ritz, J.-F., Braucher, R., Vassallo, R., Prentice, C., Mahan, S., McGill, S., Chauvet, A., Marco, S., Todbileg, M., Demberel, S., & Bourlès, D. (2011). Slip rate and slip magnitudes of past earthquakes along the Bogd left-lateral strike-slip fault (Mongolia): Slip rate and slip value along the Bogd Fault. *Geophysical Journal International*, 186(3), Article 3. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05075.x>
- Schlupp, A. (1996). Neotectonique de la Mongolie occidentale analysée à partir de données de terrain, sismologiques et satellitaires. *Université Louis Pasteur - Strasbourg*, 257.
- Searle, M. P. (1996). Geological evidence against large-scale pre-Holocene offsets along the Karakoram Fault: Implications for the limited extrusion of the Tibetan plateau. *Tectonics*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.1029/95TC01693>
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Dain, A. Y. L., Armijo, R., & Cobbold, P. (1982). Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticine. *Geology*, 10(12), Article 12. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1982\)10](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1982)10)
- Vergnolle, M., Calais, E., & Dong, L. (2007). Dynamics of continental deformation in Asia. *Journal of Geophysical Research*, 112(B11), Article B11. <https://doi.org/10.1029/2006JB004807>

- Wang, C. (2004). Crustal structure of the northern margin of the eastern Tien Shan, China, and its tectonic implications for the 1906 M<sub>7.7</sub> Manas earthquake. *Earth and Planetary Science Letters*, 223(1–2), Article 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.04.015>

## CRUSTAL DEFORMATION MODELS IN MONGOLIA BASED ON GNSS OBSERVATIONS

Erdenezul Danzansan<sup>1\*</sup>, Dulguun Ayush<sup>1</sup>, Bayarsaikhan Enkhee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [erdenezul@iag.ac.mn](mailto:erdenezul@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** Mongolia is located in the Central Asian Orogenic Belt (CAOB), which is part of the compression zone of the Indian and Eurasian plates. The uplift of the Himalayas caused by the compression of the Indian plate, is still ongoing. These deformations have been observed in a wide area covering the Mongol-Altay, the Gobi-Altay Mountains, and the Khangai Dome. Due to this crustal deformation, four earthquakes of magnitude 8 or greater occurred in the territory of Mongolia in the last century (Schlupp, 1996). Although the lithospheric deformation is lower than that recorded in the Tibetan Plateau, earthquakes in the territory of Mongolia have become more concentrated in recent years. Global Navigation Satellite System (GNSS) is used to monitor the the location of the compressional and extensional deformation under the states of the relative movement of the crust is going to be located further contributing to the determination of deformation of the Asian lithosphere (Bayasgalan et al., 2005; Calais et al., 2006; Holt et al., 2000; Vergnolle et al., 2007). The present-day strain field distribution with the results for geo-kinematics determinations, and for a better understanding of the active geodynamic processes deforming the Earth's surface in Mongolian will be the basis for assessing of seismic hazards in Mongolia and surrounding regions.

**Keywords:** *Geodynamics, deformation, GNSS, strain, velocity*

## P/S АМПЛИТУД ХАРЬЦААГААР ГАЗАР ХӨДЛӨЛ БОЛОН ТЭСЭЛГЭЭНИЙ СИГНАЛЫГ ЯЛГАХ НЬ

А.Долгөөн<sup>1\*</sup>, Л.Тунгалаг<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [dulguun@iag.ac.mn](mailto:dulguun@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Газар хөдлөлийг бүртгэх багажад байгалийн гаралтай үүсгүүрүүдээс гадна хүний үйл ажилгаанаас улбаатай уул уурхайн тэсэлгээ, цөмийн тэсэлгээ зэрэг үүсгүүрүүдээс үүссэн сейсмик долгионууд байнга бүртгэгддэг. Газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд хүний үйл ажиллагаатай холбоотойгоор бүртгэгдсэн мэдээлэл байх нь газар хөдлөлийн статистик анализ хийхэд алдаа гаргахад нөлөөлдөг (Jari Kortstrom, 2016). Иймээс тэсэлгээний мэдээллийг газар хөдлөлтөөс ялгах, газар хөдлөлийн мэдээллийн сангаас хасах шаардлагатай асуудлуудтай байнга тулгарч байна. Энэхүү асуудлыг шийдвэрлэхийн тулд уурхайн тэсэлгээ ихээр хийгддэг бүс нутгийг сонгон авч, тухайн бүс нутагт болсон газар хөдлөлт болон тэсэлгээний мэдээллийг ашиглан долгионы P болон S амплитуд харьцаагаар газар хөдлөл, уурхайн тэсэлгээг ялгах ажил хийлээ.

*Түлхүүр үг:* P S амплитуд харьцаа, тэсэлгээ

### ОРШИЛ

Бүс нутгийн газар хөдлөлийн идэвхжилтийг газар хөдлөлийн тоо болон хүчний харьцаагаар тодорхойлох (Benio Gutenberg, 1949) ба статистик анализ хийхэд давталт хөдлөлт, тэсэлгээ зэргийг ялгаж тусдаа мэдээллийн сан үүсгэх шаардлагатай байдаг. 2022 оны 1 дүгээр сарын 1-нээс 10 дугаар сарын 31-ны өдрийг дуустал хугацаанд Монгол орны нутаг дэвсгэр болон хил орчмын бүс нутагт нийтдээ 85225 газар хөдлөлт болсон.

Эдгээр газар хөдлөлтүүдээс Монгол орны нутаг дэвсгэрт 58266 газар хөдлөлт болсон, харин тэсэлгээний 3390 мэдээллийг ялган ангилсан байна (ООГХ, 2022).

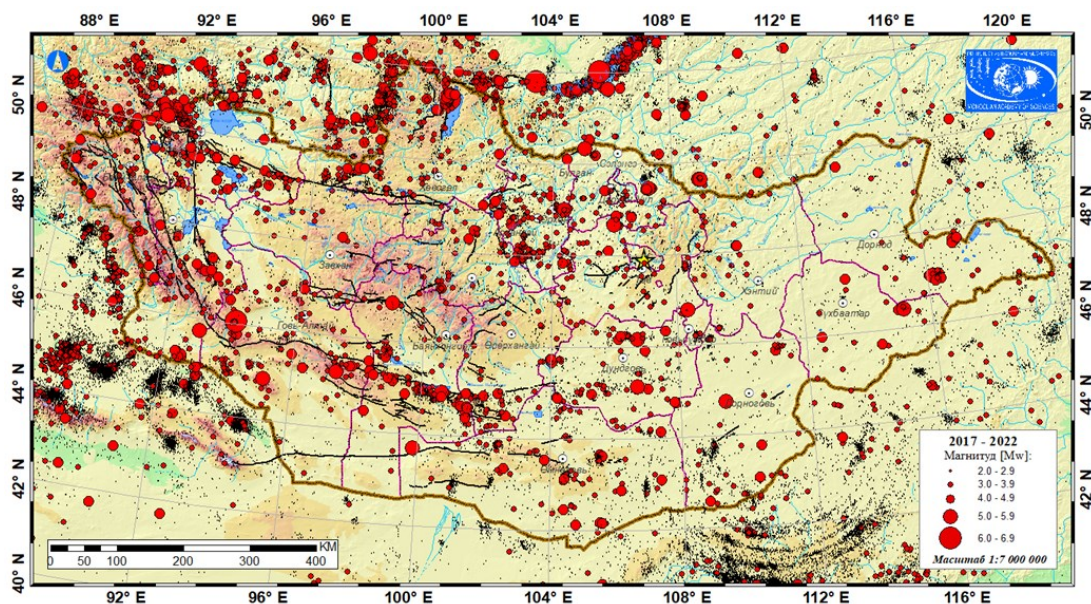
Монголын нутаг дэвсгэрт тогтмол үйл ажиллагаа явуулдаг Эрдэнэт, Багануур, Шарын гол, Шивээ-Овоо, Нарийн сухайт, Оюу толгой, Таван толгой зэрэг томоохон уурхайнуудын тэсэлгээний мэдээллийг Үндэсний Мэдээллийн Төвийн тэсэлгээний мэдээллийн санд оруулж байна (Л.Тунгалаг, 2020). Хэдийгээр тэсэлгээний сигнал дээр анализ хийж хооронд нь ялган ангилж байгаа хэдий ч тогтмол үйл

ажиллагаа явуулдаггүй бичил уурхай, карьерт хийгдсэн болон хилийн гадна хийсэн тэсэлгээг газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд оруулчихсан байдаг. Энэ нь зөвхөн сигналын хэлбэрээр хооронд нь шууд ялгахад хүндрэлтэй байгааг харуулж байна. Иймээс эцсийн шатны мэдээлэлд тэсэлгээ болон газар хөдлөлтийг ялгах шалгалтыг хийх зайлшгүй шаардлагатай байна.

Тэсэлгээний энерги нь бүх чиглэлд жигд хуваарилагдана гэж үзэх бөгөөд дэлбэрэлттэй холбоотой бодит гулсах хөдөлгөөн байхгүй тул маш бага зүсэлт үүсдэг ба S долгионы энерги бага байдаг. Тиймээс тэсэлгээнээс үүсэх S ба P долгионы энергийн харьцаа нь ер бусын бага бөгөөд хагарлаас үүссэн газар хөдлөлтөөс огт өөр юм (columbia.edu, n.d.). Судлаачид тэсэлгээг газар хөдлөлтөөс ялгах олон арга зүй боловсруулж байгаагийн нэг нь дээрх шинж чанарт үндэслэн P, S долгионы амплитуд харьцаагаар тооцох арга юм (Colin T.O'Rourke, 2016). Бид газар хөдлөлийн

идэвхтэй хагарлын бүсэд, тогтмол үйл ажиллагаа явуулдаг уул уурхайн олборлолт ихтэй бүс нутгийг сонгон авч тухайн бүс

нутагт болж буй газар хөдлөл болон тэсэлгээний сигналуудыг үнэлэх оролдлого хийлээ.



Зураг 1. 2017-2022 онд газар хөдлөлтийн үндэсний мэдээллийн төвд бүртгэгдсэн мэдээлэл

### МЭДЭЭЛЛИЙН САН

2015-2020 онд Үндэсний мэдээллийн төвийн газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд 200000 гаруй мэдээллийг бүрдүүлсэн байв (Зураг 1). Нийт мэдээллийн 10 орчим хувийг тэсэлгээний мэдээлэл эзэлдэг. Энд идэвхтэй үйл ажиллагаа явуулдаг томоохон уурхай болон газар хөдлөлтийн бөөгнөрөл үүсгээд байгаа (газар орныг сонгон авч) талбай дээрх мэдээлэлд анализ хийсэн.

Үүний тулд сонгож авсан талбайд өдөр шөнийн нормчилсон харьцааны арга зүйг (Stefan Wiemer, 2000) ашиглан тэсэлгээний талбай мөн эсэхийг тогтоох ажил хийсэн. Эндээс өдөр шөнийн харьцаа өндөр гарсан талбайг сонгон авч тухайн талбайд тодорхойлогдсон хөдлөлтүүд дээр P болон S амплитуд харьцааг тооцох ажлыг хийлээ.

### АРГА ЗҮЙ

Нэгдүгээрт: Тэсэлгээний талбай эсэхийг тогтоохын тулд өдөр шөнийн нормчилсон харьцааг ашигласан болно (Stefan Wiemer, 2000). Өдөр болон шөнө цагаар бүртгэгдэж байгаа мэдээллийн харьцаа нь  $R_q \geq 1.5$  бол тэсэлгээний талбай гэж үзнэ.

$$R_q = \frac{NdLn}{NnLd} \quad (1)$$

Энд:  $Nd$  нь өдрийн цагаар болсон нийт үйл явдлын тоо,

$Nn$  шөнийн цагаар болсон нийт үйл явдлын тоо,

$Ld$  өдөр гэж сонгосон цагийн тоо,

$Ln$  шөнө гэж сонгосон цагийн тоо ( $Ln + Ld = 24$ ).

Хоёрдугаарт: Сонгосон тэсэлгээний талбайд бүртгэгдсэн сигнал бүрд тохирох давтамжийн муж дахь P болон S амплитуд харьцааг тооцож тэсэлгээний сигнал болохыг үнэлэх юм. Сигналын P болон S амплитуд харьцааг дараах байдлаар тодорхойлно.

$$\frac{Sg}{Pg} \text{ ratio} = \frac{A_{Sg}}{A_{Pg}} \quad (2)$$

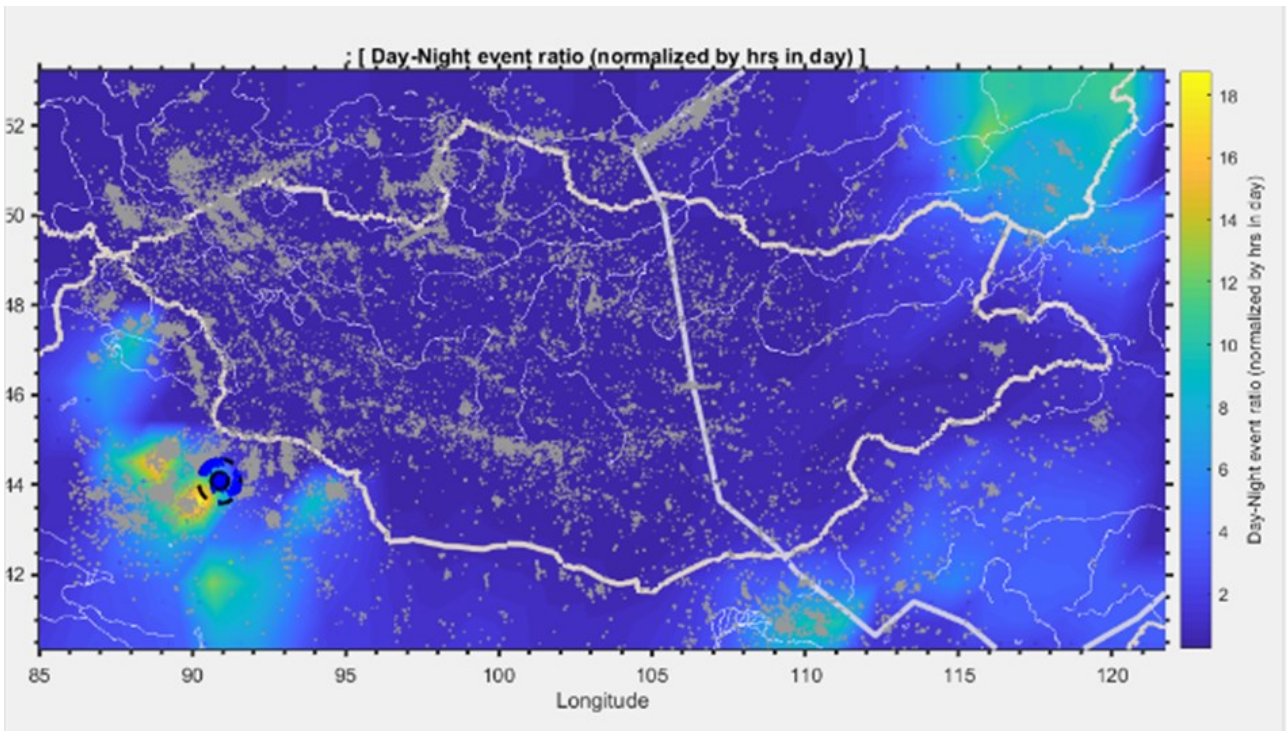
Энд:  $A_{Sg}$  S долгионы амплитудын утга  
 $A_{Pg}$  P долгионы амплитудын утга



ҮР ДҮН

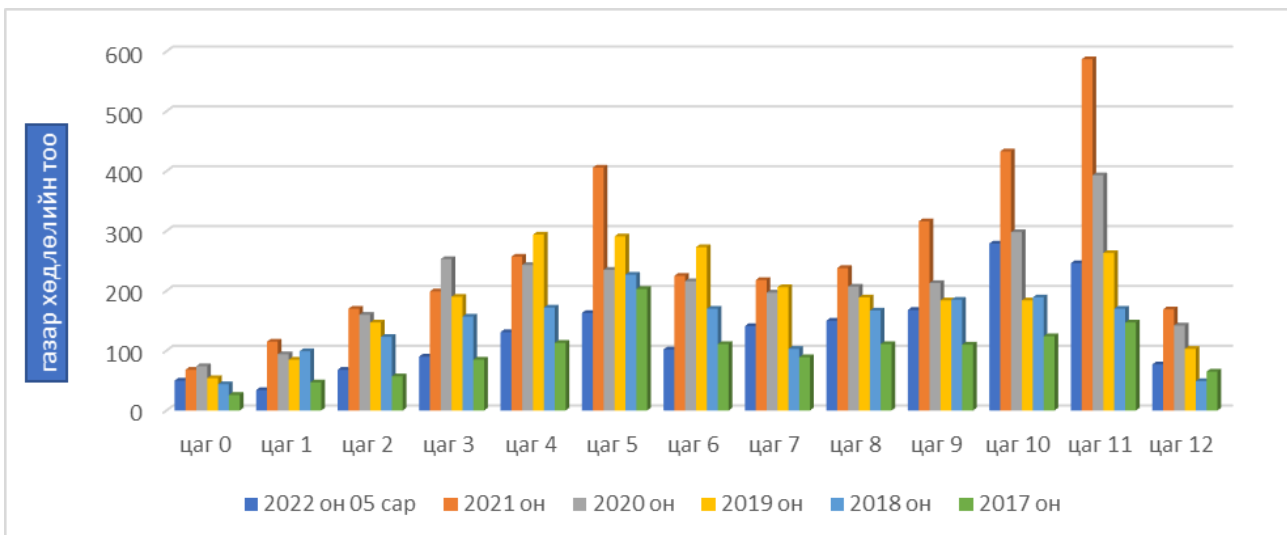
Өдөр шөнийн харьцаагаар тэсэлгээний талбай байх хэд хэдэн бүсийг тогтоосон бөгөөд эндээс судалгааны эхлэл болгож өдөр шөнийн харьцаа хамгийн өндөр буюу  $R_g \geq 10$  гарсан талбайг сонгон авсан. Энэхүү талбай нь Говь-Алтай аймгийн Алтай сумаас урагш өргөргийн  $43.96^\circ$ , уртрагийн  $94.58^\circ$  - с 50 км-ийн тойрогт багтах талбай юм (Зураг 2).

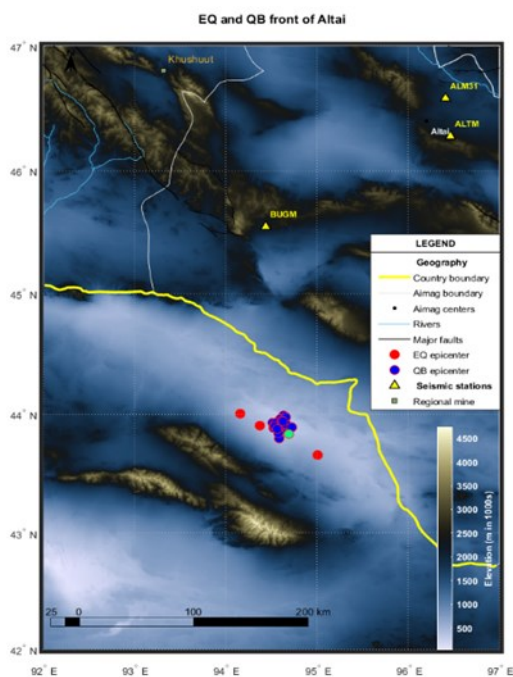
Энэ бүсэд 2017-2022 оны 9 дугаар сард бүртгэгдсэн газар хөдлөлийн каталоогоос магнитуд нь  $M_l > 2$ , өдрийн цагт буюу хамгийн их хөдлөл бүртгэгдсэн (UTC)-ийн 03-05 цаг, 09-11 цагт болсон 30-н тэсэлгээ, шөнийн цагт буюу (UTC)-ийн 13-24 цагт болсон магнитуд нь  $M_l > 4$  нийт 3-н газар хөдлөлтийн мэдээллийг тус тус сонгон авч тооцоонд оруулсан (График 1).



Зураг 2. 2017-2022 оны мэдээллийг ашиглан өдөр шөнийн харьцаагаар тэсэлгээний талбайг тогтоосон байдал

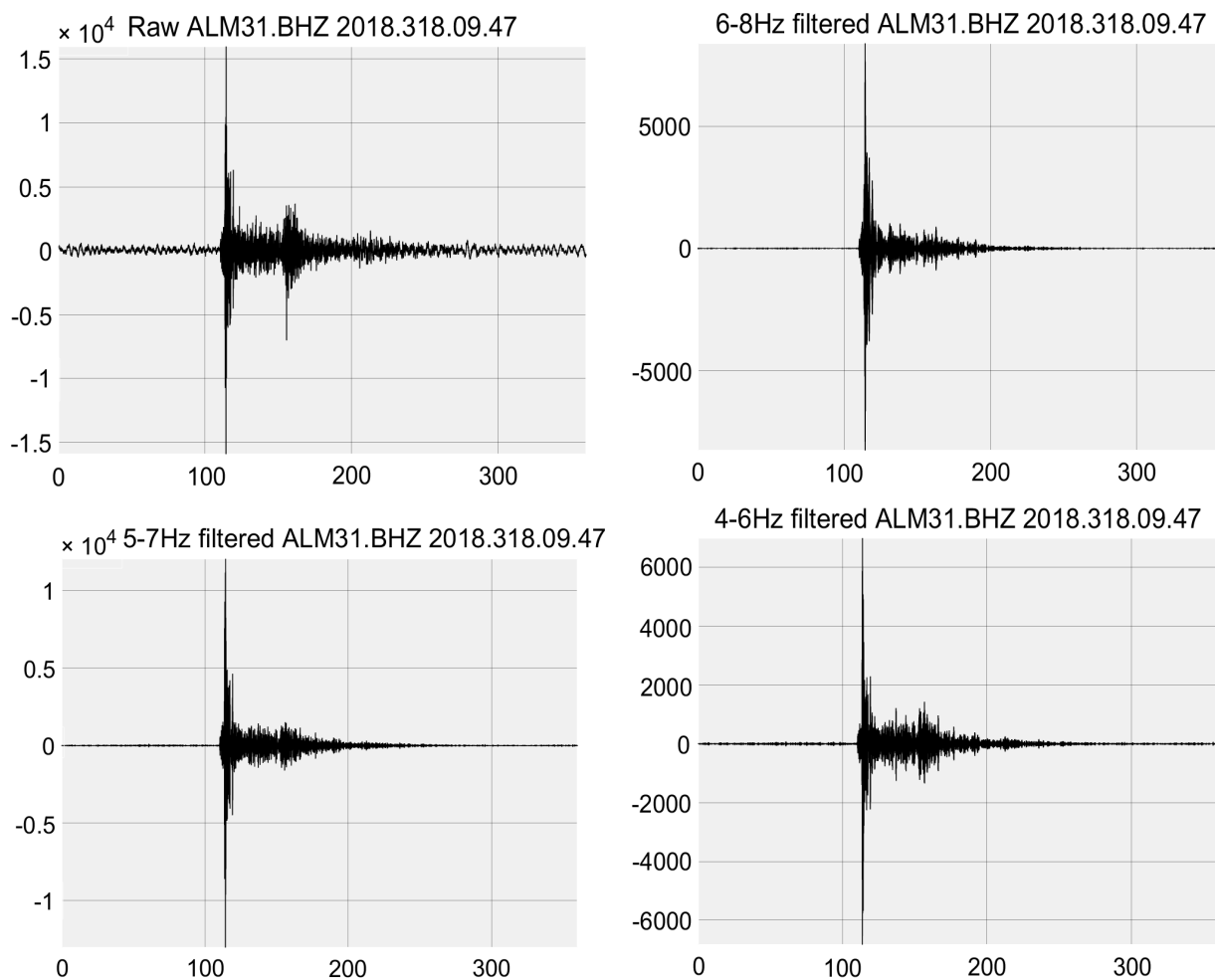
График 1. Газар хөдлөлт бүртгэгдсэн хугацаа



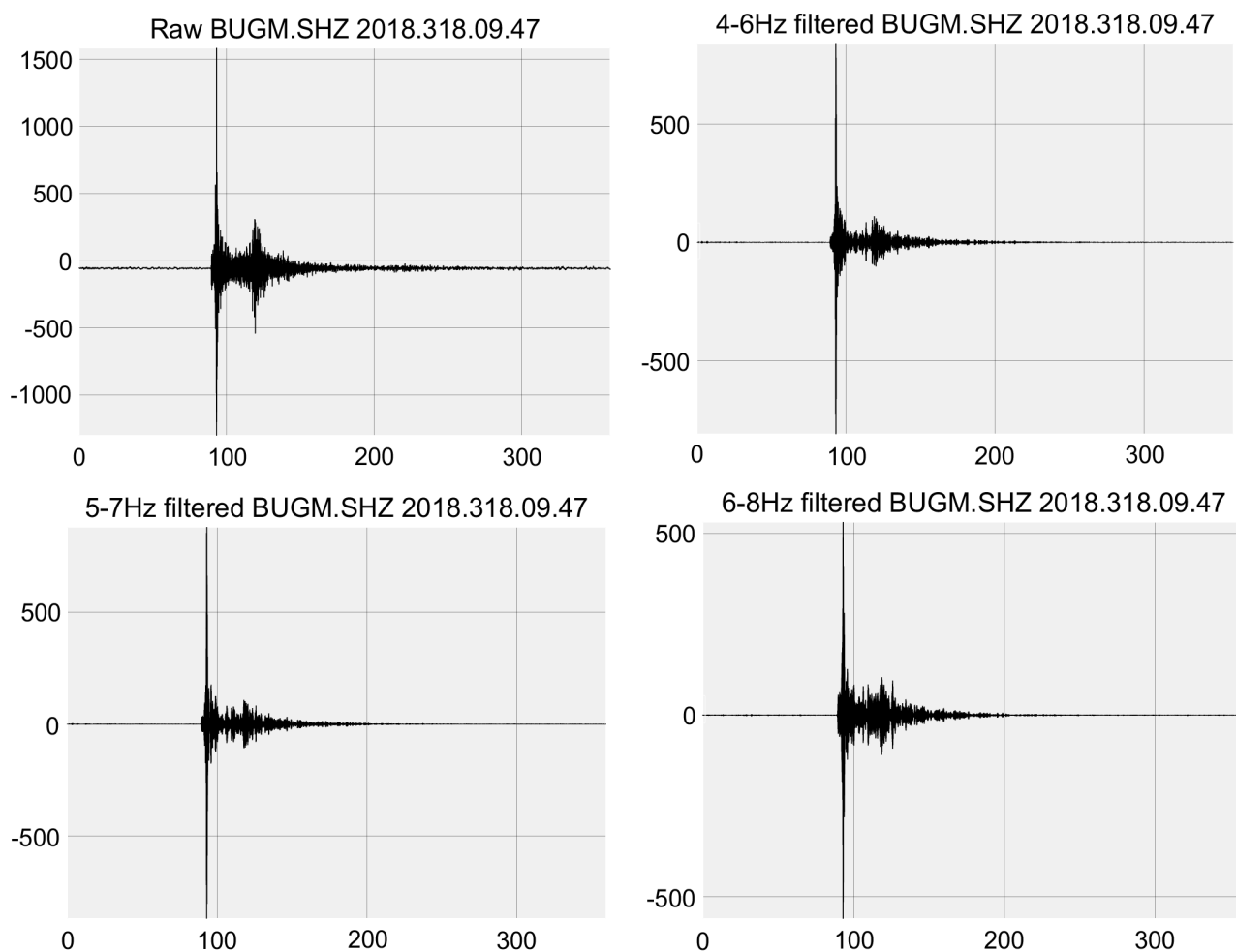


Зураг 3. Тооцоонд оруулсан газар хөдлөлтийн байршил

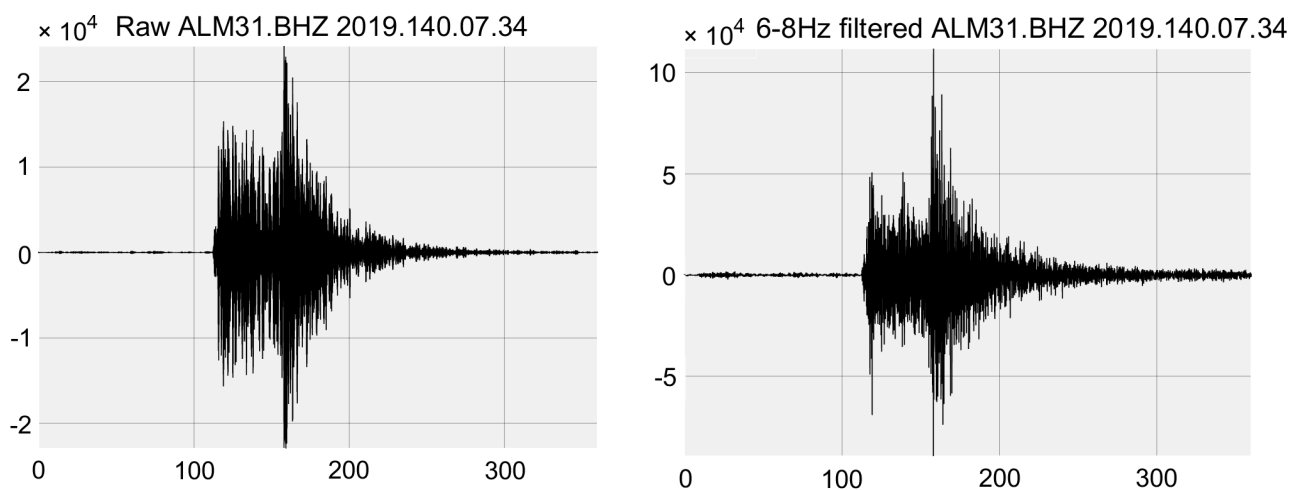
Үндэсний мэдээллийн төвийн газар хөдлөлт бүртгэх BUGM 180 км зайд, ALM станц 362 км зайд буюу хамгийн ойр байрлаж буй станцууд болно. BUGM болон ALM31 станцуудад бичигдсэн 33 газар хөдлөлийн сигналыг 300 секундйн уртаар тасалж боловсруулалтын ажилд бэлдсэн болно (Зураг 3). Бүс нутгийн зайд тэсэлгээний сигналыг 6-8Hz-ийн давтамжийн зурвасын филтер ашиглаж P/S фазын амплитуд харьцаагаар газар хөдлөлийг ялгахад илүү үр дүнтэй гэж (William R. Walter) судалгаанд дурдсан байв. Бэлтгэсэн сигналыг 5-7Hz, 6-8Hz, 4-8Hz, 4-6Hz давтамжийн мужад филтер хийхэд газар хөдлөлт бүртгэх станцын зайнаас хамаарч ялгаатай үр дүн үзүүлсэн. (Хүснэгт 1).



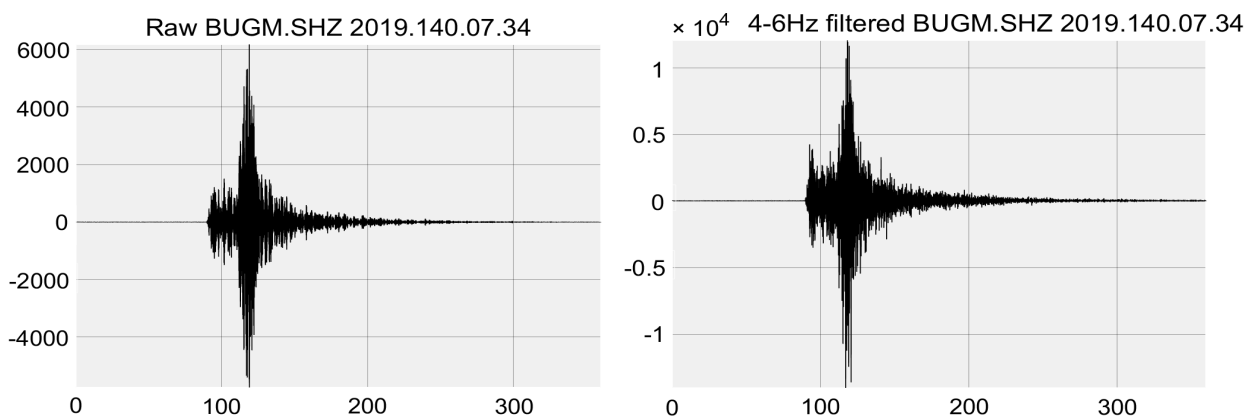
Зураг 4 ALM31 станцад бичигдсэн тэсэлгээний сигналыг зурвасын филтерүүд хийсэн байдал



Зураг 5. BUGM станцад бичигдсэн тэсэлгээний сигналыг зурвасын филтерүүд хийсэн байдал



Зураг 6. ALM31 станцад бичигдсэн газар хөдлөлтийн сигналыг зурвасын филтер хийсэн байдал



Зураг 7. BUGM станцад бичигдсэн газар хөдлөлтийн сигналыг зурвасын филтер хийсэн байдал

Хүснэгт 1. урвасын филтер хийсэн P/S харьцааны утга

Давтамж	5-7HZ		6-8HZ		4-8HZ		4-6HZ		6-8HZ		4-	
	ALM3 1	BUG M	ALM3 1	BUG M	ALM3 1	BUG M	ALM3 1	BUG M	ALM3 1	BUG M	ALM3 1	BUG M
'201810270823'	0.8	0.3	1.7	0.5	0.9	0.3	0.6	0.4	1.7	0.4		
'201810270932'	2.1	0.7	3.1	0.4	2.0	0.9	1.1	1.6	3.1	1.6		
'201811040928'	1.4	1.4	2.8	0.9	0.9	1.1	0.7	1.2	2.8	1.2		
'201811080332'	1.8	1.7	2.8	1.0	1.5	1.8	1.4	2.2	2.8	2.2		
'201811140947'	8.4	2.5	7.3	1.3	4.4	2.5	2.6	2.1	7.3	2.1		
'201811190355'	1.5	1.2	1.6	0.8	1.4	1.5	1.1	1.4	1.6	1.4		
'201811270749'	1.7	0.9	2.8	0.7	1.3	1.2	1.0	1.2	2.8	1.2		
'201812090354'	0.8	1.7	2.1	0.8	0.6	1.4	0.5	1.6	2.1	1.6		
'201812150355'	1.5	1.0	2.5	0.9	1.5	1.4	0.9	1.0	2.5	1.0		
'201812200316'	8.0	3.6	8.5	2.2	2.0	2.7	1.5	2.3	8.5	2.3		
'201812220348'	3.0	2.5	2.4	0.7	3.2	2.6	3.5	2.8	2.4	2.8		
'201903151040'	2.0	0.8	1.6	0.4	0.8	1.4	0.7	1.6	1.6	1.6		
'201903170433'	2.0	1.2	1.9	0.4	1.9	1.3	1.6	1.6	1.9	1.6		
'201903280456'	2.2	1.4	1.7	0.4	1.1	1.1	1.0	1.6	1.7	1.6		
'201904100955'	10.2	2.6	8.2	2.3	6.7	3.2	5.8	3.3	8.2	3.3		
'201905050950'	1.5	1.0	1.1	0.5	0.6	1.3	0.8	1.6	1.1	1.6		
'201905200308'	3.0	1.7	3.7	0.4	1.5	2.2	0.9	2.3	3.7	2.3		
'201905220444'	1.1	0.5	1.8	0.4	0.7	1.3	0.6	1.9	1.8	1.9		
'201905250415'	2.6	1.4	3.7	1.1	1.2	1.4	0.6	1.4	3.7	1.4		
'201905260457'	1.3	0.7	1.8	0.7	1.2	1.0	1.3	1.1	1.8	1.1		
'201905310420'	2.3	1.0	2.1	0.5	1.7	1.0	1.7	1.0	2.1	1.0		
'201906090320'	2.2	1.0	3.6	0.5	1.4	1.2	1.6	1.9	3.6	1.9		
'201906111003'	1.1	0.6	1.4	0.5	0.9	0.7	0.8	0.9	1.4	0.9		
'201910210416'	2.1	2.2	2.4	1.3	2.5	2.6	2.2	2.9	2.4	2.9		
'202005100301'	3.2	1.8	3.6	0.6	3.2	1.9	3.0	2.9	3.6	2.9		
'202011210416'	2.1	1.2	3.7	0.9	1.5	1.5	1.3	1.8	3.7	1.8		
'202105260607'	1.8	0.8	3.1	1.6	1.6	0.8	1.3	0.7	3.1	0.7		
'202106181154'	2.6	1.5	2.2	1.3	2.0	2.3	1.9	2.6	2.2	2.6		
'202208101139'	1.4	0.2	1.1	0.3	1.0	0.2	0.5	0.2	1.1	0.2		
'202209010308'	1.0	0.9	2.0	0.9	0.8	0.9	0.5	0.5	2.0	0.5		
'201811141847'	-	-	-	-	-	-	-	-	1.15	0.36		
'201905200734'	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	0.09		
'202002212200'	-	-	-	-	-	-	-	-	0.56	0.20		



Шөнийн цагт буюу 2019 оны 05 сарын 20-ны 07:34:01 цагт болсон P/S-ын далайцын харьцаа утга ALM31 станцад 0.53, BUGM станцад 0.09 (Хүснэгт 1) гэж үнэлэгдсэн сигналыг тэсэлгээний сигналтай харьцуулж орууллаа (Зураг 6, Зураг 7).

Иймд сонгож авсан ALM31 станцад бүртгэгдсэн сигналыг 6-8Hz, BUGM станцад бүртгэгдсэн сигналыг 4-6Hz давтамжийн мужад тус тус филтер хийж сигнал бүрийн хувьд P болон S долгионы далайцын хамгийн их утгуудыг хооронд харьцуулсан болно.

Өдрийн цагт болсон буюу тэсэлгээ гэж сонгосон ALM31 станцад бичигдсэн

сигналыг 6-8Hz давтамжын мужад филтер хийж P болон S долгионы харьцааг бодуулахад 1.1-8.5 дундаж утга нь 2.94, BUGM станцыг 4-6Hz давтамжын мужад филтер хийж P болон S долгионы харьцааг бодуулахад 0.2-3.3 дундаж утга нь 1.65 байна.

Харин шөнийн цагт болсон буюу газар хөдлөл гэж сонгосон ALM31 станцад бичигдсэн сигналыг 6-8Hz давтамжаар филтер хийж P болон S долгионы харьцааг бодуулахад 0.53-1.15 дундаж утга нь 0.74, BUGM станцыг 4-6Hz давтамжийн мужад филтер хийж P болон S долгионы харьцааг бодуулахад 0.09-0.36 дундаж утга нь 0.21 байна.

## **ДҮГНЭЛТ**

Сонгосон бүсэд өдөр болон шөнийн цагаар болсон нийт 33н газар хөдлөлийн BUGM, ALM31 станцуудад бүртгэгдсэн P болон S долгионы далайцын хамгийн их утгыг харьцууллаа.

Өдрийн цагт болсон санамсаргүй сонгож тооцоонд оруулсан өгөгдлийн P/

S>1 байгаа нь тухайн хөдлөлтүүдийг тэсэлгээ гэж үзэх боломжтой байна. BUGM станцад бүртгэгдсэн тэсэлгээний P болон S долгионы харьцааны хамгийн бага утга 0.2 гарсан нь техникийн шуугиан нөлөөлсөн гэж таамаглаж байна.

## **ТАЛАРХАЛ**

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг

үзүүлэн хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

## **НОМЗҮЙ**

Beno Gutenberg, C. R. (1949). Seismicity of the Earth and Associated Phenomena. Princeton University Press.

Colin T.O'Rourke, G. B. (2016). Using P/S Amplitude Ratios for Seismic Discrimination at Local Distances. Bulletin of the Seismological Society of America, 2320-2331.

columbia.edu. (огноо байхгүй). <http://www.columbia.edu/itc/ideo/earthsci/topic4/topic4.html>-ээс Гаграсан

Jari Kortstrom, M. U. (2016). Automatic

classification of seismic events within a regional seismograph network. Computers and Geosciences, 22-30.

Stefan Wiemer, B. (2000). Bulletin of the Seismological Society of America. Mapping and removing quarry blastevents from seismicity catalogs, хуудас. 525-530.

William R. Walter, E. M. (огноо байхгүй). Empirical observations of earthquake-explosion discrimination using p/s

Л.Тунгалаг, А. (2020). Корреляцийн шинжилгээгээр тэсэлгээний сигналын ижил төстэй байдлыг үнэлэх нь.

Геофизик ба Одон орон судлал, 48-53.

ООГХ. (2022). ООГХ 2022 оны эрдэм шинжилгээ болон үйл ажиллагааны тайлан. Улаанбаатар.

## DISCRIMINATING EARTHQUAKE AND EXPLOSION USING P/S AMPLITUDE RATIO

Dulguun Ayush<sup>1\*</sup>, Tungalag Lkhagva<sup>1</sup>

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

\*Corresponding author: [dulguun@iag.ac.mn](mailto:dulguun@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** Seismograms record seismic waves generated by man-made sources such as mining explosions and nuclear explosions, besides natural earthquakes. Recorded data related to human activity can affect miscalculation in seismic statistical analysis. Therefore, we constantly face problems distinguishing between explosion signals and earthquake signals and how to remove them from the earthquake database. In order to solve these problems, we have selected the mining activity region and distinguished between explosion signals and earthquake signals by the S and P amplitude ratio method.

**Keywords:** *P S amplitude ration, quarry blast*

## БААТАРХАЙРХАН НУРУУНЫ ХАГАРЛЫН ДАГУУХ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН ГОРИМЫН СУДАЛГАА

С.Загдсүрэн<sup>1\*</sup>, П.Батбаяр<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Ховд аймгийн төвөөс 100 гаруй км-ийн зайнд Ховд аймгийн Зэрэг сумын урдуур орших бөгөөд Манхан сумын Баянтүмбэ уулаас Сутай хайрхан хүртэл сунаж тогтсон нурууг Баатархайрханы нуруу гэдэг. Үндэсний мэдээллийн төвийн хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангаас харахад Баатархайрханы нуруу дагуу 1964-2022 онд нийтдээ магнитуд нь 3.5-аас их газар хөдлөлт 10 гаруй удаа болсон байна. Энэ нуруун 2 талын хагарал (Зэрэг ба Цэцэг)-ын дагуух бүс нутагт 1964-2022 онд 770 гаруй удаагийн газар хөдлөлт тохиолдсон бөгөөд  $M \leq 1.0$  хөдлөл 293 удаа,  $M > 1.0$  хөдлөл 477 удаа,  $M \geq 2.0$  хөдлөл 100 удаа,  $M \geq 3.0$  хөдлөл 22 удаа,  $M \geq 4.0$  хөдлөл 6 удаа тус тус бүртгэгджээ. Сүүлийн жилүүдэд магнитуд 4.1 (2021/02/15), магнитуд 4.8 (2021/12/24), магнитуд 3.8 (2022/06/30) зэрэг мэдэгдэм хүчтэй газар хөдлөлтүүд тус тус болсон. 1999-2022 оны мэдээллийн санд “мэдээлэл гүйцээлт” хийснээр магнитуд нь 1.0 болон түүнээс дээш хүчтэй газар хөдлөлтүүд баруун бүсийн станцуудад бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэж тооцон газар хөдлөлтийн давтамжийн муруйг гаргахад газар хөдлөлтийн горимын утга  $b = 0.666 \pm 0.03$  (Magnitude completeness = 1.1) байгаа нь деформацийн хүчдэлийн чөлөөлөгдөх процесс харьцангуй дундаж түвшинд байна. Мөн газар хөдлөлт давтагдлын утга нь багасаж, харин идэвхжилтийн зэрэг 3.39 байгаа нь сүүлийн жилүүдэд сулавтар газар хөдлөлтийн тоо өсөж байгааг харуулж байна. Энэ бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийн 23 жилийн хугацааны мэдээлэлд үндэслэж гаргасан Пауссоны түгэлтийн үр дүнгээр магнитуд нь 3.5-аас дээш хүчтэй газар хөдлөлт нэг жилд нэг удаа болох магадлал 41%, 2 удаа болох магадлал 17% гэж тус тус гарсан бол магнитуд нь 4.0-ээс хүчтэй газар хөдлөлт 1 жилд нэг болох магадлал 29,8%, 2 удаа болох магадлал 12,3% байна гэсэн тооцоолол гарсан.

*Түлхүүр үг:* Геодинамик, деформац, GNSS, царцдасын шилжилт хөдөлгөөн

### ОРШИЛ

Баруун Монголын Алтайн уулс нь Гималайн хойд зүгт 2500 км-ийн зайд орших Энэтхэг-Евразийн мөргөлдөөний идэвхтэй бүс нутгийн хойд хэсгийг бүрдүүлдэг (Edwin Nissen, 2009). Ховд аймгийн төвөөс 100 гаруй км-ийн зайнд Ховд аймгийн Зэрэг сумын урдуур орших, Манхан сумын Баянтүмбэ уулаас Сутай уул хүртэл сунаж тогтсон нурууг Баатарын нуруу гэдэг.

Энэ нурууны хойд бэлээр бүхэлдээ хагарлын ул мөрүүд ихтэй, довцог толгодоос бүрдсэн, газар хөдлөлт

сүүлийн үед нэлээд ажиглагдаж байгаа бүс нутаг юм. Баатархайрханы нуруу нь Алтай дахь хүчтэй гулсалтын хагаралтай холбоогүй бөгөөд түүний өргөлт нь бэлийн дагуух хэд хэдэн түлхэлтийн хагарлаар бий болсон харагддаг. Эдгээр түлхэлтийн хэд хэдэн хэсэг нь хожуу дөрөвдөгч үеийн шороон ордын дундуур гадаргуун эвдрэлийг үүсгэдэг (Edwin Nissen, 2009).

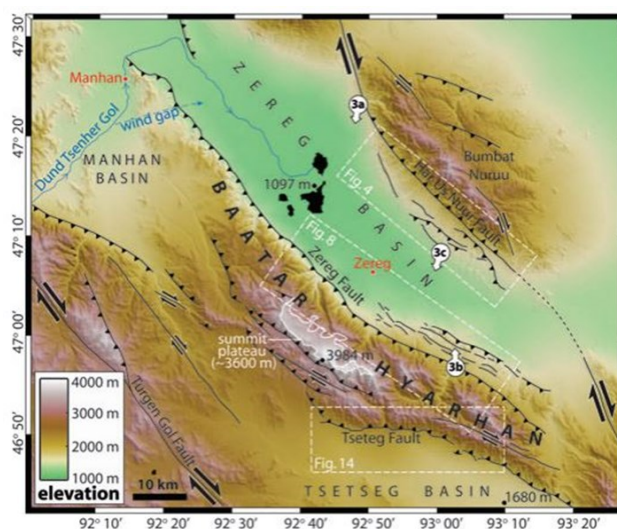
Баатархайрхан уулын хойд болон урд хэсгээр хагарлуудын ул мөр ажиглагддаг. Эдгээр хагарлын ул мөр, тогтоц байдал, өргөдлийн шинж, геологийн

нөхцөл байдлын талаар А.Баясгалан доктор судалсан байдаг. Баатархайрхан нурууны хойд хэсгээр ажиглагддаг хагарлын системийг Зэрэг хагарал, урд хэсгийн нэлээд эвдрэлтэй хагарлын ул мөрийг Цэцгийн хагарал гэж нэрлэсэн. Энэ талаар А.Баясгалан, Edwin Nissen нарын бичсэн “Late Quaternary rates of uplift and shortening at Baatar Nyarhan” өгүүллээс харж болох юм. (Зураг 1)-ээс Баатархайрханы нурууны дагуух хагарлын системийн зураглалыг харж болно.

*Зэрэг хагарал* (Edwin Nissen, 2009). Зэрэг хагарлын төв хэсэг нь Баатархайрханы нурууны баруун хойд талаар үргэлжилсэн, зэргэлдээ массивын хамгийн өндөр хэсгүүдээс бүрдсэн. Зэрэг хагарлын хамгийн тод хэсэг нь зүүн уртрагийн  $92^{\circ}47'30''E$ , хойд өргөргийн

$47^{\circ}02'30''N$  харагддаг (Edwin Nissen, 2009). Яг төв хэсэгтээ 2-оос цөөнгүй дэнж, довцгууд ажиглагддаг. Зэрэг хагарлын урт ойролцоогоор 110км үргэлжилдэг (Зураг 2).

*Цэцгийн хагарал* (Edwin Nissen, 2009). Гадаргуугийн хагарлын ул мөр Ховд аймгийн Цэцэг сумын хойд хэсэг буюу Цэцэг нуурын хойд нуруунд ажиглагддаг. Цэцэг хагарлын дагуух хамгийн тод нь  $46^{\circ}51'N$ ,  $92^{\circ}56'E$ -д байх бөгөөд уулын хяраас 500 м-ийн зайд атираажсан, зүсэгдсэн хурдсуудын хөндлөн огтолсон харагддаг. Байрлалын хувьд  $46^{\circ}52'N$ ,  $92^{\circ}43'E$ -ийн баруун хойд хэсэгт идэвхтэй хагарал нь Цэцэг, Манханы сав газрын хоорондох уулархаг газрыг дайран өнгөрдөг (Зураг 2).



Зураг 1. Баатархайрхан нурууны хагарлын системийн цогц байдал ба геологийн зураглал (Edwin Nissen, 2009)

## ОНОЛЫН ҮНДЭС

### Гутенберг-Рихтерын хууль

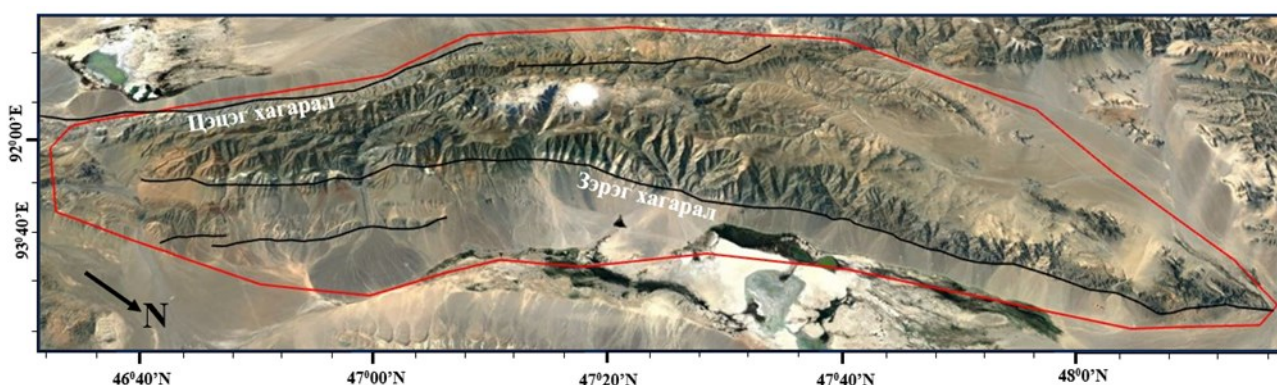
Жил бүр олон жижиг газар хөдлөлт, цөөн хэдэн том газар хөдлөлт болдог. 1954 онд Гутенберг, Рихтер нар 1918-1945 оны хооронд жил бүр магнитуд нь 4 -4,9-тэй газар хөдлөлт 6000 гаруй, магнитуд 6-6,9-тэй газар хөдлөлт дунджаар 100 удаа болсон үзүүлэлтүүдийг ашиглан дүн шинжилгээ

хийсний үр дүнд газар хөдлөх жилийн давтамж (N) ба магнитуд (Ms) хоорондын хамаарал нь логарифм байна гэж гаргаж ирсэн.

$$\log N = a - bM \quad (1)$$

энд, a утга нь нэг бүс нутгаас нөгөө рүү шилжихэд 8 ба 9-ийн хооронд, харин b нь бүс нутгийн хувьд нэгж рүү дөхдөг. (Angelo De Santis, 2009).





Зураг 2. Баатархайрхан уулын хагарлын системийг зураглаж харуулсан нь

Энэхүү хамаарлын давтамжийн муруй (Гутенберг-Рихтерын хууль)-г газар хөдлөлтийн идэвхжил өндөр бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангийн өгөгдлөөр тооцоолон зурж үр дүнгээр нь газар хөдлөлтийн идэвхжилтийн зэрэг болон давтагдлын хугацааг тооцоолдог.

*Пауссоны процесс ба түгэлт*  
Пауссоны процесс гэдэг нь хоёр процессын хоорондох дундуу хугацаа мэдэгдэж байгаа боловч яг дараагийн тохиолдол болох хугацаа санамсаргүй процессыг загварчлалыг хэлнэ. Өөрөөр хэлбэл дараагийн болох тохиолдол нь өмнөх тохиолдолоос үл хамааралтай байна. (memeorless)

Жишээ нь магнитуд 5,5 аас дээш газар хөдлөлт монгол орны нутаг дэвсгэрт 1957 оноос хойш 87 удаа болсон. Статистикаар жилд дундажаар 1,3 болдог байна. Хэрэв сүүлийн сарын дотор 2 болсон бол дараагийн 12 сард болох магадлал мөн л 1,3 байна. Энд хөдлөлт болох дундаж хугацаа нь бас санамсаргүй хугацаа байна.

Пауссоны процесс нь дараах критерийг хангасан байна.

- Тохиолдолууд нь хоорондоо үл хамааралтай байна. Аль нэг тохиолдол нь нөгөө тохиолдол болох магадлалд нөлөөлөхгүй
- Тохиолдол болох дундаж хугацаа тогтмол байна.
- 2 тохиолдол зэрэг болж болохгүй Пауссоны процессын жишээнд Тусламжийн төв рүү утасдах тохиолдолууд, вэб сайтад орох хүний

тоо, солир дэлхий дээр унах, газар хөдлөлт гэх мэт байж болох юм.

Пауссоны процесс нь санамсаргүй тохиолдолын тайлбарлах загварчлал нь юм. Пауссоны түгэлтийг мэдсэнээр тодорхой хугацаанд болох тохиолдолын магадлалыг эсвэл дараагийн тохиолдол болох хугацааны магадлалыг үнэлдгээрээ бидний хувьд илүү сонирхолтой бөгөөд ач холбогдолтой.

$$P(k) = e^{-\frac{\text{events}}{\text{time}} * \text{time period}} * \frac{(\frac{\text{events}}{\text{time}} * \text{time period})^k}{k!} \quad (2)$$

Энд,  $k$  – тодорхой хугацаанд  $k$  -тохиолдол болох магадлал

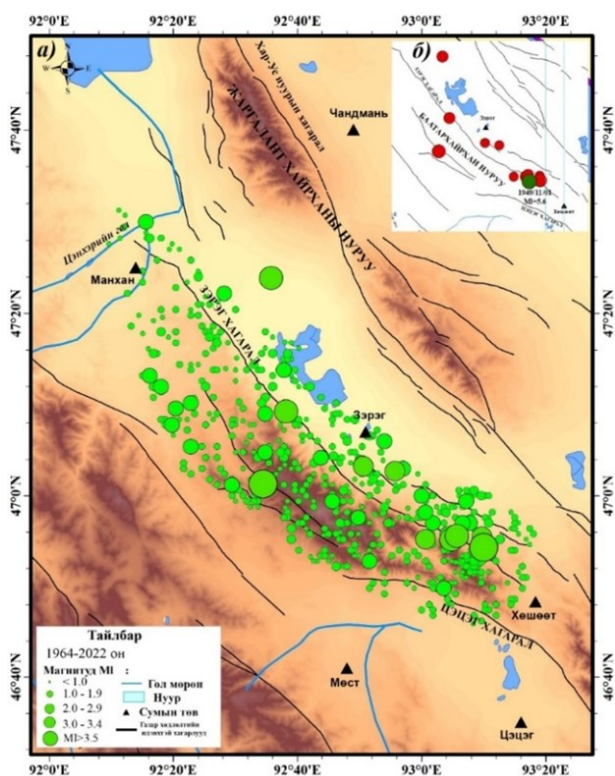
$$\frac{\text{events}}{\text{time}} * \text{time period} = \lambda \quad \text{then}$$

$$P(k) = e^{-\lambda} * \frac{\lambda^k}{k!} \quad (3)$$

Энд,  $\lambda$  тодорхой(нэгж) хугацаанд хамаарах тохиолдол

### СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ, МЭДЭЭЛЛИЙН САН БҮРДҮҮЛЭЛТ

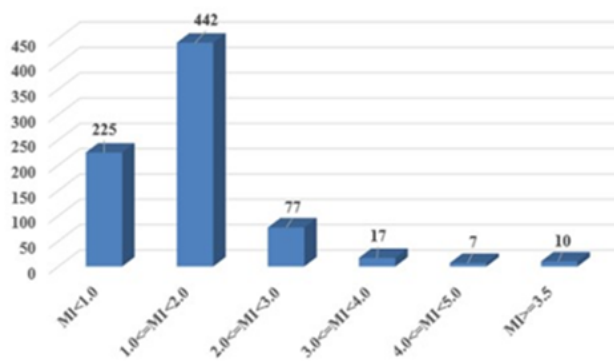
Зураг 3-д 1964-2022 онд болсон Баатархайрхан нурууны дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн идэвхжлийг харуулав. Хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангаас харахад Баатархайрханы нуруу дагуух хагарлуудын орчимд 1964-2022 онд нийтдээ магнитуд нь 3.5-аас их газар хөдлөлт 10 гаруй удаа болсон байна. Үүнээс магнитуд 5.6 (1949/11/01)-тай, магнитуд 4.6 (1999/03/27)-тай, магнитуд 4.2 (2010/03/29)-той хүчтэй газар хөдлөлтүүд болсон байдаг (Зураг 3б-ийн баруун дээд буланд тэмдэглэсэн).



Зураг 3. а) 1964-2022 онд болсон Баатархайрханы нурууны хагарлын системийн дагуух газар хөдлөлтийн төвийн тархалтыг харуулсан. б) 1900-2022 онд тухайн бүс нутагт тохиолдсон түүхэн газар хөдлөлтийн мэдээллийг үзүүлсэн

Энэ уулын 2 талын хагарал (Зэрэг ба Цэцэг)-ын дагуух бүс нутагт 1964-2022 онд 770 гаруй удаагийн газар хөдлөлт тохиолдсон бөгөөд  $MI \leq 1.0$  хөдлөл 293 удаа,  $MI > 1.0$  хөдлөл 477 удаа,  $MI \geq 2.0$  хөдлөл 100 удаа,  $MI \geq 3.0$  хөдлөл 22 удаа,

$MI \geq 4.0$  хөдлөл 6 удаа тус тус бүртгэгджээ (Зураг 3а). Сүүлийн жилүүдэд магнитуд 4.1 (2021/02/15)-тай, магнитуд 4.8 (2021/12/24), магнитуд 3.8 (2022/06/30)-тай хүчтэйвтэр газар хөдлөлтүүд тус тус болсон. (Зураг 4)-д Баатархайрхан нурууны хагарлын системд болсон газар хөдлөлтийг магнитудаар ангилж харуулав.



Зураг 4. Баатархайрханы нурууны хагарлын системийн дагуу болсон газар хөдлөлтийг магнитудаар ангилж харуулсан үр дүн

Сүүлийн жилүүдэд Баатархайрханы нурууны орчимд болсон хүчтэй газар хөдлөлтүүд хэд хэдэн удаа болсон бөгөөд хүчтэй хөдлөлтийн дараах макро судалгааны үр дүнг дор харуулав.

- 2021/02/15-ны макро мэдээний судалгаагаар газар хөдлөлтийн голомтын ойролцоо болох Шар хөтөлд өвөлжиж байгаа малчин н.Алтансүхийн гэрт гэнэтийн нүргэлсэн чимээ гарч, хад чулуу нурж байгаа шиг дуу чимээ сонсогдсон байна. Хавцал газар учраас битүү нүргэлсэн дуу гарсан гэж мэдэгдсэн. Иргэдийн өгсөн судалгаагаар тооцож үзэхэд Зэрэг сумын төв болон Бургасан баг, Гүвээ багийн нутагт III-IV баллаар мэдрэгдсэн байна.
- 2021/12/24-ны макро мэдээний судалгаагаар Дарви сумын төвийн иргэдэд дотор муухайрах, яндан зуух харших, том машин явж байгаатай адил чичиргээ үүссэн, хүчтэй хүнгэнэх дуу сонсогдох гэх зэргээр мэдэрсэн ба уг газар

хөдлөлт нь Дарви сумын төвийн иргэдэд IV-V баллаар мэдрэгдсэн байна гэсэн дүгнэлт гарсан.

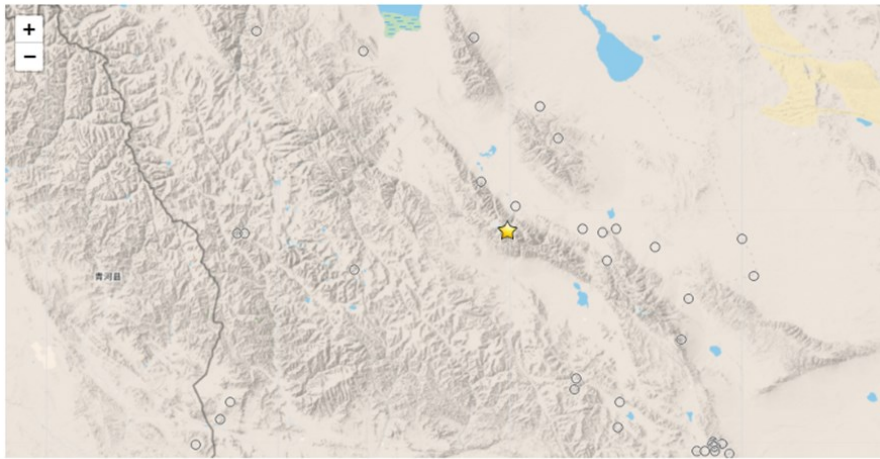
Жишээ 1: Зэрэг хагарлын систем дээр 2022 оны 06-р сарын 03-ны өглөө УБ-ийн цагаар 05:15:03-д хойд өргөргийн

46.95N, зүүн уртрагийн 92.80E-д, 10км орчмын гүнд Рихтерийн шаталбараар магнитуд нь 3.9-тэй тэнцэх хүчтэй газар хөдлөлт Ховд аймгийн Зэрэг сумаас урд зүгт 17км зайнд болсон (Зураг 5).

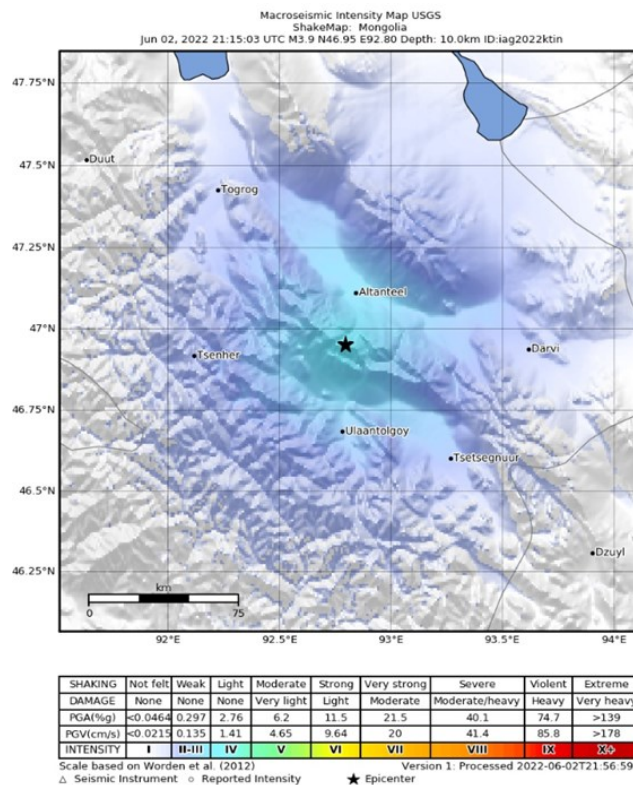
Тухайн газар хөдлөлтийн

М 3.9 - Ховд аймгийн Зэрэг сумаас Урд зүгт 17км зайнд

2022-06-02 21:15:03 | 46.95° 92.8° | 10км гүнд  
— Буцах



Зураг 5. Зэрэг хагарлын системд болсон газар хөдлөлтийн эпицентийг харуулав (Хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээнээс иш татав)

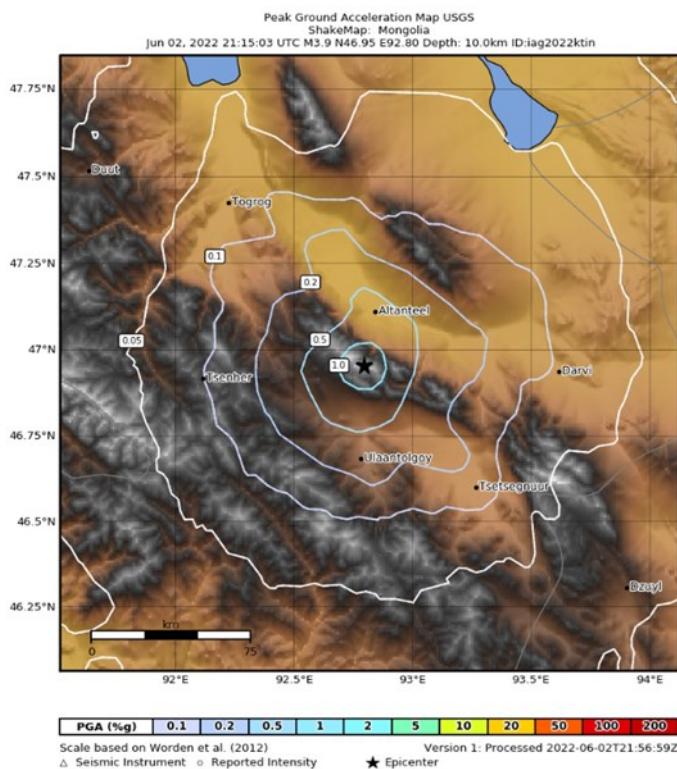


Зураг 6. Голомтоос тарж газар хөдлөлтийн эрчимжилт (Балл)-ийн замхралтыг харуулсан нь (Хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээнээс иш татав)



голомтоос тарсан газар хөдлөлтийн эрчимжилт (Балл)-ийн замрхалтын онолын гаргасан тооцооллоор гаргасан зураглалыг харуулав (Зураг 6). Зургаас харахад газар хөдлөлтийн голомтоос тарах эрчимжилт нь IV-V байсан бөгөөд хамгийн ойрхон орших Зэрэг сумын иргэдэд III-IV баллаар мэдэгджээ.

Хөрсний оргил хурдатгал нь голомтын орчимд 6.2 gal, оргил хурд нь 4.65см/сек тус тус байсан бол тодорхой хэмжээний зайнд оргил хурдатгал нь 0.297 gal болтлоо буурч замхралт хурдан явагджээ (Зураг 7).



Зураг 7. Голомтоос тарж буй оргил хурдатгын замхралтыг харуулав (Хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээнээс иш татав)

## СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

### Горимын судалгаа

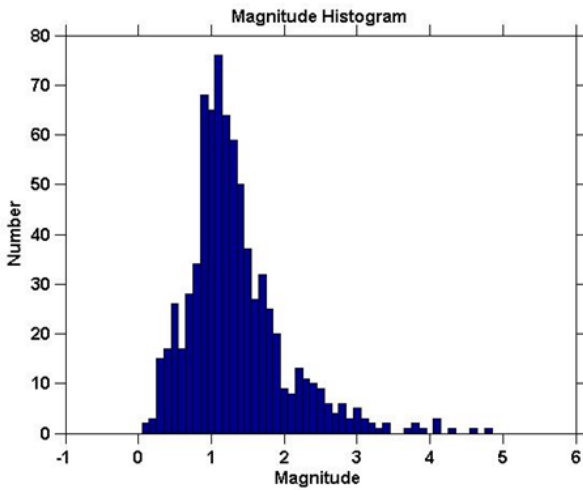
Баатархайрханы нурууны хагарлын системийн дагуух бүс нутагт 1964-2022 онд болсон газар хөдлөлтийн тоо ба магнитудын хамаарлыг (Зураг 8)-т, мөн тухайн жилд болсон газар хөдлөлтийн тоо хэмжээ, хугацаа (жилээр) -ны хамаарлыг (Зураг 9)-т тус тус харуулсан ба жил бүрийн газар хөдлөлтийн статистик тоо хэрхэн өөрчлөгдсөнийг харж болно.

Зураг 8-аас дүгнэхэд энэ бүс нутагт магнитуд нь 1-2-той газар хөдлөлтүүд ихэвчлэн тохиолддог, хүчтэй

газар хөдлөлтүүд цөөн тоогоор бүртгэгдсэн нь харагдаж байна.

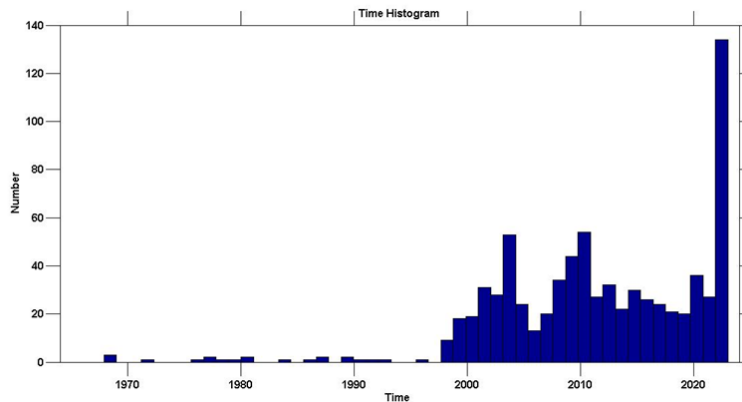
Зураг 9-аас дүгнэхэд 1999 оноос хойш газар хөдлөлтийн бүртгэгдсэн тоо баримт ихэссэн байгаа нь газар хөдлөлтийг бүртгэх станцуудын тоо болон хүчин чадал нэмэгдэж, сул газар хөдлөлтүүдийг бүрэн бүртгэсэнтэй холбоотой байж болох юм. Гэхдээ жил бүрийн газар хөдлөлтийн тоо харилцан адиггүй байгаа нь газар хөдлөлтийн идэвхжил жил бүр өөрчлөгдөж байгааг харж болох юм.



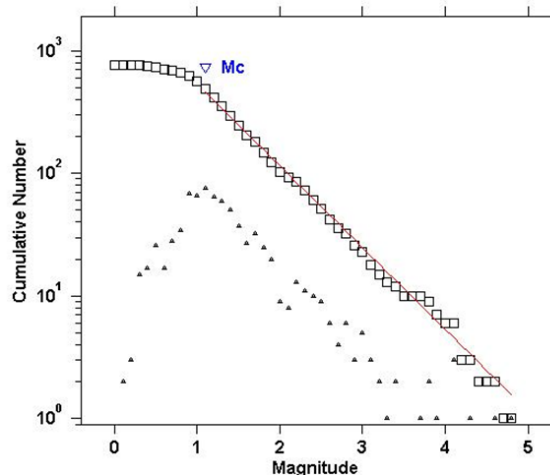


Зураг 8. Газар хөдлөлтийн тоо ба магнитудын хамаарал

Иймд Зураг 10-т анализ хийж 1999-2022 оны мэдээллийн санд “мэдээлэл гүйцээлт” хийснээр магнитуд нь 1.0 болон түүнээс дээш хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэж тооцон газар хөдлөлтийн давтамжийн муруйг гаргахад газар хөдлөлтийн давтагдлын утга  $b=0.666\pm 0.03$  (Magnitude completeness =1.1) байгаа нь деформацийн хүчдэлийн чөлөөлөгдөх процесс харьцангуй бага түвшинд байна. Мөн газар хөдлөлт давтагдлын утга нь багасаж, харин идэвхжилтийн зэрэг 3.39 байгаа нь сүүлийн жилүүдэд сулавтар газар хөдлөлтийн тоо өсөж байгааг харуулж байна (Зураг 11).



Зураг 9. Газар хөдлөлтийн тоо хэмжээ, хугацаа (жилээр)-ны хамаарал



Maximum Likelihood Solution  
 $b$ -value = 0.666 +/- 0.03,  $a$  value = 3.39,  $a$  value (annual) = 1.65  
 Magnitude of Completeness = 1.1

Зураг 11. Газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй (Гутенберг-Рихтерийн хууль,  $M_c=1.1$ )

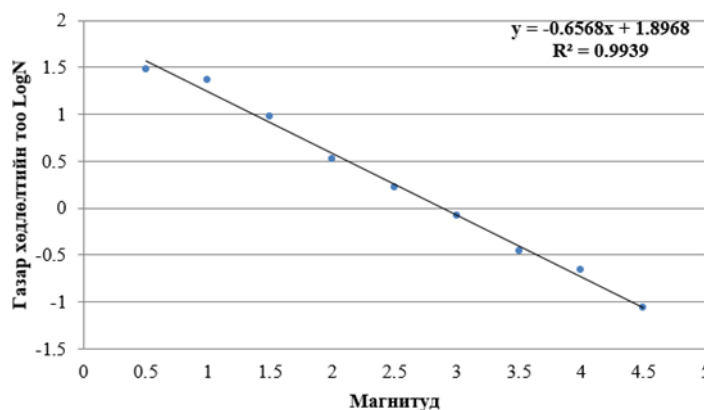
Пауссоны түгэлт ба магадлал

Баатархайрханы нурууны хагарлын системийн дагуух газар хөдлөлтийн 1999-2022 оны 23 жилийн хугацааны мэдээлэлд үндэслэж жилийн хугацаанд хүчтэй газар хөдлөл болох магадлалыг Пауссоны түгэлтээр тооцоолон гаргасан. Баруун бүсийн газар хөдлөлтийг бүртгэх станц нь 1999 оноос

хойш магнитуд нь 0.5-аас дээш хүчтэй хөдлөлтийг бүрэн бүртгэх боломжтой болсон нөхцлийг харгалзан Гутенберг-Рихтерийн хуулиар 23 жилийн дундаж газар хөдлөлтийн тооны логарифм утга нь магнитудаас хэрхэн хамаарч байгааг харуулав (Зураг 12). (Хүснэгт 1)-д 23 жилийн мэдээлэлд тооцоолол хийсэн аргачлыг харуулав.

Хүснэгт 1. Мэдээлэлд тооцоолол хийсэн аргачлал

Магнитуд	Газар хөдлөлтийн тоо	Хугацаа	Жилийн дундаж хөдлөлтийг тоо	LogN
0.5	691	23	30.04347826	1.477750211
1	530	23	23.04347826	1.362548034
1.5	217	23	9.434782609	0.974731898
2	77	23	3.347826087	0.524762889
2.5	38	23	1.652173913	0.218055761
3	19	23	0.826086957	-0.082974235
3.5	8	23	0.347826087	-0.458637849
4	5	23	0.217391304	-0.662757832
4.5	2	23	0.086956522	-1.06069784



Зураг 12. Газар хөдлөлтийн тооны логифм утга ба магнитуд хоорондын хамаарал (Гутенберг-Рихтерийн хууль,  $M_c=0.5$ )

Дээрх үр дүнгээс газар хөдлөлтийн давтагдлын утга  $b=0.6568$ , идэвжлийн зэрэг  $a=1,89$  гарсан нь 23 жилийн хугацаанд болсон газар хөдлөлтийн давтагдлын горим нь харьцангуй дундаж түвшинд, идэвхжлийн зэрэг бага түвшинд тооцогджээ. Энэ нь энерги чөлөөлөгдөх

процесс багатай байна гэж дүгнэж байна (Зураг 12).

Пауссоны түгэлт (2)-ийн үр дүнгээр тооцоолж үзэхэд магнитуд нь 3.5-аас дээш хүчтэй газар хөдлөлт 1 жилд 1 удаа болох магадлал 41%-тай, 1 жилд 2 удаа болох магадлал 17%-тай гэж гарсан. Мөн

магнитуд нь 4.0-ээс хүчтэй газар хөдлөлт 1 жилд 1 удаа болох магадлал 29.8%, 2-оос дээш болох магадлал 12.3% тус тус гарсан. Энэ үр дүнгээс дүгнэхэд жил бүр тохиолдох мэдэгдэм хүчтэй газар хөдлөлт

болох магадлал харьцангуй бага түвшинд байна. Хүчтэй газар хөдлөлтийн тооны хувьд харьцангуй бага учраас Пауссон түгэлтийн тооцоололд бага зэргийн алдаа гарсан байх талтайг үгүйсгэхгүй.

## ДҮГНЭЛТ

Сүүлийн жилүүдэд газар хөдлөлтийн статистик тоо баримт өсөж, зарим газруудад мэдэгдэм хүчтэй газар хөдлөлтүүд тохиолдож байна. Эдгээр газар хөдлөлтүүдийн чичирхийлэл нь Ховд аймгийн төв болон хүн ам түлхүү суурьшсан суурин газруудад мэдрэгдэж ард иргэд газар хөдлөлтийн нөлөөллөөс үүсэх нөлөөллийг их бага хэмжээгээр мэдсэн. Тиймээс газар хөдлөлтийн болзошгүй аюулын эрсдлийг үнэлэх,

идэвхжилийг судлах, тандах асуудал чухал юм.

Мөн газар хөдлөлт давтагдлын утга нь багасаж, харин идэвхжилтийн зэрэг 3.39 байгаа нь сүүлийн жилүүдэд сулавтар газар хөдлөлтийн тоо өсөж байгааг харуулж байна. Эндээс дүгнэхэд газар хөдлөлтийн идэвхжил хэдий дундаж түвшинд байгаа ч хүчтэй газар хөдлөх магадлал өндөр байгааг илтгэж байна.

## НОМЗҮЙ

Angelo De Santis, G. G. (2009). The Gutenberg-Richter Law an energy of Earthwakes: Two case studies in Central Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 101, No. 3, , pp. 1386–1395, June 2011, doi: 10.1785/01.

Cunningham D, W. D. (1996). A structural transect across the Mongolian Altai: active transpressional mountain building in central Asia, *Tectonics*.

Edwin Nissen, R. W. (2009). Late Quaternary rates of uplift and shortening at Baatar Hyarhan. *Geophys. J. Int.* (2009) 177, 259–278.

Ulziibat M. (2006). *The 2003 Chuya sequence (North Altay range): tectonic context and seismological study*. page 20-40.

М.Адъяа. (2020). *Газар хөдлөлт*. Улаанбаатар: ху 83-84.

Одон орон, г. х. (2021). *Эрдэм шинжилгээний болон үйл ажиллагааны 2021 оны тайлан*. Улаанбаатар.

Хилько С.Д, И. Д. (1985). *Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии*. Москва "НАУКА".

## STUDY OF SEISMIC REGIME IN FAULT ALONG THE BAATARKHAIRKHAN.

Zagdsuren Sainbayar<sup>1\*</sup>, Batbayar Purevkhoo<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of Astronomy and Geophysics of the Mongolian Academy of Sciences\*Corresponding author: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** Baatarhairhan mountain is a mountain range that is more than 100 km away from the center of Hovd Province and extends from Bayantumbe Mountain of Manhan Sum to Sutai Mountain in front of Zereg Sum of Hovd Province. The entire northern foothills of this mountain range is a region with many traces of faults, consisting of hillocks, where earthquakes have been observed recently. According to the database of strong earthquakes, more than 10 earthquakes with a magnitude greater than 3.5 have occurred in the vicinity of the faults along the Baatharkhairkhan ridge from 1964 to 2022. Among them, strong earthquakes with magnitude 5.6 (1949/11/01), magnitude 4.6 (1999/03/27), and magnitude 4.2 (2010/03/29) have occurred. marked in the upper right corner of Figure 15). More than 770 earthquakes occurred in 1964-2022 in the region along the rifts on both sides of this mountain (Zereg and Tsetse),  $M_l \leq 1.0$  earthquakes 293 times,  $M_l > 1.0$  earthquakes 477 times,  $M_l \geq 2.0$  earthquakes 100 times,  $M_l \geq 3.0$  motion was recorded 22 times, and  $M_l \geq 4.0$  motion was recorded 6 times respectively. By "completing information" in the 1999-2022 database, it is assumed that earthquakes with a magnitude of 1.0 or more can be completely recorded. The stress release process is at a relatively average level, which indicates that there is a 30% chance of a strong earthquake. Also, the frequency of earthquakes has decreased, but the degree of activity is 3.39, which indicates that the number of weak earthquakes has increased in recent years.

**Keywords:** *Magnitude completeness, magnitude, activity, recurrence, mode study*



## МОНГОЛ ОРНЫ ЦАРЦДАСЫН ЗУЗААН, ТҮҮНИЙ СЕЙСМИК ХУРДНЫ $V_p/V_s$ ХАРЬЦАА

Ц.Баасанбат<sup>1,2</sup>, Ч.Одонбаатар<sup>1</sup>, Ц.Баатарчулуун<sup>2</sup>, М.Дэмбэрэлдулам<sup>1,2</sup>, Б.Цогтоо<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

<sup>2</sup>МУИС-ийн ШУС, Геологи, Геофизикийн Тэнхим

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [baasanbat@iag.ac.mn](mailto:baasanbat@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Монгол орны царцдасын зузааныг газар хөдлөлт бүртгэх өргөн зурвасын станцуудын мэдээлэл ашиглан холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн  $N-k$  stacking дүн шинжилгээгээр тодорхойллоо. Судалгааны үр дүнг бусад сейсмологийн судалгааны үр дүн болон дэлхийн царцдасын CRUST1.0 загвартай нэгтгэж Монгол орны царцдасын зузааны тойм зураг гаргав. Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд, Монгол орны царцдас зүүнээсээ баруун тийш зузаарч байна. Баруун Монголын царцдасын зузаан 63 км хүрч байхад Монгол орны зүүн хязгаарт царцдасын зузаан 35.9 км хүрч байна. Монгол орны төвийн хэсгээр царцдасын зузаан дунджаар 45 км орчим байна. Царцдасын зузааны энэ ялгаатай байдал изостацийн хуулиар тайлбарлагдаж болно.

**Түлхүүр үг:** Царцдас, царцдасын зузаан, хүлээн авагчийн функц

### ОРШИЛ

Дэлхийн гадаргуугийн 41%-ийг эзэлдэг эх газрын царцдас, түүний дотоод гүний тогтоц, бүтэц найрлагын тухай танин мэдэх нь байгалийн шинжлэх ухааны нэг чухал судлагдахуун юм. Дэлхий нь гүн рүүгээ бүслүүрлэг тогтоцтой бөгөөд дэлхийн дотоод гүний тогтоцыг физикийн шинж чанараар нь ерөнхийд нь литосфер, астеносфер, мезосфер, гадаад цөм, дотоод цөм гэж, химийн найрлагаар нь ерөнхийд нь царцдас, манти, цөм гэж хуваан авч үздэг байна.

Газар хөдлөлтийн долгион нь дэлхийгээр, дэлхийн дотоод гүнээр тархах чадвартай бөгөөд сейсмик долгионыг ашиглан царцдас, доод царцдасын найрлага бүтцийг илэрхийлж чадах уян харимхайн шинж чанарыг судалж болдог. Мөн түүнчлэн царцдасыг геофизикийн арга техникүүдийн шууд бус аргаар хэмжиж, царцдасын физик параметруудийг хэмжиж болдог байна. Царцдасын энэ физик параметруудээс сейсмологийн судалгаагаар тодорхойлох

боломжтой нэг шинж чанар нь түүгээр тархах сейсмик долгион юм. Газар хөдлөлтөөс үүссэн сейсмик долгионы шинж чанар, давтамжийн агууламж нь дэлхийн дотоод гүний тогтоц, ялангуяа царцдасын стрүктүр болон найрлагаас ихээхэн хамаардаг. Газар хөдлөлтийн голомт, болсон цаг хугацаа зэрэг үндсэн параметруудийг нарийвчлан тодорхойлох, синтетик сейсмограмм тооцоолох, газар хөдлөлийн аюулгүйн үнэлгээ хийх, бүс нутгийн сейсмо-тектоникийн төлөв байдлыг судлах зэрэг сейсмологийн бүхий л судалгаанд дэлхий царцдасын дотоод гүний тогтоцын мэдээллийг, өөрөөр хэлбэл сейсмик хурдны загварыг хэрэглэдэг.

Сейсмологийн судалгаанд хэрэглэгддэг PREM, IASP91, AK135, CRUST1.0 зэрэг сейсмик хурдны загваруудын чухал параметруудийн нэг нь царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны харьцаа байдаг. Эдгээр сейсмик хурдны загваруудын царцдасын зузаан болон сейсмик хурд нь өөр өөр байдаг бөгөөд Монгол орны сейсмологийн судалгаанд

хэрэглэхэд тийм ч тохиромжтой биш байдаг.

Одоогоор Монгол орны газар хөдлөлтийн боловсруулалтад нэг ба хагас үе бүхий хоёр өөр сейсмик хурдны загвар ашиглагддаг. Монголын баруун хэсэгт болж байгаа газар хөдлөлтүүдийн судалгаанд хэрэглэгдэж байгаа загварын царцдасын зузаан нь 45.0 км, сейсмик Р-шулуун, дагуу долгионы хурд нь 6.11 км/сек, S-шулуун, хөндлөн долгионы хурд нь 3.56 км/сек байна. Харин Монголын зүүн хэсэгт болж байгаа газар хөдлөлтүүдийн боловсруулалт, судалгаанд хэрэглэгдэж байгаа сейсмик хурдны загварын царцдасын зузаан нь 35.0 км байна.

Монгол орны нутаг дэвсгэрт ажиллаж байгаа байнгын станцуудын тоо нэмэгдэж, сейсмометрийн бүртгэх хүчин чадал үнэмлэхүй нэмэгдсэн энэ цаг үед ийм дэлхийн гадаргуугаас Мохо гадарга хүртэл нэг изотроп үе бүхий сейсмик хурдны загварыг Монгол орны газар хөдлөлтийн

## **СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ**

Газар хөдлөлтийн долгионы дэлхийгээр, дэлхийн гүнээр тархдаг онцлог шинж чанарыг нь ашиглан дэлхийн гүний тогтцыг сейсмик томограф, гадаргуугийн долгионы дисперсийн анализ, сейсмик долгионы замхрал гэх мэт сейсмологийн аргуудыг хэрэглэн судалдаг.

Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн арга нь царцдасын сейсмик хурдны тогтцыг судлах үндсэн аргуудын нэг юм (Ammon, Randall, & Zandt, 1990; Langston, 1977; Ligorra & Ammon, 1999). Хүлээн авагчийн функц гэдэг нь өргөн гурван байгуулагч бүхий сейсмограммаас гаргаж авсан хугацаат цуваа бөгөөд холын газар хөдлөлтийн Р долгионд хүлээн авагч буюу тухайн газар хөдлөлт бүртгэх станцын доорх царцдасын үзүүлэх үйлчлэлийг илэрхийлнэ. Хүлээн авагчийн функц нь хурдны ялгаатай үеүдэд их өөрчлөлттэй учраас дэлхийн дотоод гүний бүтэц, ялангуяа царцдасын зузааныг тодорхойлох судалгаанд түлхүү

боловсруулалт, сейсмологийн судалгаанд хэрэглэж байгаа нь учир дутагдалтай байдал нь энэхүү судалгааг хийх шаардлагатайг харуулж байна.

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Монгол орны нутаг дэвсгэрт ажиллаж буй газар хөдлөлт бүртгэх өргөн зурвасын байнгын станцуудын доорх царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа болон уян харимхайн Пуассоны коэффициентыг холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн аргаар судлахыг зорилго болголоо. Судалгааны ажлын хүрээнд хүлээн авагчийн функцийн N-k stacking дүн шинжилгээгээр газар хөдлөлт бүртгэх өргөн зурвасын станцын доорх царцдасын дундаж зузаан, түүний сейсмик Р-шулуун, дагуу болон S-шулуун, хөндлөн долгионы харьцаа  $V_p/V_s$ , уян харимхайн коэффициент болох Пуассоны харьцааг тодорхойлж, судалгааны үр дүнд сейсмологийн болон геологийн ерөнхий тайлбар өгнө.

ашиглагддаг. Иймд станцуудын доорх царцдасын зузааны судалгаанд хүлээн авагчийн функцийн аргыг хэрэглэхээр сонгосон болно.

Дэлхийн дотоод гүний бүтэц нь нэгэн төрлийн бус, ялангуяа царцдас мандал болон дээд цаваг мандал нь үелсэн, анизотроп, нэгэн төрлийн бус орчин юм. Холын газар хөдлөлийн долгион дэлхийн дотоод биетээр тархахдаа энэхүү давхарлаж тавьсан мэт нэгэн төрлийн бус орчныг туулан ирж хүлээн авагч буюу сейсмометр бичигддэг. Иймд холын газар хөдлөлтийн Р долгион нь газар хөдлөлийн үүсгүүр, газар хөдлөлийн үүсгүүрийн орчны эффект, цаваг мандал болон хүлээн авагчийн доорх царцдас мандлыг туулж ирж буй замын эффектийн бүхий л мэдээллийг өөртөө шингээсэн гэж үздэг (Ammon, Randall, & Zandt, 1990). Үүнээс гадна холын газар хөдлөлтийн долгион нь шууд ирж буй долгион, хүлээн авагчийн доорх хурдны ялгаатай үеүдэд ойлсон,

хугарсан, туйлшралаа өөрчилсөн бүхий л төрлийн долгионы фазуудаас бүрддэг.

*Хүлээн авагчийн функцийг бодох*

Дэлхийн гүнээр тархан, хүлээн авагч буюу сейсмометрийн доороос ирж буй сейсмик долгионд хүлээн авагчийн доорх царцдасын үзүүлэх үйлчлэл, нөлөөллийг үнэлэх нь хүлээн авагчийн функцийг бодох чухал хэсэг бөгөөд энэ асуудал нь деконволюцийн бодлоготой холбогддог. Өргөн зурвасын гурван бай-гуулагч бүхий сейсмограммаас царцдасын үзүүлэх үйлчлэлийн нөлөөг тооцоолох хэд хэдэн процедур, арга техникүүд байдгаас давтамжийн мужид тодорхой шалгууртайгаар деконволюци хийх нь сейсмологийн судалгаанд түгээмэл хэрэглэгддэг (Ammon, Randall, & Zandt, 1990; Clayton & Wiggins, 1976). Нөгөө нэг түгээмэл арга нь хугацааны мужид хамгийн бага квадратын аргаар деконволюци хийх явдал юм (Gurrola, Baker, & Minster, 1995).

Өргөн зурвасын, гурван байгуулагч бүхий сейсмограммыг доорх байдлаар (Ammon, Randall, & Zandt, 1990) илэрхийлж болно:

$$D_{V,R,T}(t) = I(t) * S(t) * E_{V,R,T}(t) \quad (1)$$

үүнд \* - конволюци,  $S(t)$  - үүсгүүрийн орчны эффeктийг агуулсан газар хөдлөлийн үүсгүүрийн хугацааны функц,  $I(t)$ - сейсмометрийн характеристик,  $E(t)$  – станцын доорх дэлхийн гүний тогтцын (царцдас мандал) үзүүлэх үйлчлэлийг,  $V$ ,  $R$  ба  $T$  индексүүд нь босоо, радиал болон тангенциал байгуулагчдыг илэрхийлнэ.

Дэлхийн гүнээр тархан, тухайн авч үзэж буй структурын (газар хөдлөлт бүртгэх станц сууж буй) доороос ирж буй холын газар хөдлөлтийн  $P$  долгионы тусгалын өнцөг нь маш бага байдаг учраас хоёр өөр орчны зааг дахь  $P$  долгионоос хувирсан  $SV$  долгион нь голчлон радиал чиглэлийн дагуу хэлбэлздэг. Иймд босоо байгуулагчийн сейсмограммыг холын газар хөдлөлтийн шууд ирж тусаж буй  $P$  долгион гэж авч үздэг бөгөөд царцдасын үйлчлэл  $E_V$

( $t$ )-ийг Диракийн дельта функц  $\delta(t)$ -ээр ойролцоолж болно (Ammon, Randall, & Zandt, 1990). Иймд тэгшитгэл 1-ийн босоо байгуулагчийг доорх байдлаар илэрхийлж болно:

$$D_V(t) \approx I(t) * S(t) \quad (2)$$

Хэрвээ багажийн байгуулагч бүрийн характеристик өөр хоорондоо ижил бол царцдасын радиал чиглэлийн дагуу үйлчлэлийг сейсмограммын радиал байгуулагч  $D_R(t)$  -ээс босоо байгуулагч  $D_V(t)$  -ийг деконволюци хийж гарган авна. Тэгшитгэл 1 болон 2 -оос деконволюцийг давтамжийн мужид доорх байдлаар тодорхойлно:

$$E_R(\omega) = \frac{D_R(\omega)}{I(\omega)S(\omega)} \approx \frac{D_R(\omega)}{D_V(\omega)} \quad (3)$$

энд  $\omega$  – өнцөг давтамж. Энэ тэгшитгэл 3 нь тангенциал байгуулагчид мөн хүчин төгөлдөр үйлчилнэ.  $E_R(\omega)$  болон  $E_T(\omega)$  -ийг хугацааны мужид шилжүүлснээр радиал болон тангециал хүлээн авагчийн функцүүдийг бодно.

*Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн H-k stacking инверс*

Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функц дахь  $P_s$ ,  $P_pP_s$  болон  $P_pS_s+P_sP_s$  фазуудын далайцыг ашиглан царцдасын дундаж зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааг тодорхойлдог аргачлалыг Zhu болон Kanamori (Zhu & Kanamori, 2000) нар хүлээн авагчийн функцийн судалгаанд нэвтрүүлжээ. Энэхүү алгоритм нь янз бүрийн  $H$ -зузаантай, сейсмик хурдны  $k=V_p/V_s$ - харьцаатай царцдасын загваруудын хувьд дээрх сейсмик фазуудын таамагласан бүртгэгдэх хугацаанд харгалзах ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцийн далайцыг жигнэж нэмэх замаар царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааг тодорхойлдог.

Өгөгдсөн царцдасын сейсмик  $V_p$  болон  $V_s$  хурдны дундаж утгыг ашиглан  $P$ -ээс- $S$  хувирал болон шууд ирж буй  $P$  фазуудын хугацааны зөрүүгээр царцдасын зузааныг дараах байдлаар олж болно (Zhu & Kanamori, 2000).

$$H = \frac{t_{Ps}}{\sqrt{\frac{1}{V_s^2} - \rho^2} - \sqrt{\frac{1}{V_p^2} - \rho^2}} \quad (4)$$

Үүнд  $\rho$  нь тусгаж буй долгионы цацрагийн параметр.  $P$ -ээс- $S$  рүү хувирч буй цэг тухайн станцын доор ойрхон байх үед царцдасын хэвтээ чиглэлийн дагуух сейсмик хурдны вариаци энэ тооцоололд бага нөлөөлдөг байна.  $t_{Ps}$  нь царцдас дахь  $P$ -шулуун, дагуу долгионтой харьцуулахад  $S$ -шулуун, хөндлөн долгионы бүртгэгдэх хугацааны ялгааг илэрхийлдэг тул царцдасын зузаан  $H$ -ийн  $V_p$ -ээс хамаарах хамаарал нь  $V_s$ -ээс бага байдаг байна. Энэхүү хоёрдмол байдлыг  $P_pP_s$  болон  $P_pS_s+P_sP_s$  фазуудыг царцдасын зузааны тооцоололд оруулж ирснээр арилгаж болдог байна.

$$H = \frac{t_{P_pP_s}}{\sqrt{\frac{1}{V_s^2} - \rho^2} + \sqrt{\frac{1}{V_p^2} - \rho^2}} \quad (5)$$

$$H = \frac{t_{P_pS_s+P_sP_s}}{2 * \sqrt{\frac{1}{V_s^2} - \rho^2}} \quad (6)$$

Ингэснээр сейсмик хурдны харьцаа  $k=V_p/V_s$  болон царцдасын зузаан  $H$ -ийг тооцоолох боломжтой.

## СУДАЛГААНД АШИГЛАСАН МЭДЭЭЛЭЛ

### Газар хөдлөлт бүртгэх өргөн зурвасын станцууд

Газар хөдлөлтийн үед үүссэн төрөл бүрийн шинж чанартай долгионуудаас урт үе бүхий долгионууд нь дэлхийн дотуур, гүнээр тархаж, алс зайд тархах чадвартай байдаг. Хүлээн авагчийн функцийг судалгаанд холын газар хөдлөлтийн сейсмограммыг хэрэглэдэг. Учир нь тухайн газар хөдлөлт станцаас алс зайд, тодруулбал 30-90 градусын зайд болсон хүчтэй газар хөдлөлтүүдээс үүссэн урт үе, нам далайц бүхий долгионууд нь дэлхийн

Бодит байдал дээр ажиглагдсан хүлээн авагчийн функц нь орчны шуугиан, царцдасын нэгэн төрлийн бус байдлаас болж үүсч байгаа сарнилууд, сейсмик хурдны ялгаа бүхий бусад үед дэх ойлт хугарлыг агуулж байдаг учраас эдгээр  $P_s$ ,  $P_pP_s$  болон  $P_pS_s+P_sP_s$  фазуудыг таньж мэдэхэд төвөгтэй. Иймд ажиглагдсан хүлээн авагч бүрийг ашиглан тооцсон тооцооллыг  $H-k$  орон зайд дараах байдлаар нэмж дундажлах замаар царцдасын жигнэсэн дундаж зузаан, түүний сейсмик хурдны жигнэсэн дундаж харьцааг тодорхойлно.

$$s(H,k) = w_1r(t_1) + w_2r(t_2) - w_3r(t_3) \quad (7)$$

энд,  $r(t)$  нь ажиглагдсан дагуу хүлээн авагчийн функц,  $t_1$ ,  $t_2$  болон  $t_3$  нь (4), (5), (6) тэгшитгэлүүдэд өгөгдсөн шиг, тухайн царцдасын зузаан  $H$  болон  $V_p/V_s$  хурдны  $k$ -д хамаарах  $P_s$ ,  $P_pP_s$  болон  $P_pS_s+P_sP_s$  фазуудын бүртгэгдэх хугацаа болно.

$w_i$  нь жингийн фактор бөгөөд нийлбэр нь 1-тэй тэнцүү юм. Инверсийн явцад царцдасын зузаан  $H$  болон сейсмик хурдны харьцаа  $k$ -ийн зөв утгаар эдгээр гурван фазууд хоорондоо уялдсан үед  $s(H,k)$  хамгийн их утгадаа хүрдэг.

манитаар тархаж, улмаар царцдастыг туулан газар хөдлөлт бүртгэх станцад бүртгэгддэг. Иймд энэхүү судалгаанд Монгол орны газар хөдлөлт бүртгэх сүлжээний өргөн зурвасын станцуудын мэдээллийг хэрэглэсэн болно (Зураг 1). Мөн ШУА-ийн ООГХ өөрийн дотоод нөөц бололцоогоо ашиглан, Монгол Алтайн бүс нутгийн дэлхийн дотоод гүний тогтцыг судлахаар 2017 оны 09-р сарын 18-аас 2018 оны 12-р сарын 17-ны хооронд суурилуулсан газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн, өргөн зурвасын станцуудын мэдээллийг энэхүү судалгаанд ашиглав.



Газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станцууд болон станцын шинэчлэлт, нүүлгэлт, буулгалтыг оруулаад нийт 61 цэгт урт болон богино хугацааны ажиглалтын мэдээлэл хуримтлагджээ.

Судалгаанд хэрэглэсэн холын газар хөдлөлтүүд

Хүлээн авагчийн функцийг судалгаанд гурван байгуулагч бүхий холын газар хөдлөлтийн сейсмограммыг хэрэглэдэг. Энэхүү судалгаанд Монгол орны нутаг дэвсгэрт 2009 оноос хойш ажилласан болон одоог хүртэл ажиллаж буй бүх байнгын болон нүүдлийн өргөн зурвасын станцуудад (Зураг 1) бүртгэгдсэн холын газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашигласан болно.

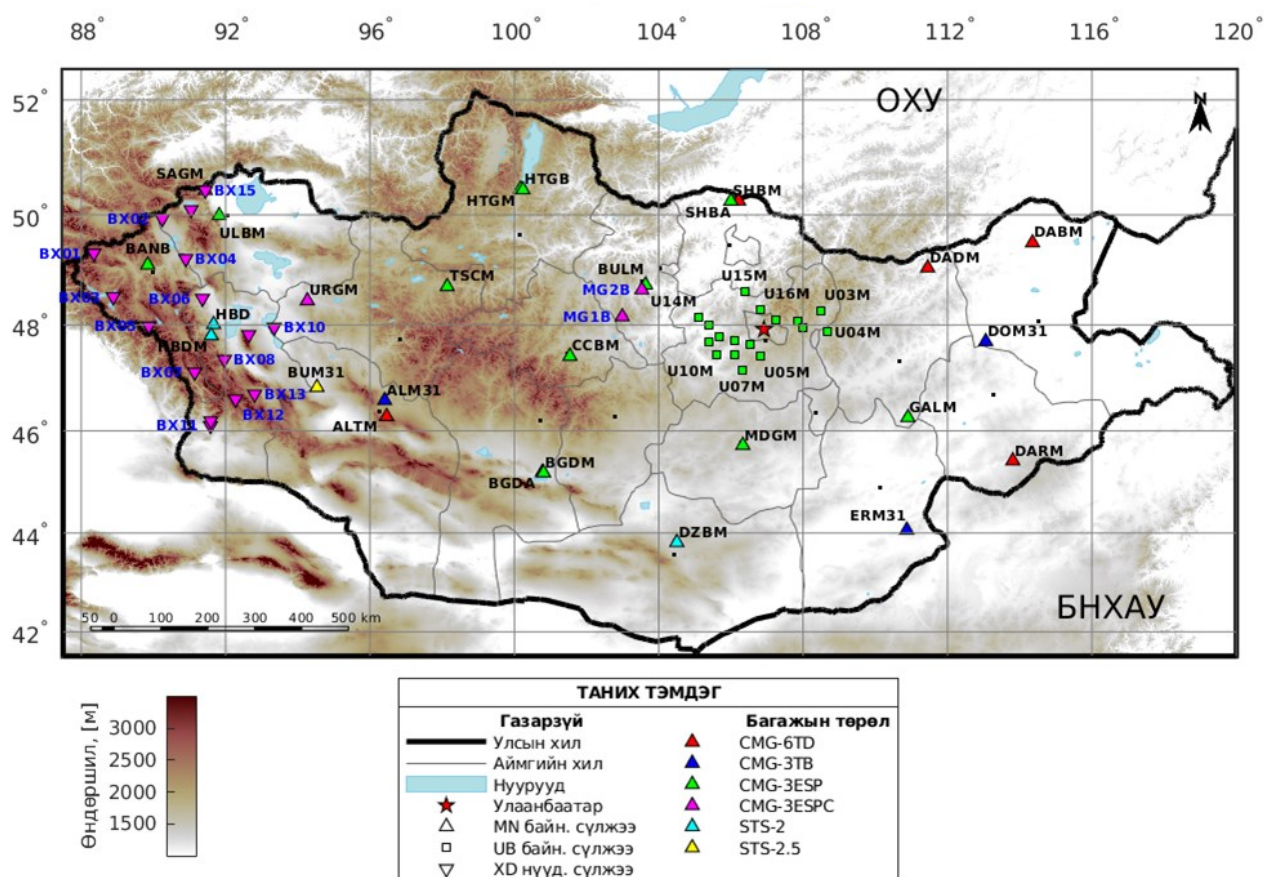
Хүлээн авагчийн функцийг судалгаанд хэрэглэгдэх мэдээллийг дараах шалгууруудыг ашиглан урьдчилан сонгосон. Үүнд:

Холын газар хөдлөлтийн эпицентрийн зай нь  $30^\circ < \Delta < 90^\circ$  хооронд байх

Газар хөдлөлтийн магнитуд нь 5.5 болон түүнээс дээш байх.

Газар хөдлөлтийн сигналын шуугианы түвшин бага байх.

Хүлээн авагчийн функцийг судалгаанд хэрэглэхээр урьдчилан сонгож авсан холын газар хөдлөлтүүдийн тархалтын жишээг Зураг 2-д үзүүлэв. Станц бүрийн ажилласан хугацаа, станц байрлаж буй орчны геологийн тогтоц, хүрээлэн буй орчны чимээ шуугиан зэргээс хамаарч сонгож авсан станц бүрийн хувьд мэдээллийн тоо болон чанар янз бүр байна.



Зураг 1. Байнгын ажиллагаа бүхий өргөн зурвасын станцууд болон Монгол Алтайд түр хугацаагаар суурилуулсан нүүдлийн станцуудын тархалтын зураг (нийт 61 станц)

## СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

### Ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүд

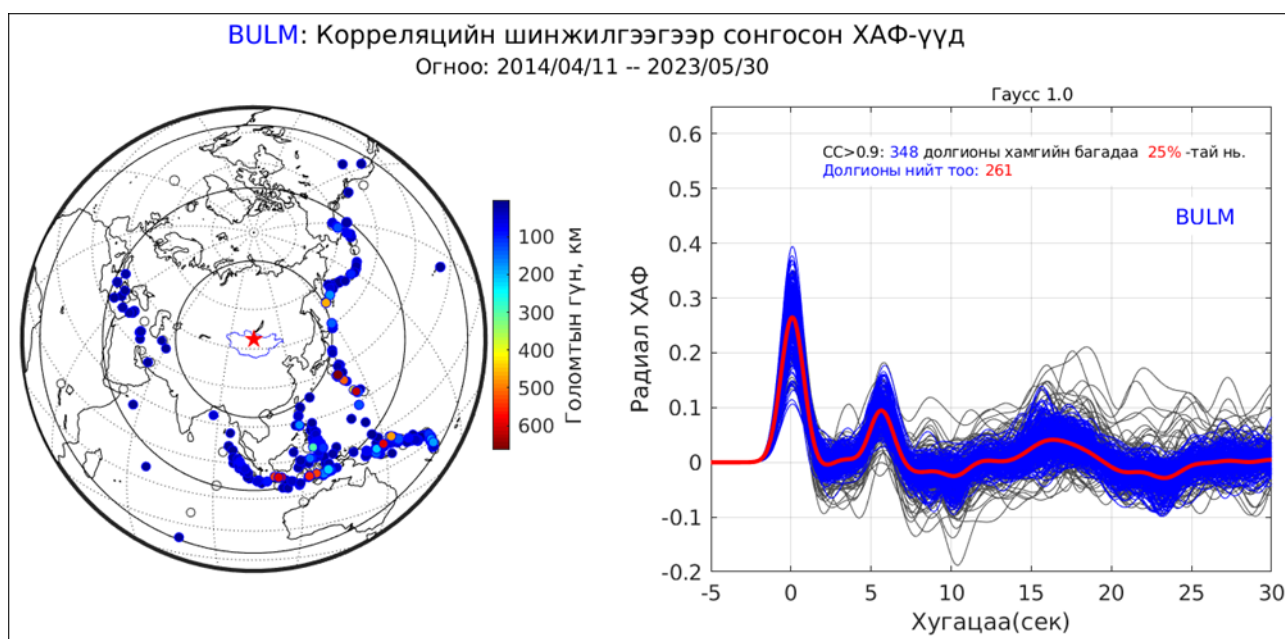
Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функц дэх шуугианыг багасгахын тулд low-pass Гауссын шүүлтүүр хэрэглэгддэг. Иймд ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцийн далайц болон давтамжийн бүтэц агуулга нь Гауссын шүүлтүүрийн өргөнийг тодорхойлогч  $\alpha$  коэффициентоос хамаардаг (Зураг 2). Энэ судалгаанд ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүдийг хугацааны мужид бодохдоо Гауссын шүүлтүүрийн өргөнийг тодорхойлогч  $\alpha$  коэффициентыг 0.5, 1.0, 1.5, болон 2.5 гэж сонгон авч хэрэглэлээ.

Хугацааны мужид бодогдсон холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функц дэх шуугиан харьцангуй бага байдаг учраас тухайн станцын хувьд сонгогдох хүлээн авагчийн тоо нэлээд өндөр байдаг. Иймд энэ судалгааны зорилгыг хангахуйц, болон фазууд ажиглагдсан байж болохуйц хүлээн авагчийн функцүүдийг сонгохын тулд дараах шалгуураар урьдчилан ялгав. Үүнд:

- Хөндлөн хүлээн авагчийн функцийн далайц нь харьцангуй бага байх,
- Дагуу болон хөндлөн хүлээн авагчийн функцийн далайцын утгад нэмэх эсвэл хасах далайц хэт их давамгайлаагүй байх.

Үүний дараа сонгогдож үлдсэн хүлээн авагчийн функцүүдийг корреляцийн шинжилгээгээр дахин ялгав. Үүний тулд корреляцийн шинжилгээ хийж, нийт үлдсэн хүлээн авагчийн функцүүдийн 25%-тай нь корреляцийн коэффициент нь 0.9-өөс дээших хүлээн авагчийн функцүүдийг ялгаж авлаа. Корреляцийн дүн шинжилгээгээр сонгож авсан хүлээн авагчийн функцүүдийн жишээг Зураг 2-д BULM станцын жишээгээр үзүүлээ. *H-k инверсийн үр дүн*

Хүлээн авагчийн функцийн H-k stacking (Zhu & Kanamori, 2000) инверс нь холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функц дахь  $P_s$ ,  $P_p P_s$  болон  $P_p S_s + P_s P_s$  фазуудын далайц, тэдгээрийн хугацааг ашиглан царцдасын дундаж зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааг



Зураг 2. BULM станц: Судалгаанд хэрэглэсэн холын газар хөдлөлтүүдийн тархалт болон тэдгээрийн ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүд. Саарал муруйгаар ажиглагдсан бүх хүлээн авагчийн функцүүд, хөх муруйгаар корреляцийн шинжилгээгээр сонгосон хүлээн авагчийн функцүүдийг, улаан муруйгаар дундаж хүлээн авагчийн функцыг тус тус үзүүлэв

тодорхойлдог аргачлал юм. Хоёр хэмжээст Н-к орон зайд ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцийг  $P_S$ ,  $P_P P_S$  болон  $P_P S_S + P_S P_S$  фазуудад харгалзах далайцыг тодорхойлж буйн жишээг Зураг 3-д үзүүлээ.

Өгөгдсөн дэлхийн радиусын утга R болон сейсмик  $V_p$  хурдны утгыг ашиглан, хоёр хэмжээст Н-к орон зайд, тухайн ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцийг  $P_S$ ,  $P_P P_S$  болон  $P_P S_S + P_S P_S$  фазуудын бүртгэгдэх хугацаа  $t_{P_S}$ ,  $t_{P_P P_S}$  болон  $t_{P_S S_S + P_S P_S}$  -ийг (4), (5), (6) томъёонууд ёсоор дараах байдлаар тодорхойлно.

$$t_{P_S} = \left( \sqrt{\left(\frac{R}{V_P}\right)^2 - \rho^2} - \sqrt{\left(\frac{R}{V_P}\right)^2 - \rho^2} \right) * \frac{h}{R} \quad (8)$$

$$t_{P_P P_S} = \left( \sqrt{\left(\frac{R}{V_P}\right)^2 - \rho^2} + \sqrt{\left(\frac{R}{V_P}\right)^2 - \rho^2} \right) * \frac{h}{R} \quad (9)$$

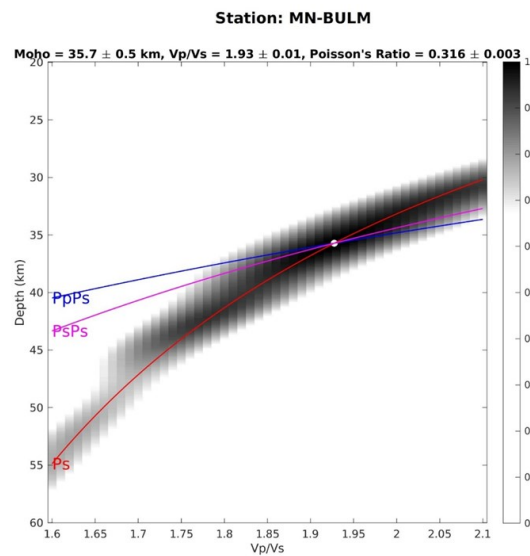
$$t_{P_S S_S + P_S P_S} = 2 * \frac{h}{R} * \left( \sqrt{\left(\frac{R}{V_P}\right)^2 - \rho^2} \right) \quad (10)$$

Энэ тооцоонд дэлхийн радиусыг  $R = 6371$  км гэж авав. (8), (9) болон (10) томъёо ёсоор, Н-к stacking анализын үр дүн нь тооцоонд авч үзэж буй тухайн бүс нутгийн царцдасын дэх сейсмик Р-шулуун, дагуу долгионы хурднаас шууд хамааралтай. Иймд энэхүү судалгаанд хэрэглэгдэх сейсмик Р-шулуун, дагуу долгионы хурдны утгыг 1975 онд тодорхойлогдсон (Балжинням, et al., 1975) Монголын газар хөдлөлтийн годографын 6.1 км/сек гэсэн утгыг авч хэрэглэлээ.

Хоёр хэмжээст Н-к орон зайд тодорхойлогдсон далайцын матрицын хамгийн их утгад харгалзах Н болон к-ийн утга нь тухайн станцын доорх царцдасын зузаан болон түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааг илэрхийлнэ. Н-к stacking инверсэд орж байгаа ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүдийн жишээ болон инверсийн үр дүнг BULM станцын жишээгээр Зураг 2 болон Зураг 3-д үзүүлээ.

Том масштабаар нь аваад үзвэл царцдасын доторх материал нь ерөнхийдөө физик шинж чанараараа адилхан, изотроп орчин гэж авч үзэж болно. Изотроп шинж чанартай биеийн хувьд деформацийн үйлчлэлээр бий болсон, биеийн нэг тэнхлэгийн дагуух шахалт (stress) нь Гукын хууль ёсоор бусад тэнхлэгийн дагуу, гурван хэмжээст орон зайд материалын деформацийг үүсгэдэг. Материалын уян харимхайн шинж чанарыг илтгэж байдаг нэг модуль нь Пуассоны харьцаа  $\nu$  ( $\nu$ ) юм. Энэ Пуассоны харьцаа нь биеийн аль нэг тэнхлэгт үйлчилж байгаа хүчинд хөндлөн 2 тэнхлэгийн дагуух агшилт болон суналтыг дагуу тэнхлэгийн суналтад харьцуулсан харьцаа юм.

$$\nu = \frac{\lambda}{2 * (\lambda + \mu)} \quad (11)$$



Зураг 3. Хүлээн авагчийн функцийг Н-к инверсийн үр дүнгийн жишээ

Ерөнхийд нь, царцдас дахь Пуассоны харьцааг бараг тогтмол гэж авч үздэг бөгөөд дээд царцдаст 0.25-аас бага, доод царцдаст 0.25 орчим байна гэж үздэг.

Онолын хувьд Пуассоны харьцаа нь тухайн материалаар тархах Р долгионы болон S долгионы хурдтай дараах тэгшитгэлээр холбогдоно.

$$v = \frac{1}{2} * \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1} \quad (12)$$

Иймд дээрх тэгшитгэлээр, N-k stacking дүн шинжилгээгээр тодорхойлсон, царцдас дахь сейсмик  $V_p/V_s$  хурдны харьцааг ашиглан сонгогдсон станц бүрийн доорх царцдасын Пуассоны харьцааг тодорхойллоо.

Монголын газар нутаг дээр байрласан газар хөдлөлт бүртгэх станцуудаас тухайн дүүргийн царцдасын зузааныг бүрэн илэрхийлж чадах мэдээлэл бүхий станцуудыг сонгон авч, газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын доорх царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа болон Пуассоны харьцаа  $v$ -ыг холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн N-k stacking инверсээр тодорхойлсон үр дүнг

Хүснэгт 1-д үзүүллээ. Мөн тус аргаар тодорхойлон нэгтгэсэн Монгол орны царцдасын зузааны зургийг Зураг 4-д үзүүллээ. Судалгааны талбай дахь сонгож авсан газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын доорх царцдасын сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааны зургийг Зураг 5-д, Пуассоны харьцаа  $v$ -ийн зургийг Зураг 6-д үзүүллээ.

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд, Монгол орны хэмжээнд царцдасын зузаан ерөнхийдөө зүүнээс баруун тийш зузаарч байгаа нь харагдана.

*Монгол орны царцдасын зузааны тойм зураг*

Монгол орны царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны тогтцыг сейсмологийн аргаар судлах судалгааны ажлууд хийгдэж байжээ. 1991, 1992 онуудад “The Baikal Rift Zone Experiment” судалгаа (Davis, Gao, & Borton, 2001; Mordvinova, Zorin, Gao, & Davis, 1996), 2003 онд “Mongolian Baikal Lithosphere seismological Transect” судалгаа (Mordvinova, et al., 2007), 2011-2012 онд The Geophysical Investigation and Deep Structure Modeling for Seismic Hazard As-

essment in the Far East” судалгаа (He, et al., 2016), 2012-2016 онуудад “Collaborative Research: Intracontinental Deformation and Surface Uplift – Geodynamic Evolution of the Hangay Dome, Mongolia Central Asia” (Stachnik, et al., 2014) нэртэй судалгааны ажлуудын хүрээнд Монгол орны нутаг дэвсгэрийн тодорхой хэсэг газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн станцууд суурилуулагдаж, тэдгээрийн мэдээллээр тухайн станцуудын доорх царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны шинж чанаруудыг судалжээ.

Ц.Баасанбат, Takuo Shibutani (Tsagaan & Shibutani, 2015) нар холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функц ашиглан, генетик алгоритмын инверсээр Улаанбаатар хот орчмын бүс нутгийн дэлхийн царцдасын зузаан, түүний S-шулуун, хөндлөн долгионы тогтцыг судалжээ. Т.Долгоржав нар (Долгоржав, Баасанбат, & Баярсайхан, 2017) холын газар хөдлөлтийн функцийг ашиглан N-k stacking дүн шинжилгээгээр TSCM газар хөдлөлт бүртгэх станцын доорх дэлхийн царцдасын зузаан болон түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааг тодорхойлжээ.

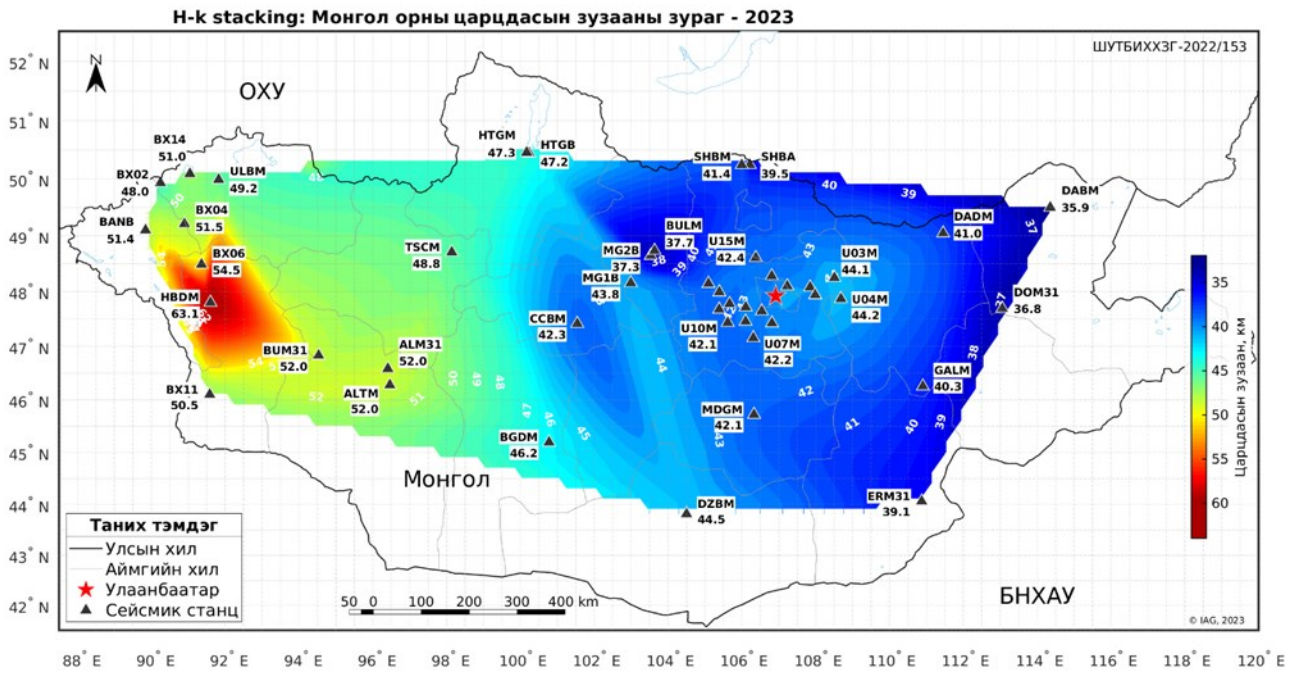
Монгол орны бүх нутаг дэвсгэрийг хамарсан царцдасын зузааны тойм зураг гаргахын тулд өмнөх судалгаануудын үр дүнг энэ судалгааны үр дүнтэй нэгтгэлээ. Мөн үүнээс гадна Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд царцдасын зузааны хэмжилтийн утга байхгүй зах хязгаарыг нөхөхийн тулд CRUST1.0 -  $1^\circ \times 1^\circ$  нарийвчлал бүхий царцдасын зузааны загварын утгуудыг хэрэглэлээ (Laske, Masters, Ma, & Pasyanos, 2013).

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн доорх царцдасын зузаан тойм зургийг Зураг 7-д үзүүллээ.

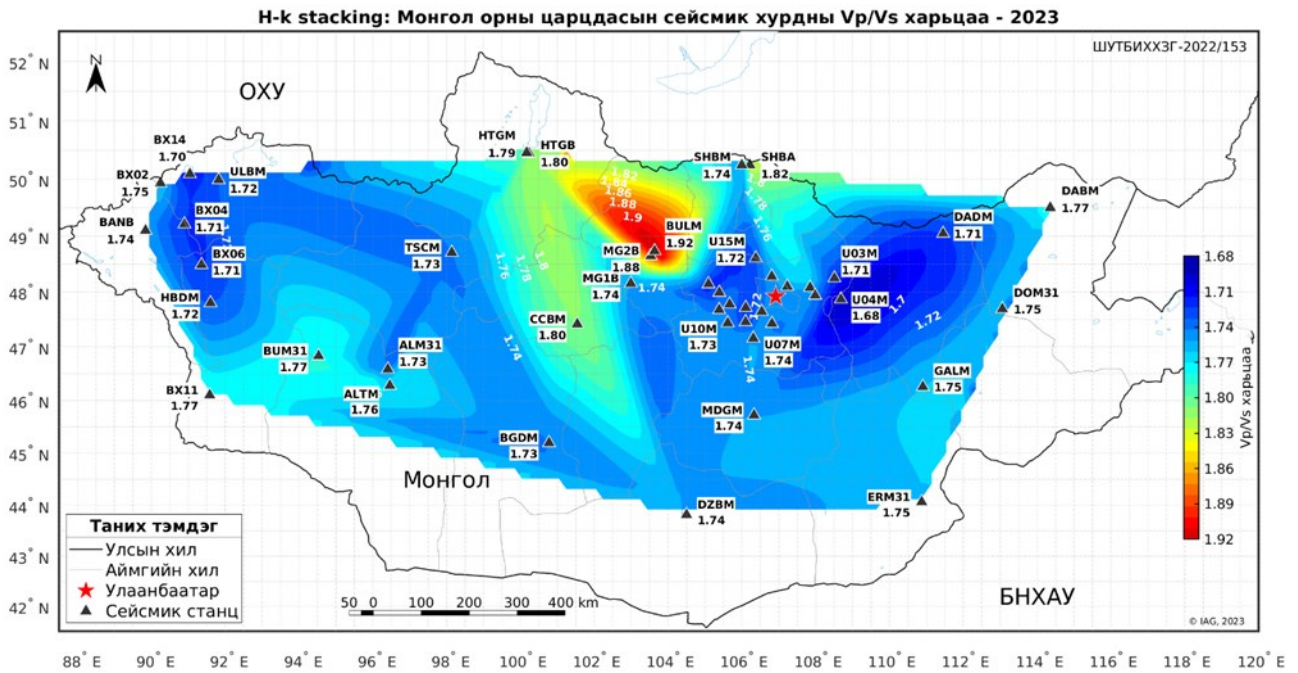


Хүснэгт 1. Станцуудын доорх царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа, Пауссоны коэффициент

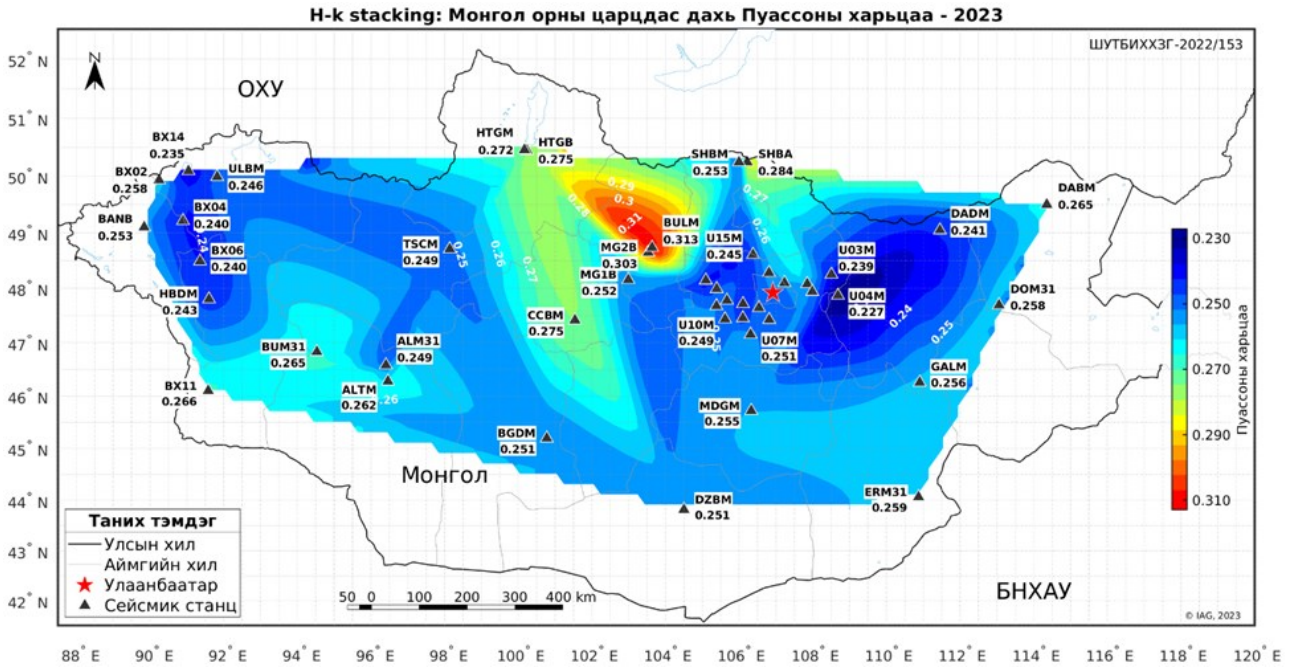
Стан- цын нэр	Өргөрөг	Уртраг	Байрш- лын өндөр (д.т.д)	Царцдасын зузаан, км		Сейсмик хурдны $V_p/V_s$ харьцаа		Пуассоны харьцаа	
				дундаж	с.хаз	дундаж	с.хаз	дундаж	с.хаз
MG1B	48.1530	102.9910	1583	43.8	0.5	1.74	0.01	0.252	0.0057
MG2B	48.6460	103.5330	1099	37.3	1.2	1.88	0.03	0.303	0.0090
ALM31	46.5827	96.4081	1862	52.0	0.2	1.73	0.01	0.249	0.0020
ALTM	46.2779	96.4626	2365	52.0	1.6	1.76	0.04	0.262	0.0169
BANB	49.0990	89.8426	2187	51.4	0.4	1.74	0.01	0.253	0.0030
BGDM	45.1979	100.7765	1275	46.2	0.3	1.73	0.01	0.251	0.0041
BULM* $V_p=6.4$	48.7353	103.6355	1195	37.7	0.4	1.92	0.01	0.313	0.0027
BUM31	46.8296	94.5325	1252	52.0	0.3	1.77	0.01	0.265	0.0027
CCBM	47.4161	101.5402	1736	42.3	0.3	1.80	0.01	0.275	0.0035
DABM	49.4997	114.3551	806	35.9	0.5	1.77	0.02	0.265	0.0064
DADM	49.0454	111.4532	806	41.0	0.4	1.71	0.02	0.241	0.0066
DOM31	47.6916	113.0584	1000	36.8	0.1	1.75	0.01	0.258	0.0011
DZBM	43.8139	104.5007	1557	44.5	0.3	1.74	0.01	0.251	0.0042
ERM31	44.0605	110.8722	1202	39.1	0.3	1.75	0.01	0.259	0.0040
GALM	46.2573	110.9035	1254	40.3	0.4	1.75	0.01	0.256	0.0040
HBDM	47.8010	91.6020	1993	63.1	0.4	1.72	0.02	0.243	0.0064
HTGB	50.4435	100.2393	1771	47.2	0.4	1.80	0.01	0.275	0.0034
HTGM	50.4568	100.1698	1672	47.3	0.3	1.79	0.01	0.272	0.0033
MDGM	45.7228	106.3294	1406	42.1	0.2	1.74	0.01	0.255	0.0038
SHBA	50.2444	106.2163	681	39.5	2.2	1.82	0.08	0.284	0.0242
SHBM	50.2435	105.9966	813	41.4	0.3	1.74	0.01	0.253	0.0028
TSCM	48.7065	98.1400	1827	48.8	0.3	1.73	0.01	0.249	0.0029
ULBM	49.9874	91.8242	1410	49.2	0.4	1.72	0.01	0.246	0.0038
U01M	48.0979	107.2309	1854	43.7	0.4	1.74	0.01	0.251	0.0042
U02M	48.0785	107.8492	1778	43.5	2.3	1.75	0.05	0.258	0.0194
U03M	48.2485	108.5067	1504	44.1	0.3	1.71	0.01	0.239	0.0044
U04A	47.9383	107.9874	1857	43.0	2.7	1.74	0.08	0.253	0.0290
U04M	47.8682	108.6838	1550	44.2	0.2	1.68	0.01	0.227	0.0044
U05M	47.4240	106.8158	1768	43.3	0.2	1.73	0.01	0.247	0.0042
U06M	47.6433	106.5379	1466	42.8	0.2	1.73	0.01	0.249	0.0021
U07M	47.1520	106.3108	1553	42.2	0.4	1.74	0.01	0.251	0.0042
U08M	47.4553	106.1011	1440	43.4	0.2	1.71	0.01	0.241	0.0031
U09M	47.7149	106.1046	1265	43.3	0.3	1.71	0.01	0.239	0.0042
U10M	47.4346	105.6167	1340	42.1	0.1	1.73	0.01	0.249	0.0001
U11M	47.7761	105.6693	1388	41.9	0.3	1.73	0.01	0.250	0.0031
U12M	47.6758	105.3837	1348	42.0	0.2	1.73	0.01	0.250	0.0023
U13M	47.9889	105.3902	1324	43.1	0.1	1.72	0.01	0.245	0.0012
U14M	48.1444	105.0960	1421	42.1	0.2	1.71	0.00	0.240	0.0013
U15M	48.6074	106.3772	1072	42.4	0.2	1.72	0.01	0.245	0.0030
U16M	48.2796	106.8098	1273	42.8	0.2	1.74	0.01	0.253	0.0025
BX02	49.9296	90.2467	1671	48.0	3.0	1.75	0.07	0.258	0.0259
BX04	49.2115	90.8973	1394	51.5	4.5	1.71	0.08	0.240	0.0332
BX06	48.4878	91.3590	1329	54.5	1.8	1.71	0.05	0.240	0.0196
BX11	46.1002	91.5820	1192	50.5	5.8	1.77	0.10	0.266	0.0343
BX14	50.0879	91.0448	1444	51.0	3.3	1.70	0.07	0.235	0.0319



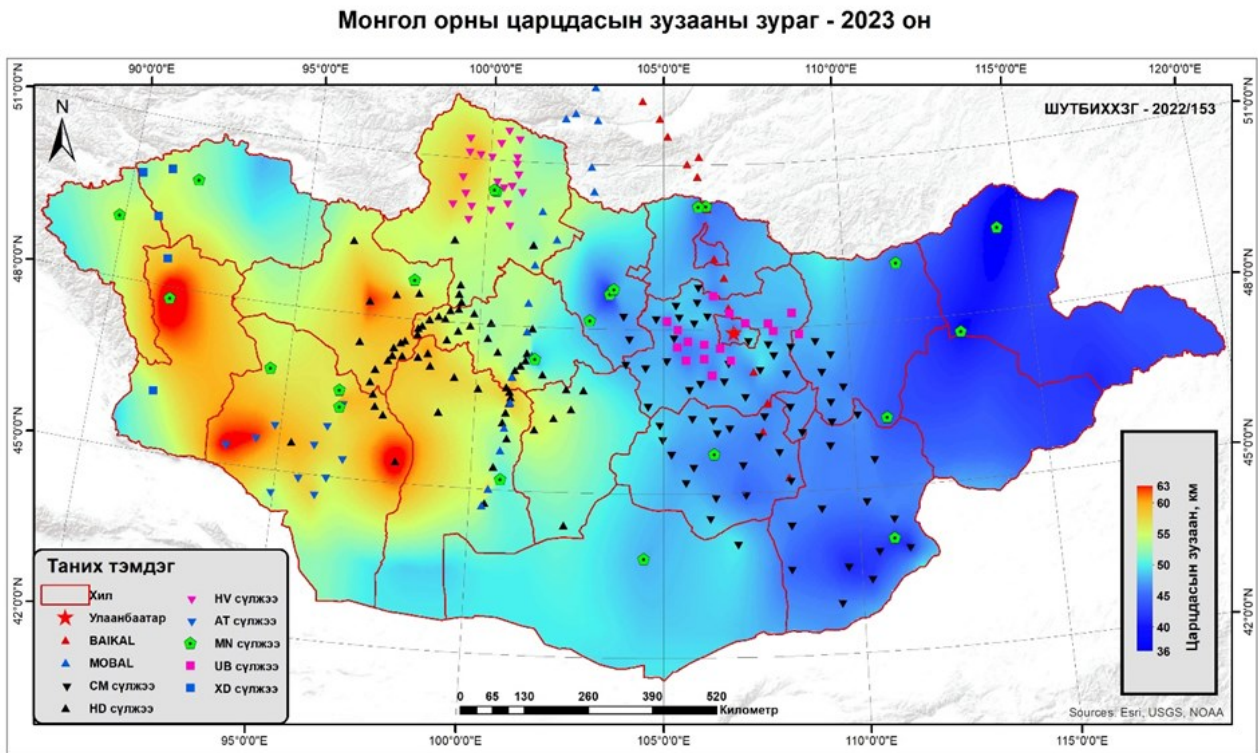
Зураг 4. H-k stacking дүн шинжилгээгээр тооцоолсон, Монгол орны царцдасын зузаан



Зураг 5. Монгол орны царцдас дахь сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа



Зураг 6. Монгол орны царцдас дахь Пуассоны харьцаа



Зураг 7. Монгол орны царцдасын зузааны тойм зураг

## ДҮГНЭЛТ

Хугацааны мужид бодогдсон, ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүдийг ерөнхийд нь дүгнэхэд, дагуу хүлээн авагчийн функцүүдийн 0-6 секундийн хооронд газар хөдлөлт бүртгэх станцад шууд ирж бүртгэгдэж байгаа P-фаз болон P-ээс-S болон хувирсан фаз тодорхой

харагдана. Хөндлөн хүлээн авагчийн функцүүдийн далайцын түвшин нь дагуу хүлээн авагчийн функцүүдийн шууд P-фазаас өмнөх шуугианы түвшинтэй ойролцоо байгаа нь ажиглагдана. Мохо гадаргад P-ээс-S болон хувирсан фаз дагуу хүлээн авагчийн функцүүдийн 5-6 секунд



хооронд тод ажиглагдана. Зарим азимутаас ирж байгаа хүлээн авагчийн функцийн шууд P-фаз болон P-ээс-S хувирсан фазын хооронд хасах далайц байгаа нь тухайн станцын доорх царцдас дахь сейсмик бага хурдны үетэй холбоотой байж магадгүй юм. Хөндлөн хүлээн авагчийн функцүүдийн P-ээс-S хувирсан фаз нь азимутаас хамаарч, өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагдана. Энэ нь тухайн станцын доорх царцдас хэвгий байгаатай (dipping), эсвэл царцдас анизотроп шинж чанар бүхий үеүд байгаатай холбоотой.

Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн H-k stacking дүн шинжилгээгээр ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүд нь сонгогдсон нийт 45 газар хөдлөлт бүртгэх, өргөн зурвасын станцуудын доорх царцдасын зузаан, түүний сейсмик  $V_p/V_s$  хурдны харьцаа болон  $\nu$ -Пуассоны харьцааг тодорхойллоо.

Судалгааны үр дүнгээс болон Монгол орны царцдасын зузааны тойм зургаас үзэхэд, Монгол орны царцдасын зузаан ерөнхийдөө зүүнээсээ баруун тийш зузаарч байна. Монголын Дорнод мужийн Улз-Хэрлэнгийн дэд мужид орших, газар хөдлөлт бүртгэх DABM станцын доор  $35.9 \pm 0.5$  км гэж тодорхойлогдсон байхад хамгийн зузаан царцдас Монгол Алтайн бүсэд Ховд аймгийн Ховд хотын ойролцоо орших газар хөдлөлт бүртгэх HBDM станцын доор  $63.1 \pm 0.4$  км гэж тодорхойлогджээ (Зураг 4). Монгол орны хойд хязгаар, Хөвсгөлийн бүс нутагт орших HTGM станцын доорх царцдасын зузаан  $47.3 \pm 0.3$  км хүрч байхад Монгол орны өмнөд хязгаар бүс нутагт орших DZBM станцын доорх царцдасын зузаан  $44.5 \pm 0.3$  км хүрч байна. Мөн Улаанбаатар хот орчмын бүс нутгийн доорх царцдасын зузаан 42-44 км хүрч байна.

Хүлээн авагчийн функцийн H-k stacking инверсийн үр дүнд гарсан нэг сонирхолтой гажил нь Орхон-Сэлэнгийн бүс нутагт орших газар хөдлөлт бүртгэх BULM станцын доорх царцдасын дундаж зузаан  $37.7 \pm 0.4$  км гэж тооцоологдсон явдал юм. Энэ гажлыг баталгаажуулах

зорилгоор тус бүс нутагт суурилуулсан MG2B нүүдлийн станцын доорх царцдасын зузаан мөн  $37.3 \pm 1.2$  км гэж тодорхойлогдсон.

Судалгаанд хэрэглэсэн газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын байршлын өндөр болон царцдасын зузааны интерполяцийн зургаас үзэхэд, ерөнхийдөө уулархаг, өндөрлөг бүс нутгуудад царцдас зузаавтар байхад нам дор бүс нутгуудад нимгэвтэр байгаа нь харагдана. Гэхдээ судалгаанд авч үзэж байгаа талбайн хэмжээ том, мөн авч үзэж байгаа газар хөдлөлт бүртгэх станцын тоо цөөн, таруу байрлалтай байгааг харгалзан үзэх хэрэгтэй.

Хүлээн авагчийн функцийн судалгааны H-k stacking инверсийн дүн шинжилгээний нэг чухал үр дүн нь тухайн станцын доорх царцдас дахь сейсмик хурдны  $k=V_p/V_s$  харьцаа юм (Зураг 5). Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд Монгол орны нутаг дэвсгэрийн доорх царцдасын зузааны сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа 1.68-1.92 хооронд хэлбэлзэж, дундаж утга нь 1.74 байна. Зургаас үзэхэд, газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын байршлын өндөр болон түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааны тархалт хооронд ямар нэгэн хамаарал ажиглагдахгүй байна. Монгол орны төв болон хойд бүс нутагт орших HTGM, CCBM, HTGB, SHBA, MG2B болон BULM станцуудын доорх царцдас дахь сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа нь дундаж утгаас харьцангуй их, 1.80-1.92 хооронд тодорхойлогджээ.

H-k stacking инверсийн дүн шинжилгээний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааны үр дүнг ашиглан тухайн станцын доорх царцдасын уян харимхайн коэффициентүүдийн нэг Пуассоны харьцааг (12) томъёогоор тодорхойллоо (Зураг 6). Зургаас үзэхэд, газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын байршлын өндөр болон Пуассоны харьцааны тархалт хооронд ямар нэгэн хамаарал ажиглагдахгүй байна. Пуассоны харьцаа нь (12) томъёо ёсоор сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаатай шууд хамааралтай учраас



түүний тархалт нь сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцааны тархалттай төсөөтэй байна.

Тэгэхээр сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа болон Пуассоны харьцааны энэ тархалтыг тухайн станцын доор тодорхойлогдсон царцдасын зузаантай

### **ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ**

Холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн  $N-k$  stacking дүн шинжилгээгээр Монгол орны царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны  $V_p/V_s$  харьцаа болон уян харимхайн коэффициентүүдийн нэг Пуассоны харьцааг тодорхойллоо.

Судалгааны үр дүнгээс үзэхэд, Монгол орны хэмжээнд царцдасын зузаан ерөнхийдөө зүүнээс баруун тийш зузаарч байгаа нь харагдана.  $N-k$  stacking дүн шинжилгээгээр хамгийн нимгэн царцдас DABM станцын доор  $35.9 \pm 0.5$  км гэж тодорхойлогдсон бол HBD станцын доор хамгийн зузаан царцдас  $63.1 \pm 0.4$  км гэж тодорхойлогджээ.

Зорин нар нь (Zorin, et al., 2002) Эрхүү- Улаанбаатар -Өндөршил шугамын дагуух царцдасын зузааныг холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцийн инверсээр Улаанбаатар хот орчмын нутаг дэвсгэрийн доорх дэлхий царцдасын зузааныг 42.3-41.8 км гэж тодорхойлжээ. Хүлээн авагчийн функцийн  $N-k$  stacking дүн шинжилгээний үр дүнгээс үзэхэд Улаанбаатар хот орчмын нутаг дэвсгэрт орших UB сүлжээний станцуудын доорх царцдасын зузаан дунджаар 41.9-44.2 км байгаа нь Зорин нарын үр дүнтэй ойролцоо байна.

Улаанбаатар хот орчмын нутаг дэвсгэрт ажиллаж байгаа UB сүлжээний газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станцуудын байрлал нь CM сүлжээний (He, et al., 2016) хойд хэсгийн станцуудтай адилхан нэг бүс нутагт оршино. CM сүлжээний станцуудын доорх царцдасын зузааныг мөн адил  $N-k$  stacking аргаар тодорхойлсон байдаг. Улаанбаатар хот орчмын нутаг дэвсгэрийн доорх царцдасын зузааныг тус UB болон

тодорхой хамааралгүй, харин станц байрлаж буй орчны суурь чулуулагтай нь холбож тайлбарлах нь илүү дөхөмтэй гэж үзэж байна.

CM сүлжээ станцуудаар тодорхойлсон үр дүнгүүд нь ойролцоо байна. Жишээ нь U05M болон CM24 станцууд нь өөр хоорондоо 7 км-ийн зайтай орших бөгөөд станц тус бүрийн доорх царцдасын зузаан нь дунджаар  $43.3 \pm 0.2$  км болон 44.9 км гэж тодорхойлогджээ.

2003 оны “Mongolian-Baikal Lithosphere seismological Transect” төслийн “MOBAL” шугамын TSET станц нь MN сүлжээний CCBM станцтай ойролцоо байрлах бөгөөд TSET станцын доорх царцдасын зузаан дунджаар 50.0 км (Mordvinova, et al., 2007) гэж тодорхойлогдсон байна. Харин  $N-k$  stacking анализаар CCBM станцын доорх царцдасын зузаан дунджаар  $42.3 \pm 0.3$  км гэж үнэлэгджээ. Хэдий энэ 2 станц ойролцоо 10 км-ийн зайд орших боловч царцдасын зузаануудынх нь ялгаатай байдал нь газарзүйн байрлалтай нь холбоотой байж магадгүй юм. Мөн царцдасын зузааныг үнэлэхэд хэрэглэсэн хоёр өөр арга нь царцдасын зузааны энэ ялгаатай байдлын тайлбар болох магадлалтай юм.

MN сүлжээний BGDM, ALTM, HTGM болон BULM станцууд нь HD, AT болон HV (Meltzer, et al., 2019) сүлжээний HD09, AT06, HV14 болон HD72 станцуудтай ойролцоо, зарим нь бүр нэг цэгт хамт байрлана. Тус HD, AT болон HV сүлжээний станцуудын доорх царцдасын зузааныг мөн адил  $N-k$  stacking дүн шинжилгээгээр тогтоосон (Stachnik, et al., 2014) байдаг учраас үр дүнг нь энэ судалгааны үр дүнтэй харьцуулахад илүү дөхөмтэй юм. BGDM станцын доорх царцдасын зузаан 46.2 км байхад HD09 станцын доорх царцдасын зузаан 48.4 км

гэж тодорхойлогдсон байна. ALTM станцын доорх царцдасын зузаан 52.0 км гэж тодорхойлогдсон байхад AT06 станцын доорх царцдасын зузаан 56.7 км гэж үнэлэгджээ. HTGM станцын доорх царцдасын зузаан 47.3 км байхад HV14 станцын доорх царцдасын зузаан 51.4 км гэж тодорхойлогдсон байна. BULM станцын доорх царцдасын зузаан  $37.7 \pm 0.4$  км гэж тодорхойлогдсон байхад HD72 станцын доорх царцдасын зузаан 43.8 км гэж үнэлэгджээ.

BULM болон HD72 станцууд нь яг нэг цэгт орших бөгөөд станц тус бүрийн мэдээллээр тодорхойлогдсон царцдасын утгуудын хооронд ~6 км-ийн зөрөө байна. BULM станц нь газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станц бөгөөд тус станцын доорх царцдасын зузааныг тодорхойлоход 2014/04/11-2023/05/30 хооронд болсон 261 холын газар хөдлөлтийн хүлээн авагчийн функцүүдийг хэрэглэсэн (Зураг 2). Эдгээр хүлээн авагчийн функцүүдийн сигнал-шуугианы харьцаа өндөр байгаа нь зургаас тодорхой харагдана. Корреляцийн аргаар сонгогдсон ажиглагдсан хүлээн авагчийн функцүүд болон тэдгээрийн дундаж хүлээн авагчийн функцийг дүр төрхийг үзэхэд, Мохо гадаргад P-ээс S болон хувирсан Ps

фаз болон хоёрдогч, гуравдагч хугарсан ойсон фазууд маш тодорхой харагдана. Мөн түүнчлэн сонгогдсон газар хөдлөлтүүдийн тархалт нь нэлээд өргөн азимутыг хамарсан байгаа нь тус станцын доор тодорхойлогдсон царцдасын зузааны дундаж утгыг үнэмшил өндөртэй гэж болгож байна.

BULM болон MG2B станцын доорх харьцангуй нимгэвтэр царцдасын зузаан, түүний сейсмик хурдны өндөр харьцаа, болон Пуассоны өндөр харьцааг тус бүс нутгийн плюм болон царцдасын нимгэрэлтэй холбож тайлбарлах нь зүйтэй гэж үзэж байна. Монгол орны царцдасын зузааны тойм зургаас үзэхэд, Монгол Алтайн нуруу, Говь-Алтайн нуруу, Хангайн нуруу, Хөвсгөлийн уулсын доорх зузаан царцдас, Хэнтийн нурууны бүс нутгийн доорх дунд зэргийн зузаантай царцдас, Зүүн Монголын тал хээрийн бүс нутгийн доорх нимгэн царцдас нь Airy (Airy, 1855)-ийн изостацийн хуулиар тайлбарлаж болно. Изостацийн хууль нь эх газрын царцдас болон маантийн харилцан тэнцвэрт байдлыг гидростатикаар тайлбарладаг. Өөрөөр хэлбэл гадаргын өндөршлөөс хамаарч царцдасын зузаан тодорхойлогддог.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг БШУЯ-ны ШУТБИХХЗГ-ны 2022/153 тоот суурь судалгааны төслийн ажлын хүрээнд хийж гүйцэтгэсэн. Судалгааг хийхэд мэдээллээр тусалсан Одон орон, геофизикийн

хүрээлэнгийн “Газар хөдлөл судлал”-ын салбар болон төслийн багийн хамт олонд талархсанаа илэрхийлье.

## НОМЗҮЙ

Airy, G. (1855). On the computation of the effect of the attraction of mountain-masses, as disturbing the apparent astronomical latitude of stations in geodetic surveys. *Philosophical transaction*, 145, 101-104.

Ammon, C. J., Randall, G. E., & Zandt, G. (1990, September 10). On the non-uniqueness of receiver function

inversions. *Journal of Geophysical Research*, 95(B10), 15303-15318.

Clayton, R. W., & Wiggins, R. A. (1976, October 01). Source shape estimation and deconvolution of teleseismic bodywaves. *Geophysical Journal International*, 47(1), 151-177.

Davis, P. M., Gao, S., & Borton, L. (2001). *Analysis of Digital Teleseismic Array*

- Data Collected in South Central Siberia and Northern Mongolia, GSN SKS waves and S Wave from Lop Nor Nuclear Explosions*. Final Technical Report, University of California, Department of Earth and Space Sciences, Los Angeles.
- Gurrola, H., Baker, E., & Minster, B. (1995 оны March 01). Simultaneous time-domain deconvolution with application to the computation of receiver functions. *Geophysical Journal International*, 120 (3), 537-543. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1995.tb01837.x>
- He, J., Wu, Q.-J., Sandvol, E., Ni, J., Gallegos, A., Gao, M., . . . Sodnomsambuu, D. (2016, June 7). The crustal structure of south central Mongolia using receiver functions. *Tectonics*, 35(6), 1392-1403. doi:<https://doi.org/10.1002/2015TC004027>
- Langston, C. A. (1977, August 01). The effect of planar dipping structure on source and receiver responses for constant ray parameter. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 67(4), 1029-1050.
- Laske, G., Masters, G., Ma, Z., & Pasyanos, M. (2013). Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust. *EGU*, (p. 2658).
- Ligorra, J. P., & Ammon, C. J. (1999, October). Iterative Deconvolution and Receiver-Function Estimation. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89 (5), 1395-1400.
- Meltzer, A., Stachnik, J. C., Sodnomsambuu, D., Munkhuu, U., Tsagaan, B., Dashdongog, M., & Russo, R. (2019, April 10). The Central Mongolia Seismic Experiment: Multiple Applications of Temporary Broadband Seismic Arrays. *Seismological Research Letters*, 90(3), 1364-1376. doi:<https://doi.org/10.1785/0220180360>
- Mordvinova, V. V., Deshamps, A., Tundev, D., Deverchere, J., Munkhuu, U., Sankov, V. A., Perrot, J. (2007). Velocity structure of the lithosphere on the 2003 Mongolian-Baikal transect from SV waves. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 43, 119-129.
- Mordvinova, V. V., Zorin, Y. A., Gao, S., & Davis, P. (1996, January). Thickness of the crust along the Irkutsk-Ulan-Bator-Undurshil profile from spectral ratios of body seismic wave. *Izvestiya Physics of the Solid Earth*, 31(9), 727-734.
- Stachnik, J. C., Meltzer, A., Souza, S., Munkhuu, U., Tsagaan, B., & Russo, R. M. (2014). Lithospheric Structure Beneath the Hangay Dome, Central Mongolia. *AGU Fall Meeting, 2014 December 15-19*. San Francisco. Retrieved from <https://agu.confex.com/agu/fm14/meetingapp.cgi/Paper/7993>
- Tsagaan, B., & Shibutani, T. (2015). Receiver function study in the Ulaanbaatar region. *IISEE abstract database*. Tsukuba, Japan: IISEE. Retrieved from <https://iisee.kenken.go.jp/syndb/?action=abstr&id=MEE14601&est=S&year=2015>
- Zhu, L., & Kanamori, H. (2000, February 10). Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions. *Journal of Geophysical Research*, 105(B2), 2969-2980. doi:<https://doi.org/10.1029/1999JB900322>
- Zorin, Y. A., Mordvinova, V. V., Turutanov, E. K., Belichenko, B. G., Artemyev, A. A., Kosarev, G. L., & Gao, S. (2002). Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication. *Tectonophysics*(359), 307-327.
- Балжинням, И., Мөнхөө, Д., Цэмбэл, Б., Дугармаа, Т., Адъяа, М., & Баяр, Г. (1975). *Монголын газар хөдлөхүй*. Улаанбаатар: ШУА, Физик Техникийн Хүрээлэн.
- Долгоржав, Т., Баасанбат, Ц., & Баярсайхан, Ч. (2017). Тосонцэнгэл станцын доорх царцдасын зузааныг тодорхойлох судалгааны үр дүн. *Геофизик ба Одон орон судлал*, 4.

CRUSTAL THICKNESS AND  $V_P/V_S$  SEISMIC VELOCITY RATIO OF MONGOLIA

Baasanbat Tsagaan<sup>1,2\*</sup>, Odonbaatar Chimed<sup>1</sup>, Baatarchuluun Tsermaa<sup>2</sup>,  
Dembereldulam Munkhjargal<sup>1,2</sup>, Tsogtoo Batsaikhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Department of Geology and Geophysics, School of Arts and Sciences, National University of Mongolia*

\*Corresponding author: [baasanbat@iag.ac.mn](mailto:baasanbat@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract:** Crustal thickness beneath Mongolia was determined by teleseismic receiver function H-k stacking method using data from broadband seismic stations. The result of this study was combined with the results of other seismological studies which were done in Mongolia and CRUST1.0 global crustal model to produce a general map of crustal thickness of Mongolia. According to the research result, Mongolia's crust is thickening from east to west. The thickness of the crust in west Mongolia reaches 63 km, while the thickness of the crust in the eastern Mongolia reaches 35.9 km. In the central Mongolia, the average thickness of the crust is about 45 km. The difference in crustal thickness can be explained by the isostasy law.

**Keywords:** *Earth crust, crustal thickness, receiver function*



# ИХ ТОГОО ОРЧИМД ХИЙСЭН МАГНЕТТЕЛЛУРИКИЙН ХЭМЖИЛТИЙН АНХДАГЧ ҮР ДҮН БА ТАЙЛАЛ

Э. Батмагнай<sup>1\*</sup>, Б.Энхзул<sup>1</sup>, Ш. Цэрэндүг<sup>1</sup>, Д. Жавхланболд<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

<sup>2</sup>Минторес ХХК

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [batmagnai@iag.ac.mn](mailto:batmagnai@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Магнетотеллурикийн аргыг галт уулын дүүрэг бүхий талбайд ашиглан тухайн орчны гүний тогтцын мэдээлэлүүд болох эртний магмын урсгалын зам ба одоогийн төрхийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой. Энэ судалгааны хүрээнд Архангай аймгийн Өлзийт сумын нутагт орших Их тогоо хэмээх эртний галт уул орчимд хийсэн магнетотеллурикийн хэмжилтийн өгөгдөл ба түүний боловсруулалтын үр дүнд гарган авсан цахилгаан дамжуулах чадварын загварын анхдагч тайлалын талаар авч үзсэн. Цахилгаан дамжуулах чадварын гүний зүсэлт нь тухайн талбайн геологийн идэвхжилттэй хамаарч болох сонирхолтой цахилгаан дамжуулах чадварын биетүүдийг агуулж байсан. Цаашид нарийвчилсан тайлал хийхийн тулд 2-D инверс болон региональ-локал масштабын магнетотеллурикийн хэмжилт хийх шаардлагатай юм.

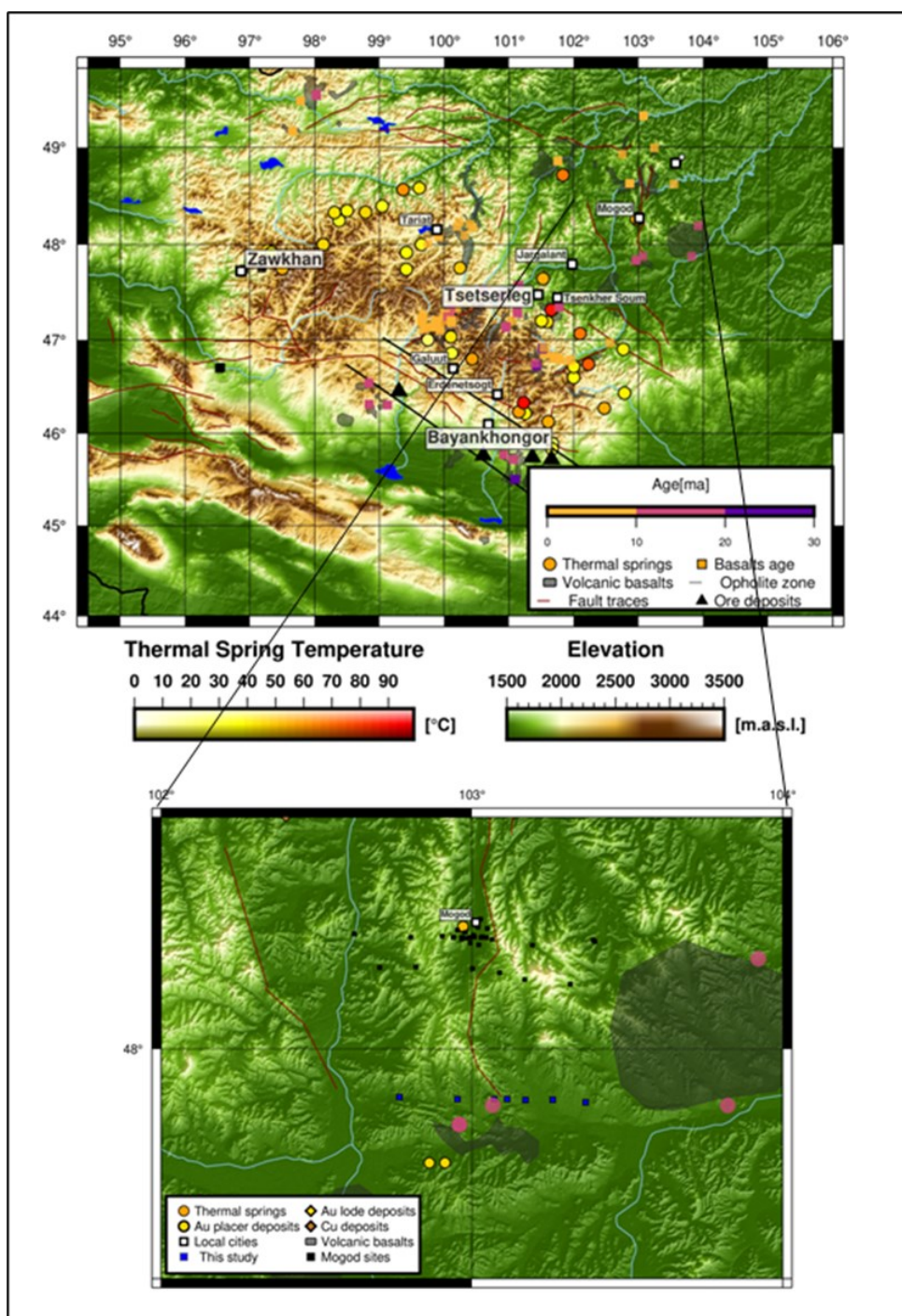
*Түлхүүр үг:* Вулканизм, импеданс тензор, 1-D инверс

## ОРШИЛ

Монгол орны төвийн бүс нутагт орших Хангай нуруу нь Домен хэлбэрт (Windley B. F., 1993) бөгөөд тэрээр эртний магматизмын ул мөрийг илтгэх өөр өөр геологийн насны вулканик бүсүүдийг агуулж байдаг (Hunt, et al., 2012). Эдгээр вулканизм нь эх газрын магматизмийн процессыг ойлгоход чухал үүрэг гүйцэтгэдэг (Hunt, et al., 2012). Хангайн нуруунд орших хэд хэдэн бага эзэлхүүн бүхий 30 – 12 Ma (Windley & Allen, 1993) жилийн настай галт уулын тогоонуудын нэг нь Их тогоо юм. Монгол орны хэмжээнд тархсан галт уулын тогоо базальт чулуулгийн геохимийн судалгааг хийсэн үр дүнгээс үзэхэд (Ancuta, Zeitler, Idleman, & Jordan, 2018), Их тогоо галт уул нь 15.75 Ma жилийн өмнө үүссэн болохыг K-Ar аргаар тодорхойлсон. Мөн Их тогоо галт уулаас баруун урд зүгт 6 км зайд 13.6 - 13.9 Ma жилийн тэртээд үүссэн харьцангуй залуу Бага тогоо галт уул байрладаг (Зураг. 1). Судалгааны талбайн 14 Ма жилийн

настай талбай бүхий базальт чулуулгаар урд ба зүүн хэсгээр тархсан байдаг. Мөн судалгааны талбай нь Могод ба Хужиртын хагарал мөн Хужирт ба Хануйн вулканик дүүргийн голд оршиж байгаа нь цаашид уг бүс нутгийг судлах геологийн үндэслэл болсон. Манай судалгааны багийн Могодын бүс нутагт хийсэн судалгааны анхан шатны тайлалуудад цаашид энэ ажилд авч үзсэн судалгааны талбай болох Тогоо вулканик дүүрэгийн орчимд судалгаа хийх нь тохиромжтой гэж үзсэн байдаг.

Могодын талбайд хийсэн геофизикийн магнетотеллурик (MT) судалгааны ажлаар гүний үе давхаргуудын цахилгаан дамжуулах чадварын загварыг тодорхойлон Могодын хөндий ба баруун талд ажиглагдаж буй хүчтэй дамжуулагч биет нь хагаралын дагуу сунаж тогтсон байх магадлалтай гэж дүгнэсэн байдаг (Enkhzul, Batmagnai, Tserendug, & Bayanjargal, 2022).



Зураг 1. Хангайн нуруу ба судалгааны талбайн зураг, энд геологийн хагарал халуун рашаануудын байрлал, мөн вулканик дүүрэг, галт уулсаас геологийн насны талаар мэдээллүүдийг мөн оруулсан. Доод зурагт үзүүлсэн хар цэгүүдээр Могод орчимд хийсэн МТ хэмжилтийн цэгүүдийг үзүүлсэн бол цэнхэр цэгээр судалгааны талбайд хийсэн МТ цэгийн байрлалуудыг тус тус үзүүлэв

Иймээс судалгааны талбай орчимын геоморфологи болон геологийн сонирхолтой тогтцуудыг харгалзан үзэж МТ судалгааны ажил хийж эхлүүлсэн. МТ арга нь байгалийн үүсгүүр бүхий цахилгаан соронзон тандалтын үндсэн арга

юм (Simpson & Bahr, 2005). МТ-н үүсгүүр орон нь байгаль дээр явагдах 0.001с -1000с үетэй цахилгаан соронзон үзэгдлээр тайлбарлагддаг. МТ-д дэлхийн гадаргын дурын цэгт нэгэн зэрэг бүртгэгдэх цахилгаан ба соронзон орны хугацааны

өөрчлөлтийг бүртгэн авч дүн шинжилгээ хийдэг (Tikhonov, 1950). Бүртгэн авсан цахилгаан соронзон сигналын үе болон тухайн орчны цахилгаан дамжуулах чадвараас хамааран МТ тандалтын гүн нь дэлхийн гадаргаас хэдэн арав ба зуун километр хүрдэг.

Энэ өгүүлэлд Их тогоо галт уулын тогоог

## АРГА ЗҮЙ БА ӨГӨГДӨЛ

### МТ-ийн тандалтын муруй

МТ – нь дэлхийн цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг тодорхойлдог геофизикийн байгалийн үүсгүүрт цахилгаан соронзон арга юм. МТ аргын үндэс нь гадарга дээр нэгэн зэрэг бүртгэгдэх цахилгаан соронзон орны өөрчлөлтөд тулгуурлан дэлхийн үе давхаргуудын геоцахилгаан шинж чанарыг илтгэх респонс буюу импедансийг Максвеллийн тэгшитгэлд тулгуурлан тодорхойлоход оршдог (Tikhonov, 1950). МТ -д импеданс нь цахилгаан соронзон орны хэвтээ байгуулагчдын хоорондох хамаарлыг илтгэх комплекс утга бүхий тензор хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ Тэг. (1).

$$\begin{aligned} E_x(\omega, \mathbf{r}, \sigma) &= Z_{xx}(\omega, \mathbf{r}, \sigma)H_x(\mathbf{r}) \cdot Z_{xy}(\omega, \mathbf{r}, \sigma)H_y(\mathbf{r}) \\ E_y(\omega, \mathbf{r}, \sigma) &= Z_{yx}(\omega, \mathbf{r}, \sigma)H_x(\mathbf{r}) \cdot Z_{yy}(\omega, \mathbf{r}, \sigma)H_y(\mathbf{r}) \end{aligned} \quad (1)$$

Энд  $\omega=2\pi f$  – өнцөг давтамж,  $\sigma$  – цахилгаан дамжуулах чадвар,  $r$  – хэмжилтийн цэгийн байрлалууд юм.

Импеданс тензорийн элемент бүрийн бодит утга нь төлөөллийн эсэргүүцэлд пропорциональ байх ба тэдгээрийн хуурмаг ба бодит утгын харьцаагаар импедансийн фазыг илэрхийлдэг (Тэг (2-3)).

$$\rho = \frac{1}{\omega\mu} |Z_{ij}| \quad (2)$$

$$\phi = \left( \frac{\text{Im}(Z_{ij})}{\text{Re}(Z_{ij})} \right) \quad (3)$$

МТ -ийн хээрийн хэмжилтээр бид цахилгаан соронзон орны хугацааны өөрчлөлтийг бүртгэн авдаг. Уг хугацааны цуваанаас импеданс тензорийг Робастийн гэж нэрлэдэг М-үнэлгээний давталтад

дайрсан шугамын дагуу хийсэн МТ хэмжилтийн мэдээлэл боловсруулалтын үр дүн ба загварын талаар авч үзсэн. Энэ төрлийн судалгаа нь тухайн бүс нутгийн цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтээр гүний үе давхаргын шинж чанарыг ойлгох давуу талтай.

регрессийн аргаар үнэлдэг (Egbert & Booker, 1986). Тэг (2-3) -т үзүүлсэн төлөөллийн эсэргүүцэл ба фазыг МТ -ийн тандалтын муруй гэдэг.

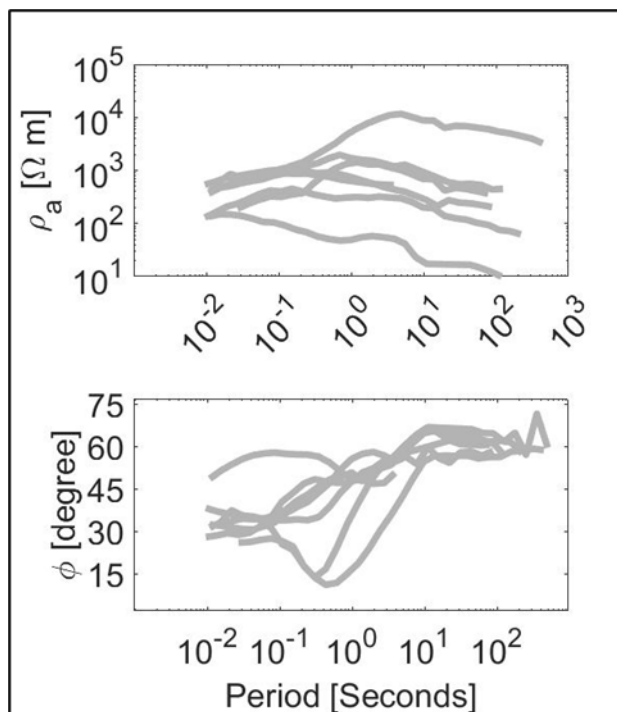
### Мэдээлэл боловсруулалт ба өгөгдлийн шинж чанар

Бид 2022 оны 10 дугаар сард Их тогоо галт уулын тогоог баруун-зүүн чиглэлийн дагуу 3-10 км зайтай 7 цэгт МТ хэмжилт хийж мэдээллийг бүртгэн авсан. Эдгээр цэгийн байрлалыг Зураг 1 -т үзүүлсэн. Судалгааны талбай нь Могодын судалгааны талбайгаас урагш 25 км зайнд байрлах бөгөөд вулканик идэвхтэй бүс нутаг юм. Мэдээлэл боловсруулалтыг Робастын аргад тулгуурласан МАТЛАБ кодоор хийж гүйцэтгэсэн. Бид цэг бүрд 06-24 цагийн хэмжилт хийсэн бөгөөд хэмжилтийн үр дүнд бүртгэн авсан тандалтын муруйнуудыг Хавсралт. 1-т оруулсан. Ерөнхийдөө бид 0.01 с – 500 с хүртэлх үетэй сайн чанарын тандалтын муруйг бүртгэн авсан байна. Хэмжилтийн муруйнуудаас үзэхэд зөвхөн IT2T ба IT5T цэгийн өгөгдөл нь 10 с орчим хүртэл сайн өгөгдөлтэй байгаа хэдий ч тухайн бүс нутгийн орчны цахилгаан дамжуулах чадварын утгыг харгалзан үзвэл уг өгөгдлөөр 15 км хүртэлх гүний мэдээллийг гарган авах боломжтой юм.

Тухайн орчны материалын нэгэн жигд бус тогтоц бага гүний 3-D биетийн хуримтлуулах нөлөөг тооцоолохын тулд SSQ гэж нэрлэгддэг скаляр импедансийг мөн тооцоолсон (Rung-Arunwan, Siripunvaraporn, & Utada, 2016). Зураг. 2 -т цэг бүрийн SSQ импедансаас Тэг. (3-2) -г

ашигласан 1-D тандалтын муруйг үүл хэлбэрээр үзүүлсэн. Энд төлөөллийн эсэргүүцэл нь 10-10000 Ом м хүртэл өөрчлөгдөж байгаа нь тухайн хэжилтийн шугамын дагуу ямар нэгэн дамжуулах

чадварын гажил байгааг илэрхийлж байна. Энэ судалгаанд, шугамын дагуух хэмжилтээр 1-D цахилгаан дамжуулалтын зүсэлт хийсэн.



Зураг 2. SSQ импедансийн тандалтын муруй

### ЦАХИЛГААН ДАМЖУУЛАХ ЧАДВАРЫН ЗАГВАР

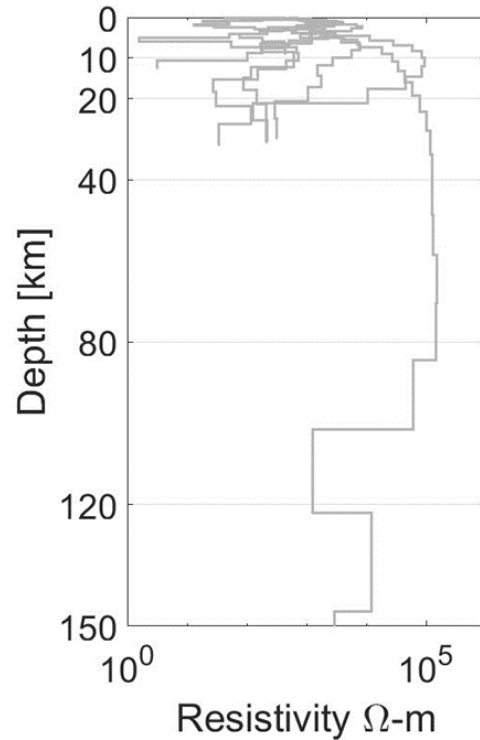
Бид инверсийн бодлогодоо детерминистик төрлийн оновчлолын арга ашигласан. Уг оновчлолын алгоритмууд нь оновчлолын функцийг градиентын бууралтад тулгуурлах тул анхны загвараас ихээр хамаардаг. Иймд цахилгаан дамжуулах чадварын 1D загварыг хэмжилтийн цэг бүрд гарган авахын тулд бид ажиглагдсан тандалтын муруйн шинж чанарт тулгуурлан нэгэн төрлийн дамжуулах чадвар бүхий хагас огторгуй загварыг тодорхойлсон. Загварын параметрийг хэмжсэн долгионы үед харгалзах төлөөллийн эсэргүүцлийн геометр дунджаар, гүний хамаарлыг скин гүнээр холбон авч үзсэн нь локал минимумын хүндрэлээс зайлсхийхэд маш тохиромжтой байсан. Учир нь алгоритмыг шалгах зорилгоор сонгосон 10 Ом м, 500 Ом м бүхий анхны загварыг авч үзэхэд анхны ажигласан болон синтетик

өгөгдлийн хоорондох алдаа > 80 байсан бол бидний дөхөлтийн хувьд уг алдааг нь < 15 болгосон нь энэ дөхөлт нь уг төрлийн судалгаанд тохиромжтой болохыг харуулсан. Энэ ажлын хувьд, хэмжилтийн цэг бүрд инверсийн процесс эхлэх үед анхны алдаа RMS нь 20-30 байсан бөгөөд 80-170 давталтын дараагаар уг алдаа нь 0.5-5 болсон буюу хамгийн бага утгадаа хүрсэн. Зураг 3 -т цэг бүрд тодорхойлогдсон 1D инверсийн загваруудыг нэгтгэн үзүүлсэн. Энд цахилгаан дамжуулагчийн шугамын дагуу эсэргүүцэл хүчтэй өөрчлөгдөж байгааг ажиглаж болно. Уг эсэргүүцлийн өөрчлөлт нь Их тогоо галт уулын тогооны тогтцоос хамаарч болох юм. Үүнийг сайтар ойлгохын тулд шугамын дагуу 2-D зураг босгов (Зураг 4).

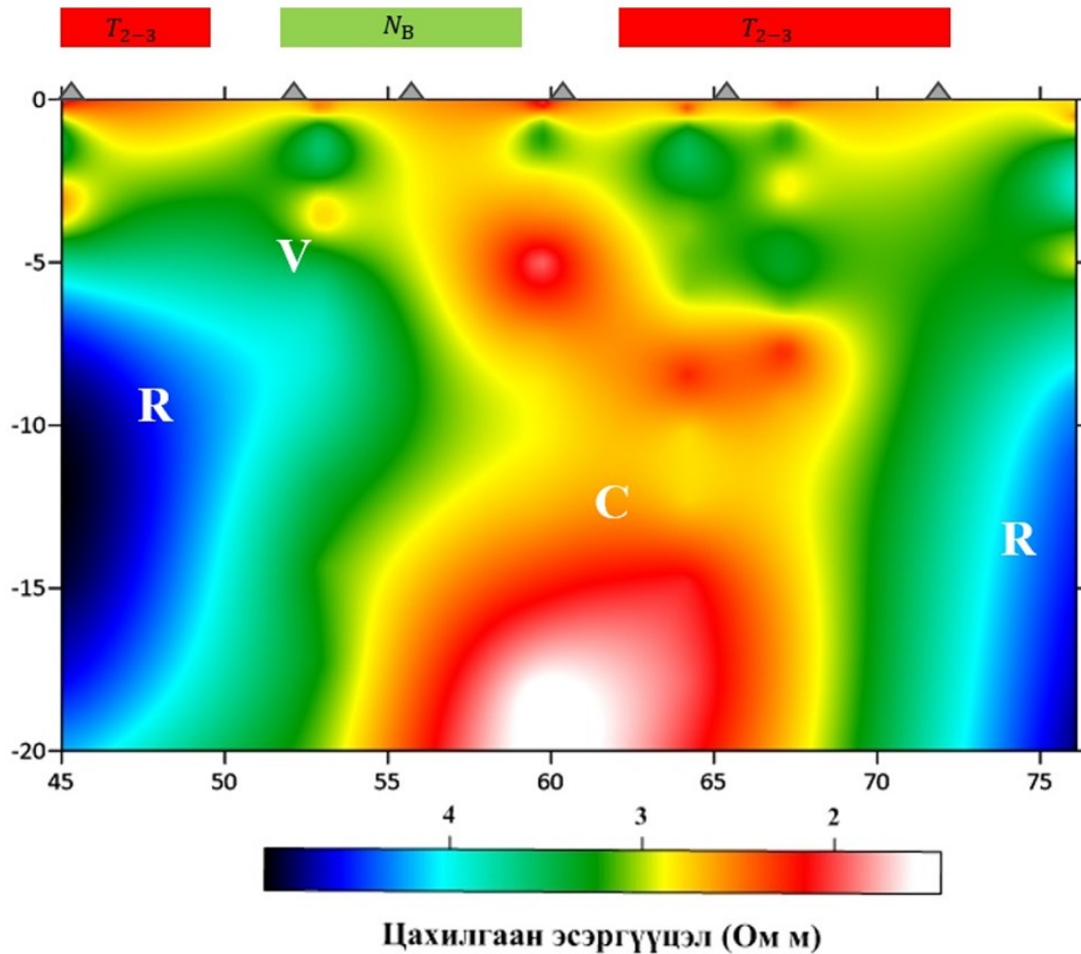
Цахилгаан эсэргүүцлийн профилийн дагуух загвар нь Зураг 1 -т үзүүлсэн MT



хэмжилтийн цэгүүдийн зүүн гар талаас 2 дахь цэгээс эхлэн сүүлчийн цэг хүртэлх 30 км талбайн зүсэлтийг үзүүлсэн (Зураг 4). 2D цахилгаан эсэргүүцлийн загварыг төгсгөлөг ялгаврын аргад суурилсан урвуу бодлогын код ашиглан тооцсон. Загварчлалд өгсөн анхны загвар нь 100 км урттай байсан бөгөөд бидний судалгааны талбай нь уг загварын 45-75 км -т хамаарна. Зураг 4 -т үзүүлсэн цахилгаан эсэргүүцлийн загвар нь дээд царцдасын геоцахилгаан тогтцыг тодорхойлсон бөгөөд энэ нь судалгааны 10-5000 Ом м эсэргүүцэл бүхий орчны өөрчлөлтүүдээс бүрдсэн байна. Цахилгаан эсэргүүцлийн эдгээр биетүүдийг бид үзүүлж буй утга болон хэлбэрээс нь хамааруулан эсэргүүцэгч биет болох R, цахилгаан дамжуулагчийн биетийг төлөөлөх C мөн бага гүний дамжуулагч буюу V хэмээн тэмдэглэсэн.



Зураг 3. Цахилгаан эсэргүүцлийн 1-D загварууд



Зураг 4. MT хэмжилтийн зүүн гар талаас 2 дахь цэгээс сүүлчийн цэг хүртэлх (Зураг. 1 цэнхэр цэгүүд) орчны цахилгаан эсэргүүцлийн загвар

## ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БА ДҮГНЭЛТ

Уг судалгааны хүрээнд бидний 2022 онд Гүний хагарал-1 төслийн хүрээнд Могодын бүс нутгийн геоцахилгаан тогтцын тухай мэдлэгийг нэмэгдүүлэх ажлын хүрээнд хийсэн МТ хэмжилтийн өгөгдлийг боловсруулан олон хэмжээст цахилгаан эсэргүүцлийн загвар гарган авлаа.

Хугацааны цуваанаас тандалтын муруйг үнэлэх мэдээлэл боловсруулалтын үе шатыг бидний өмнөх судалгааны ажлуудаар хөгжүүлсэн интерактив кодуудыг ашигласан. Мөн загварчлалын үе шатанд өөрсдийн Матлаб-суурилсан детерминистик инверсийн код ашиглан эцсийн үр дүнд хүрсэн. Мэдээлэл боловсуулалт болон инверсийн үр дүнд гарган авсан өгөгдлүүдийг энэ ажилд хавсаргав. Ажигласан болон Онолын өгөгдөл, тэдгээрийн хоорондох зөрүү нь бага мөн график дөхөлтүүд нь ижил байгаа нь энд үзүүлсэн загварын нарийвчлал болон чанар сайн байгааг илтгэнэ.

Цахилгаан эсэргүүцлийн загварт (Зураг 1), тодорхойлогдсон цахилгаан дамжуулах чадвар/эсэргүүцлийн биетүүд нь гадаргын геологийн формацтай сайтар тохирч байна. Монгол оронд урьд өмнө хийгдсэн региональ МТ судалгааны ажлын үр дүнгийн тайлалыг авч үзэхэд төв Монголыг бүрдүүлж буй суурь чулуулаг нь урьд-Кэймбрийн настай блокууд байх бөгөөд тэдгээр нь нягт ихтэй хуурай шинж чанартай байх тул хэт цахилгаан эсэргүүцэгч орчин байна гэдгийг тайлбарласан (Käufel, Grayver, & Kuvshinov, 2018). Мөн кэймбрийн насны интрузив чулууллаг нь тэдгээрийн температур найрлагаас хамааран өндөр эсэргүүцэл үзүүлдэг (Käufel J. S., бас бус., 2020).

Иймээс бидний загвар дахь 1000-5000 Ом м эсэргүүцэл бүхий R биет нь талбайн 2 талаар давамгайлан байрлаж байх бөгөөд энэ нь Дунд-Триасын интрузив чулуулагтай давхцаж байна. Харин талбайн дээд царцдас давхаргад хэлбэржин байрласан бага эзэлхүүн бүхий дунд 500 –

1000 Ом м эсэргүүцэлтэй биетүүд ажиглагдаж байна. Энэ орон зайн түгэлт нь тухайн бүс нутагт тогтсон галт уулын тогоонуудын байрлалтай давхцаж байна. Тиймд бид өндөр эсэргүүцэлтэй R биетүүд нь шүлтлэг дунд – Триасын боржингийн түгэлт, V биет локал масштабын вулканизмыг төлөөлж байна гэж дүгнэж байна.

Харин C дамжуулагч нь тухайн судалгааны талбайн региональ масштабын вулканизм түүний гүний гарал үүслийг сайтар дүрсэлж байна. Зураг 4 - с үзэхэд C дамжуулагчийн гүний гарал үүсэл нь магадгүй нь доод царцдас улмаар астеносферийн хэсэгчилсэн хайлалтаас холбоотой байж болно. Бидний тодорхойлсон загварын хувьд C дамжуулагч нь дээд царцдасд мандалд давамгайлан тогтсон босоо хэлбэрийн цахилгаан дамжуулагч байна. Энэ утгаар бид C дамжуулагчийг астеносферийн хэсэгчилсэн хайлалтаас дээш өргөгдөх магмын урсгалын зам байж болно гэж дүгнэж байна.

C дамжуулагчтай холбон тухайн бүс нутгийн вулканизм ба локал масштабын ашигт малтмалын түгэлтийг тайлбарлах боломжтой боловч Зураг 4 -т үзүүлсэн дамжуулагчдын хэлбэр нь бүрэн тодорхойлогдоогүй. Иймд цаашид тухайн бүс нутагт нарийвчилсан судалгаа хийх шаардлагатай гэж үзсэн. Судалгааны баг нь цаашид Их тогоо вулканик дүүрэгт нарийвчлан 2-D, 3-D масштабын судалгааны ажлууд хийх ба Могодын тогтоцтой холбон тайлбарлах зорилт тавин ажиллаж байна.

## ТАЛАРХАЛ

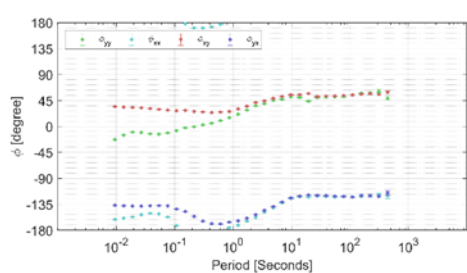
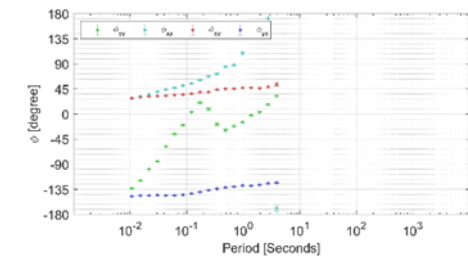
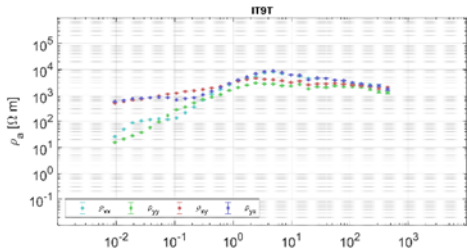
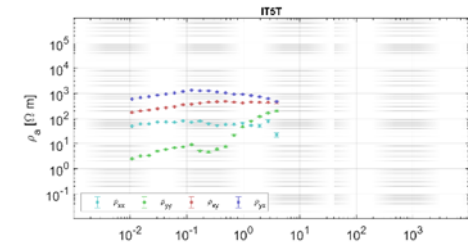
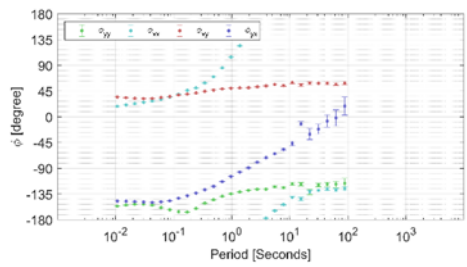
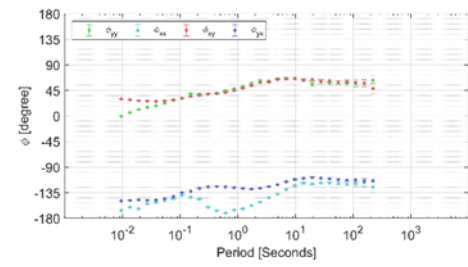
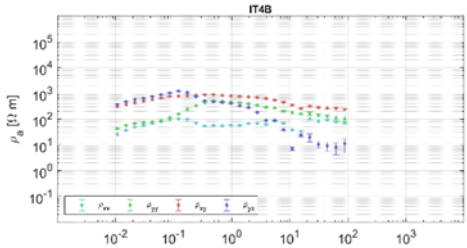
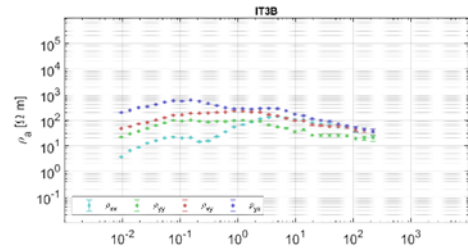
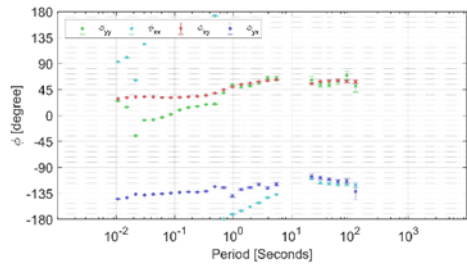
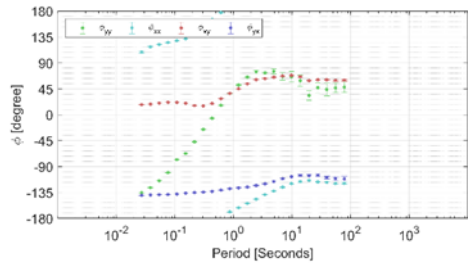
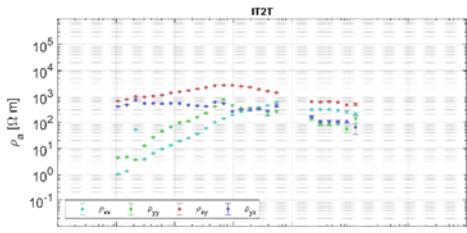
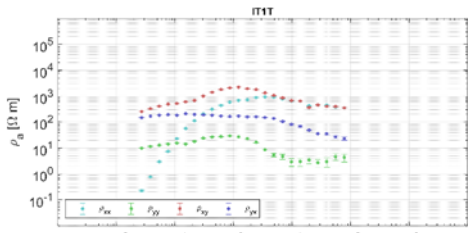
Энэхүү судалгааны ажлын хээрийн өгөгдлийг цуглуулах МТ станц суурилуулахад голлох үүрэг гүйцэтгэсэн Х. Цагаансүхэд гүнээ талархал илэрхийлье. Уг

судалгааны ажлын хувьд хээрийн ажлыг Минторес ХХК-д хэрэгжүүлж буй Гүний Хагарал -1 төслийн хүрээнд санхүүжүүлэв.

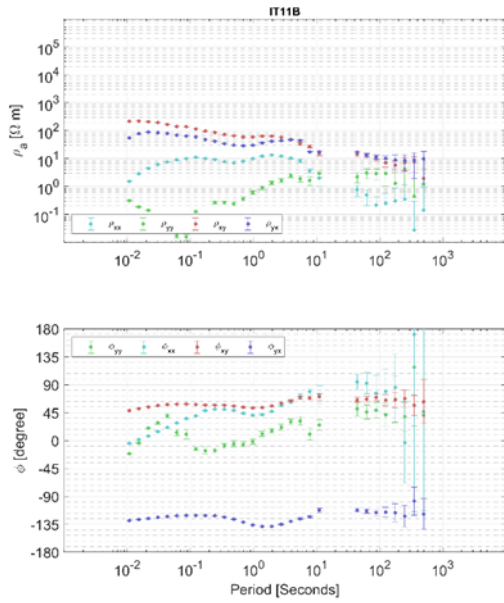
## НОМЗҮЙ

- Ancuta, L. D., Zeitler, P. K., Idleman, B. D., & Jordan, B. T. (2018). Whole-rock  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology, geochemistry, and stratigraphy of intraplate Cenozoic volcanic rocks, central Mongolia. *Bulletin*, 130, 1397–1408.
- Egbert, G. D., & Booker, J. R. (1986). Robust estimation of geomagnetic transfer functions. *Geophysical Journal International*, 87, 173–194.
- Enkhzul, Batmagnai, Tserendug, & Bayanjargal. (2022). Investigation of the electrical resistivity structure of the subsurface at Mogod valley in central Mongolia: Insight is using 1D Magnetotelluric inversion. *Mongolian Geoscientist*, 54, 37-50.
- Hunt, A. C., Parkinson, I. J., Harris, N. B., Barry, T. L., Rogers, N. W., & Yondon, M. (2012). Cenozoic volcanism on the Hangai Dome, Central Mongolia: geochemical evidence for changing melt sources and implications for mechanisms of melting. *Journal of Petrology*, 53, 1913–1942.
- Rung-Arunwan, T., Siripunvaraporn, W., & Utada, H. (2016). On the Berdichevsky average. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 253, 1–4.
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Tikhonov, A. N. (1950). On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's crust. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 73, хуудсд. 295–297.
- Windley, B. F. (1993). Mongolian plateau: Evidence for a late Cenozoic. *Geology*, 295-298.
- Windley, B. F., & Allen, M. B. (1993). Mongolian plateau: Evidence for a late Cenozoic mantle plume under central Asia. *Geology*, 21, 295–298.
- Батмагнай, Э. (2020). Магнетотеллурикийн тензорууд ба тэдгээрийн физик тайлбар: I хэсэг 1-D загвар. *Геофизик Одон орон судлал*, 7, 38-47.
- Батмагнай, Э., & Сүхбаатар, Ү. (2016). Цахилгаан соронзон тандалтын сигнал боловсруулалтын арга. 15-23.

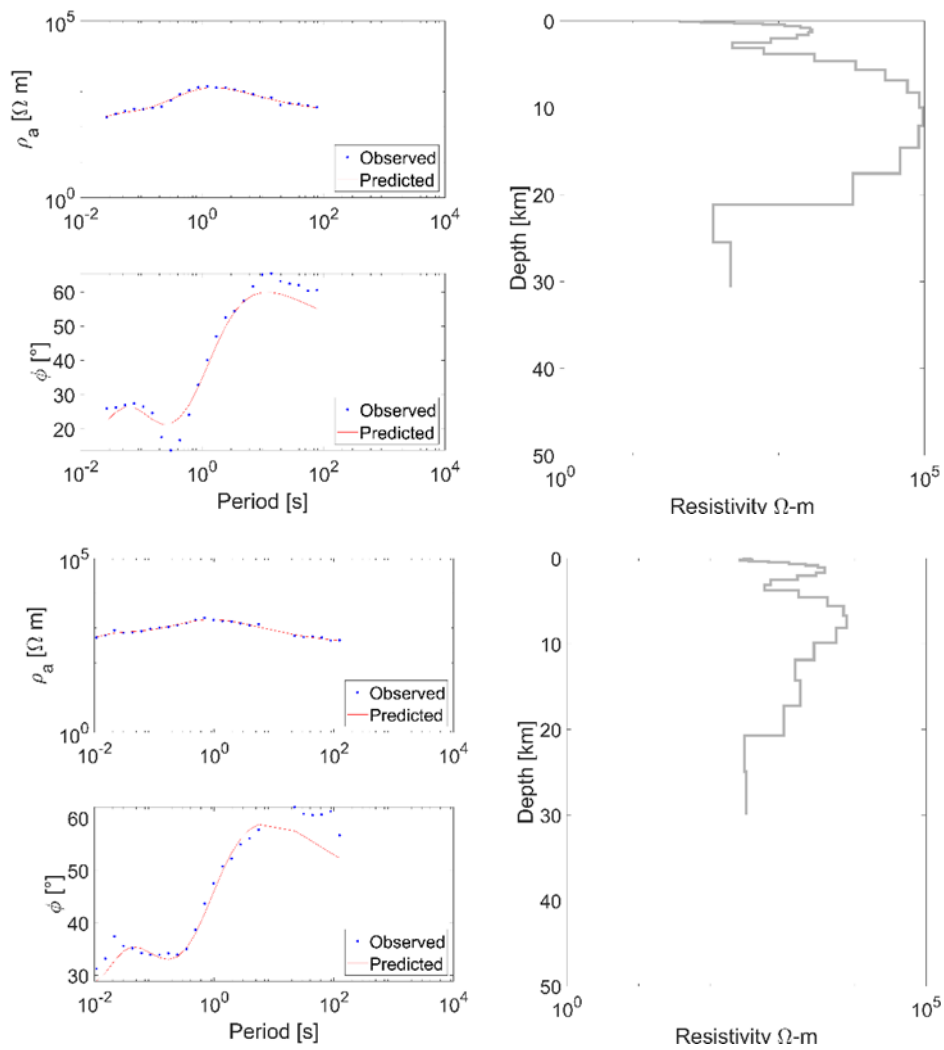
ХАВСРАЛТ 1: АЖИГЛАСАН ТАНДАЛТЫН МУРУЙ

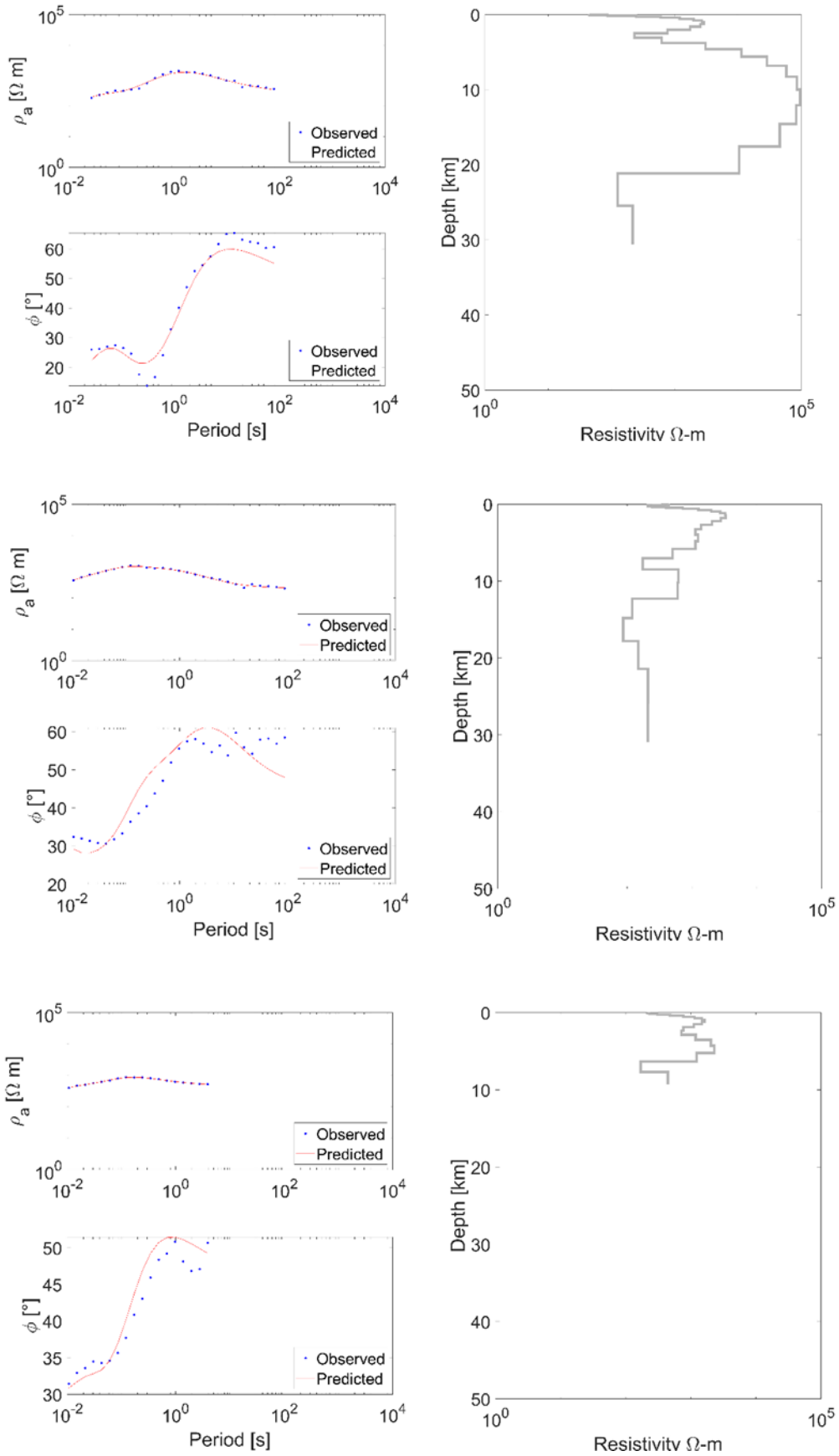


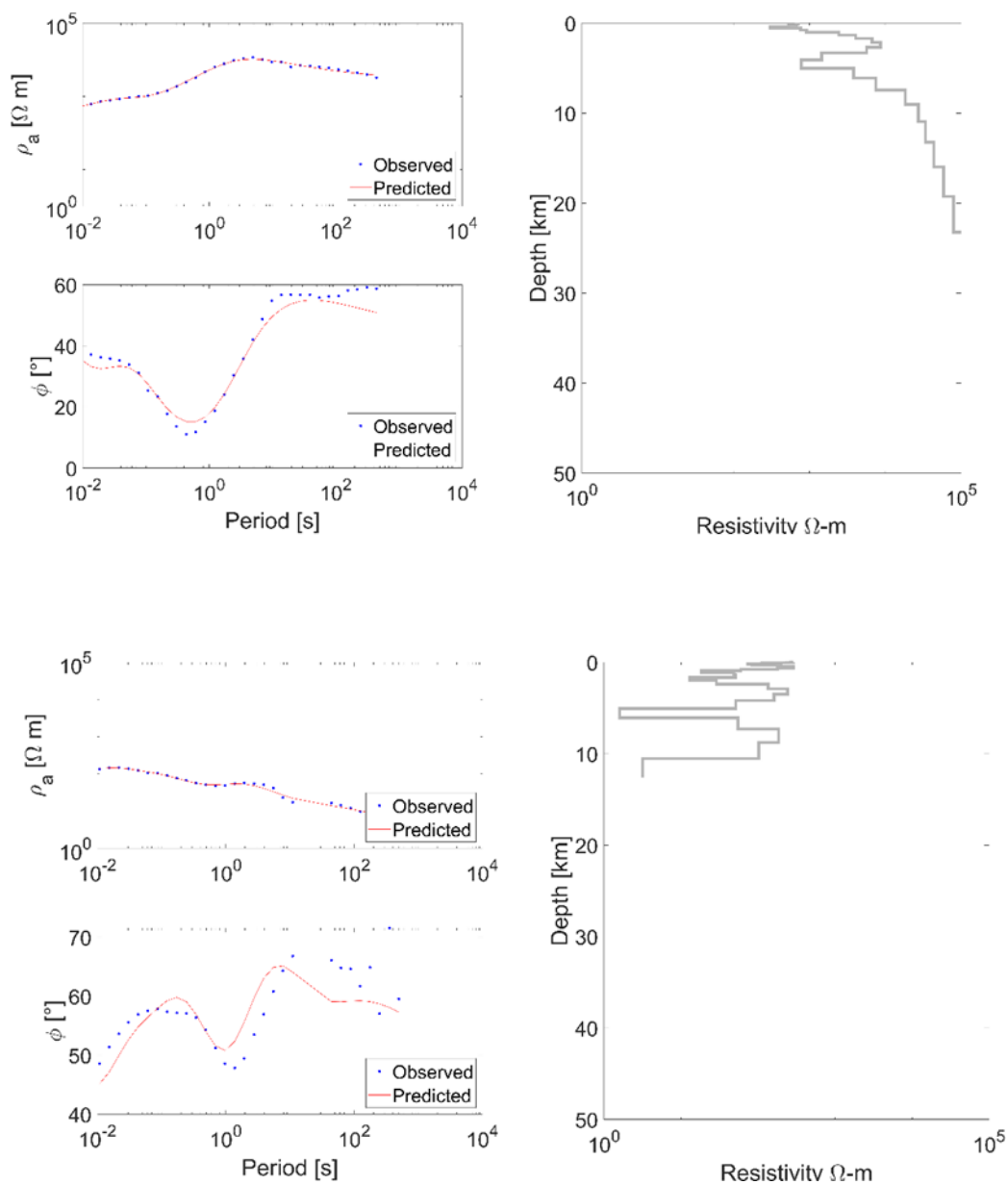




**ХАВСРАЛТ 2: АЖИГЛАСАН БА ОНОЛЫН ТАНДАЛТЫН МУРУЙ, 1-D ЗАГВАР**







Жич: Ажигласан ба Онолын муруй мөн цахилгаан эсэргүүцлийн 1-D загварыг энд Хавсралт 1-т үзүүлсэн цэгүүдийн дагуу оруулав.

## THE PRELIMINARY RESULTS AND INTERPRETATION OF THE MAGNETOTELLURIC SURVEY AT THE IKH TOGOO REGION

Batmagnai Erdenechimeg<sup>1\*</sup>, Enkhzul Bayartogtokh<sup>1</sup>, Tserendug Shoovdor<sup>1</sup>,  
Javkhlanbold Dorjsuren<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Mintores LLC*

\*Corresponding author: [batmagnai@iag.ac.mn](mailto:batmagnai@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** Using the Magnetotelluric for the volcanic districts to determine information about the deep structure, such as the current status and relic pathways of the magma, is vital. This study discusses the electrical conductivity model and its data processing, modelling, and interpretation for Magnetotelluric measurements conducted at Ulziit, Arkhangai's Ikh togoo volcanic cone. A vertical slice of the conductivity structure contains prominent features which can relate to the geological activity of the region. Further, the regional-local scale Magnetotelluric measurements and 2-D inversions are needed to interpret the structure better.

**Keywords:** *volcanism, impedance tensor, 1-D inversion*



## ХОВД ЦАХИЛГААН СОРОНЗОН ОРГИЛ: УРТ ҮЕТ МАГНЕТОТЕЛЛУРИКИЙН БАГАЖ СУУРИЛУУЛАЛТ АРГА ЗҮЙ БА АНХДАГЧ ҮР ДҮН

С.Загдсүрэн<sup>1\*</sup>, Э. Батмагнай<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Бид урт үет магнетотеллурикийн респонсийг бүртгэн авах зорилгоор Ховд геосоронзон оргилд Geomag-02 багаж суурилуулан өргөтгөв. Бүртгэн авсан өгөгдлөөр тухайн орчны 1-D цахилгаан дамжуулах чадварын загварыг гарган авах боломжтой байсан. Гэвч суурин газраас холдуулах нь магнетотеллурикийн хэмжилтийн стандарт чанарыг сайжруулж, өгөгдлийн илүү чанартай болгоно гэж үзэв. Энэ Ховд геосоронзон оргилыг өргөтгөх нь магнетотеллурикийн станцыг цаашид манай оронд хэрхэн оновчтой суурилуулахыг шалган тогтоох анхдагч туршилтын ажил болсон ба тавьсан зорилтоо бүрэн биелүүлсэн гэж үзэж байна.

*Түлхүүр үг: Төлөөллийн эсэргүүцэл, Цахилгаан дамжуулах чадвар*

### ОРШИЛ

Геосоронзон оргил нь Дэлхий ба түүний ойролцоо явагдаж буй цахилгаан соронзон үзэгдлийн физик шинж чанар, зүй тогтлыг ойлгохын тулд соронзон орны тухайн цэгийн богино - урт үетэй хувьслыг бүртгэх байрлал юм. Геосоронзон оргил нь тодорхой шаардлагын дагуу (Hultqvist, 2011) баригддаг бөгөөд уг байгууламж нь соронзон орны вектор байгуулагчид ба, үнэмлэхүй утгыг хэмждэг багажуудаар тоноглогдсон байдаг. XIX зуунд анхны геосоронзон оргил байгуулагдсанаас (Hultqvist, 2011) хойш Дэлхий дээр маш олон соронзон оргилууд байгуулагдсан боловч бүх оргилууд нь байрлал, мэдээллийн чанар ба тасралт ба багаж зэргээс хамаарч Олон улсын соронзон оргилын шаардлага хангадаггүй. Үйл ажиллагааны шаардлага хангасан геосоронзон оргилуудын тоон өгөгдлийг Дэлхий ба хүрээлэн буй орчны судалгаанд ашиглах зорилгоор нэгтгэн судлаачдад нээлттэй төлөвөөр хангах Интермагнет сүлжээ нь 140 орчим оргилоос бүрддэг (Finlay, 2010). Уг судалгааны ажлын хэтийн зорилт бол Ховд соронзон оргилыг

бүрэн цахилгаан соронзон орны ажиглалтын цэг болгон өргөтгөх мөн Интермагнет сүлжээнд нэгтгэх юм.

Одон орон геофизикийн хүрээлэн (ООГХ)-н Ховд салбарт 2002 оноос хойш Дэлхийн соронзон орны өөрчлөлтийг бүртгэх соронзон оргил байнгын ажиллах болсон. Уг оргилд 2002 онд “Баруун монголд хийх соронзон орны судалгаа” төслийн хүрээнд суурилуулсан соронзон вариацийн станц, мөн 2011 онд Японы Кюшүгийн Их Сургуулийн Сансар судлалын судалгааны төв (SERC)-ийн “MAGDAS”-н сүлжээ станц нар соронзон орны вектор байгуулагчдын өөрчлөлтийг 0.1 ба 1с дискреттэйгээр бүртгэж байна. Мөн уг оргилд, 2012 оноос хойш Дэлхийн соронзон орны скаляр утгыг хэмжих Оверхаузын өндөр нарийвчлал бүхий протон магнитометр POS-1 ба соронзон орны үнэмлэхүй утгыг хэмжигч (DI-метр, Lemi-204) зэрэг ажиглалтын болон хэмжилтийн багаж төхөөрөмжүүд шинээр суурилуулсан байдаг.

Хэдийгээр өнөөдөр Ховд геосоронзон оргил нь багаж техникийн хувьд бие даасан

соронзон оргил болон хөгжиж мөн соронзон орны мэдээллийг тасралтгүй бүртгэн авах боломжтой болсон боловч мэдээллийг нэгтгэн боловсруулан регионал ба локал соронзон орны судалгаа, сансрын цаг уур ба геотектоник мониторинг хийх зэрэг суурь ба хавсарга судалгаанд ашиглах нөхцөлийг бүрэн хангах шаардлагатай байна. Иймээс Ховд геосоронзон оргилын үйл ажиллагаа өгөгдлийн чанарыг дүгнэн ойлгох цаашид теллурикийн станцыг байнга суурилуулах боломжийг тодорхойлох нь тухайн оргилд Магнетотеллурикийн (МТ) багаж суурилуулах үндэслэл болсон. Ингэснээр Ховд геосоронзон оргилын станцууд нь соронзон орны богино үет хувьсал, соронзон орны бүрэн хүчлэгийн скаляр утга зэргийг бүртгэж дунд-дээд өргөргийн

өөрчлөлт, хоногийн хувьсал,  $S_q$  хувьсал, соронзон шуурганы төлөв байдал к индекс зэргийг судалдаг байсан бол теллурикийн орныг хэмжсэнээр цахилгаан соронзон индукцийн үзэгдлээр газрын гүний үе давхаргуудын цахилгаан дамжуулах чадварын тогтцыг тодорхойлох боломж бүрдэх юм. Ховд нь цахилгаан соронзон оргилын үйл ажиллагаанд шилжсэнээр тухайн бүс нутгийн геодинамик ба геотектоник зүй тогтлыг ойлгоход хүчтэй дэмжлэг үзүүлэх төдийгүй цаашид суурь судалгаанд ихээхэн ач холбогдолтой юм.

Энэ өгүүлэлд, Ховд геосоронзон оргилын одоогийн төлөв, МТ станц суурилуулалт, анхдагч үр дүн ба цаашдын судалгааны ажлын талаар арга зүй ба өгөгдөл, багаж техник, үр дүн ба хэлэлцүүлэг гэсэн үндсэн хэсгүүдэд хуваан авч үзсэн.

## СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ БА ӨГӨГДӨЛ

МТ нь дэлхийн цахилгаан соронзон индукцийн үзэгдэлд тулгуурлан цахилгаан ба соронзон орны өөрчлөлтийг урт ба өргөн зурвасын спектрийн мужид тодорхойлон Дэлхийн гүний үе давхаргуудын цахилгаан дамжуулах чадвар/эсэргүүцлийг тодорхойлдог байгалийн үүсгүүрт геофизикийн цахилгаан соронзон аргын нэг юм. Мөн гүний соронзон тандалт (ГСТ) нь байгалийн үүсгүүрт цахилгаан соронзон арга боловч МТ аргаас ялгаатай тал нь түүнийг загварчилж буй үүсгүүр орны шинж чанар юм (Chave & Jones, 2012). Эдгээр цахилгаан соронзон аргуудаар Дэлхийн гүнийг тандах физик үндэслэл нь цахилгаан соронзон индукцийн скин эффект (Тэг. 1) юм.

$$d(T) \approx 500\sqrt{T\rho_a} \quad (1)$$

Өөрөөр хэлбэл нэгэн төрлийн цахилгаан орчин болох агаараар тархах цахилгаан соронзон долгионы далайц дамжуулагч Дэлхий рүү нэвтрэх мөчөөс эхлэн экспоненциалаар буурдаг. Нэгэн төрлийн  $\rho_a$  эсэргүүцэлтэй орчинд  $T$  үетэй

цахилгаан соронзон долгионы нэвтэрч чадах хамгийн их гүний скин буюу нэвтрэх гүн  $d$  гэдэг (Тэг. 1). Энд  $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{Hm}^{-1}$  нь соронзон нэвчилт байна. Энэхүү судалгааны ажилд МТ -н үүсгүүр орны хувьд ажиллах тул цаашид МТ аргын тодорхойлолтыг доор оруулсан.

### *МТ арга*

МТ аргын анхдагч өгөгдөл нь цахилгаан соронзон орны хугацааны цуваа боловч түүний хэмжих үндсэн хэмжигдэхүүн нь Дэлхийн гадарга дээр цахилгаан ба соронзон орны өөрчлөлтийг нэгэн зэрэг бүртгэж чадвал Максвеллын тэгшитгэлээр тодорхойлогдох тухайн цэгийн импеданс юм (Tikhonov, 1950). Цахилгаан дамжуулагч Дэлхийн загварын хувьд, (Cagniard, 1953) хавтгай цахилгаан соронзон долгионы туйлшралд тулгуурлан МТ импеданс тодорхойлогдож буйг математик аргаар нотолсон. Гэвч Дэлхий нь 1-D бус тул бодит байдал дээр бидний бүртгэн авах МТ импеданс нь хэмжилтийн цэгийн байрлал  $r$ , орчны дамжуулах чадвар  $\sigma$  ба бүртгэсэн цахилгаан соронзон

долгионы үеэс  $T$  хамаарсан комплекс тензор хэлбэрээр тодорхойлогдоно (Тэг. 2).

$$E = Z(r, \sigma, T) \cdot H \tag{2}$$

Импеданс тензор нь хэмжилт хийж буй гео-цахилгаан орчны хэмжээний мэдээллийг мөн агуулж байдаг. Импеданс нь орчны хувийн цахилгаан эсэргүүцэл ба фазтай дараах байдлаар холбогддог.

$$\rho_a = \frac{|Z|^2}{\omega\mu} \tag{3}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{Im(Z)}{Re(Z)} \tag{4}$$

1-D орчны хувьд, (Wait, 1954) үелсэн нэгэн төрлийн хэвтээ дамжуулагч давхарга бүхий Дэлхийн гадарга дээр бүртгэгдэх скаляр импедансийг тодорхойлох давталтад томъёог тодорхойлсон нь 1-D МТ загварын шууд бодлогын үндэс болдог.

МТ -ийн өөр нэгэн респонс функц бол типпер юм (Weidelt, 1972). Типпер нь соронзон орны хэвтээ ба босоо байгуулагчдын хоорондох хамаарлыг илтгэдэг.

$$H_z = H_x T_x \cdot H_y T_y \tag{5}$$

Өмнөх ажлуудад бид хугацааны цуваанаас импедансыг үнэлэх импеданс тензорын физик шинж чанар ба МТ -ийн 1 - D шууд ба урвуу бодлогын бодох арга зүйн судалгааны ажлууд хийж гүйцэтгэж судалгаанд нэвтрүүлсэн байна.

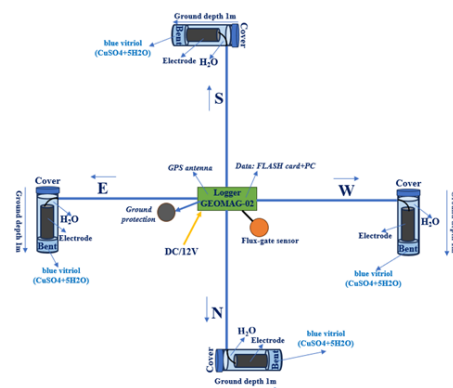
*Ховд соронзон оргилын өгөгдөл*

Монгол орны баруун хязгаарт буюу Ховд аймгийн төвд ООГХ-ын соронзон судлалын салбарын Ховд соронзон оргил 2002 оноос байнгын ажиллаж байна. Өнөөдрийг хүртэл, Ховд оргил нь соронзон орны хугацааны өөрчлөлтийг ортогналь гурван байгуулагчийн дагуу бүртгэх вектор соронзонметр ба орны бүрэн хүчлэгийг хэмжих скаляр соронзон метрүүдийг ашиглан тухайн бүс нутагт соронзон орны судалгаа хийж ирсэн.

Орчин цагт, соронзон оргилын өгөгдлийн утга ашиглан тухайн бүс нутгийн гүнийг 1600 км хүртэл тандах боломжтой болсон (Cite GDS). Өгөгдөлд тавигдах анхдагч шаардлага нь өгөгдөл нь орчны шумаас бага хамаарах мөн тасралтгүй байдал нар юм. Ховд соронзон оргилын өгөгдөл нь дээрх шаардлагыг бүрэн хангаж байх боловч урьд өмнө энэ төрлийн судалгаа хийгдэж байгаагүй тул гүний цахилгаан дамжуулах чадварын загварыг тодорхойлохын тулд уламжлалт МТ аргатай харьцуулсан судалгаа хийх зайлшгүй шаардлагатай байсан. Иймд 2023 оны 10 – р сард нам давтамжийн МТ станц суурилуулсан. Ховд соронзон оргилын өнөөгийн төлөв хийгдэж буй судалгааны ажлын талаар (Загдсүрэн, 2023) нар авч хэлэлцсэн. Энэ ажилд нам давтамжийн МТ станцын суурилуулалт ба мэдээлэл боловсруулалтын анхдагч үр дүнг авч үзсэн.

**ХЭМЖИЛТИЙН БАГАЖ СУУРИЛУУЛАЛТЫН ЗАРЧИМ БА АРГА ЗҮЙ**

GEOMAG-02 магнетотеллурикийн станц нь оргил болон хээрийн нөхцөлд соронзон болон цахилгаан орны өөрчлөлтийг хэмжихэд зориулагдсан байдаг. Энэ станцын иж бүрдэл нь flux-gate мэдрэгч дээр суурилагдсан 3 байгуулагч бүх вариацийн магнетометр ба үл туйлшрах электродуудад тулгуурлан хэвтээ чиглэлийн дагуух потенциалын зөрүү буюу цахилгаан хүчдэлүүдийг бүртгэх цогц систем юм.



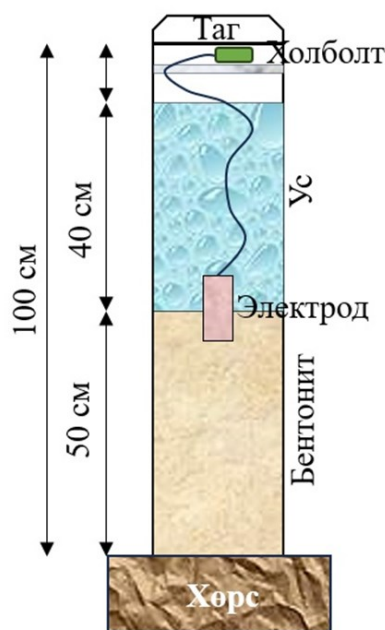
*Зураг 1. Магнетотеллурикийн станцийг суурилуулсан схем*

Ховдын геосоронзон оргилын талбайд газрын гүний цахилгаан соронзон гүйдлийг хэмжигч магнетотеллурикийн станцын цахилгаан орныг бүртгэгч мэдрэгчдийг төвийн цэгээс хойд ба урд, зүүн ба баруун чиглэлд хоорондоо 30м зайд суурилуулсан. Харин соронзон метрийг төвийн цэгээс баруун хойд зүгт 15 м байрлуулсан бөгөөд төвийн цэгт хүлээн авагчийг суурилуулсан.

Нам давтамжийн МТ станцыг урт хугацаанд тогтвортой ажиллуулахад түүний цахилгаан орныг бүртгэгч мэдрэгчийг орчны цаг уурын нөлөөллөөс сайтар хамгаалж, дамжуулагч бүхий орчинд суулгах шаардлагатай байдаг. Иймээс бид 4 зүгт тавьсан 4 мэдрэгч электродыг 1м гүнд PVC хоолой дотор байрлуулсан бөгөөд хоолойн доод хэсэгт 50 см өндөрт бентонит хийж электродоо дээр нь суурилуулж цэнхэр өнгийн Битриоль, цэвэр усаар дүүргэсэн. Температурын зөрөөг арилгах, тогтмол хэвийн хадгалах үүднээс хоолойг дулаалж шороогоор хучсан (Зураг 2).

МТ станц нь мэдээллээ дотоод флаш диск болон компьютер дээр хадгалах боломжтой бөгөөд цагийн тохируулгаа гадна GPS хүлээн авагчаас авдаг. Мөн соронзон орны байгуулагч бүрийн бүртгэх

зурвас (offset)-ийн хэмжээ нь +/- 65000нТл бөгөөд 0.001нТл хүртэлх өөрчлөлтийг 0.1сек-60сек тутамд бүртгэх боломжтой бол индукцийн цахилгаан гүйдэл бүртгэх хүчдлийн интервал нь +/- (200-2000)mV, гүйдлийн 1mkV-ийн өөрчлөлтийг бүртгэдэг. Багажийн ажиллах температурын интервал нь -10<sup>0</sup>С-аас +40<sup>0</sup>С, сенсоруудын температурын өөрчлөлт 0.1<sup>0</sup>С.



Зураг 2. Электрод суурилуулсан схем

### ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БА ДҮГНЭЛТ

МТ - ийн 1 өдрийн мэдээллээр вариацийн 3 байгуулагч, цахилгаан орны 2 байгуулагчийн үр дүнг зурж харуулав. Энд соронзон орны байгуулагчид болох  $H_x, H_y, H_z$  нар нь орчны ямар нэгэн цахилгаан соронзон шумаас үл хамааран орны утгыг 0-40 нТ интервалд сайн бүртгэж байна. Энэ соронзон орны сигналын чанар сайн байгааг илтгэж байна. Харин цахилгаан орны байгуулагчид  $E_x, E_y$  нарын сигнал нь тогтмол хугацаанд үсэрч буй нь ажиглагдсан. Уг сигналын гарал үүслийг бид орчны цахилгаан соронзон шумтай холбон ойлгож байгаа боловч төдийлөн бүрэн ойлгож чадаагүй байна.

Цахилгаан орны шумын нөлөөг ойлгохын тулд бидэнд илүү урт хугацааны сигнал болон спектр анализ хийх шаардлагатай юм.

Энэхүү өгүүлэлд, Монгол оронд анх удаагаа үйл ажиллагааг нь жигдрүүлэн ажиллах гэж буй нам давтамжийн МТ станцын суурилуулалт болон мэдээлэл бүртгэн авах механизмын талаар авч үзлээ. Ховд геосоронзон оргил нь аймгийн төвд буюу соёлын болон цахилгаан шум ойрхон газар байрлах боловч соронзон оронд үзүүлэх шум үгүй байгаа нь ихээхэн судалгааны ажлыг цааш үргэлжлүүлэхэд давуу тал болж байна. Зөвхөн МТ-ийн соронзон станц төдийгүй бусад оргилын

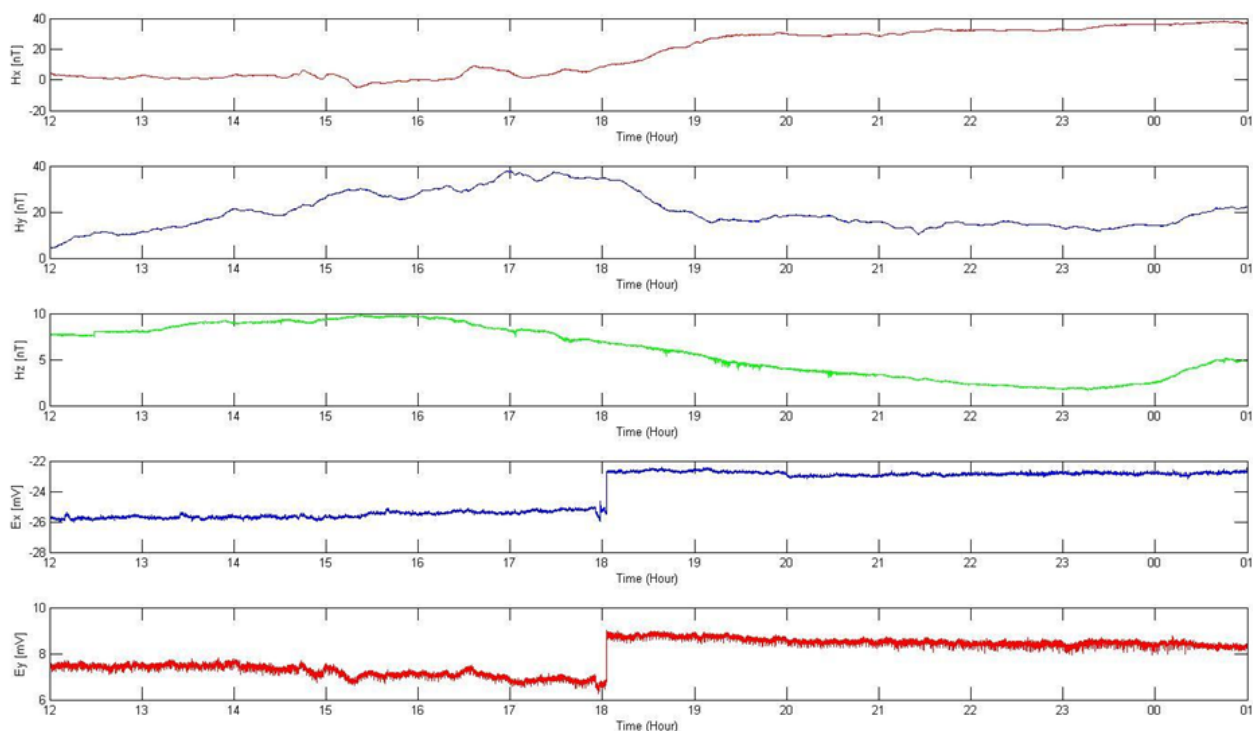


соронзон метрүүдийн бичлэгт шумын нөлөө бага байгааг (Загдсүрэн, 2023)-с хараж болно. Харин дээр дурдсан цахилгаан оронд үзүүлж буй шум нь олон төрлийн үүсгүүрээс хамаарч болох тул уг төрлийн шумыг цаашид урт хугацааны туршид ажиглан тухайн орчны үйлдвэрлэлийн болон санамсаргүй цахилгаан соронзон үзэгдлүүдтэй холбон тайлбарлах нь чухал юм.

Нам давтамжийн МТ станцын үйл ажиллагааг бид Ховд геосоронзон оргилд түшиглэн зүгшрүүлж чадсанаар цаашид Монгол орны тодорхой цэгүүдэд тасралтгүй ажиглалтын МТ оргилуудтай болох бүрэн боломжтой болно. Дэлхийн

зарим орнуудад нам давтамжийн МТ станцыг 2-3 жилийн хугацаанд ажиллуулсан тохиолдол байдаг хэдий ч цахилгаан орны хувьд үргэлж асуудалтай байсаар ирсэн. Иймд, бидний цахилгаан орны хувьд орчны шумтай холбогдож болох үсрэлт байгаа боловч ямар нэгэн температур хуурайшилттай холбоотой хугацааны гулсалт ажиглагдахгүй байна.

Цаашид бид МТ хугацааны цувааг физик үндэслэлд тулгуурлан цэвэрлэх алгоритм бий болгож GEOMAG-02 судалгаанд нэвтрүүлэх бөгөөд урт үетэй цахилгаан соронзон респонсийг гарган авахаар зорьж ажиллах болно.



Зураг 3. Нам давтамжийн МТ станцын хугацааны цуваа

## ТАЛАРХАЛ

GEOMAG-02 багаж техникийн суурьлуулахад гүн тусалаа үзүүлсэн ООГХ-ийн Ховд салбарын эрдэм шинжилгээ ба техникийн ажилчидад

талархал илэрхийлэе. Судалгааг Суурь ба Хавсарга судалгааны ШУАГ-2023/09 дугаарт Грант төслийн хүрээнд гүйцэтгэв.

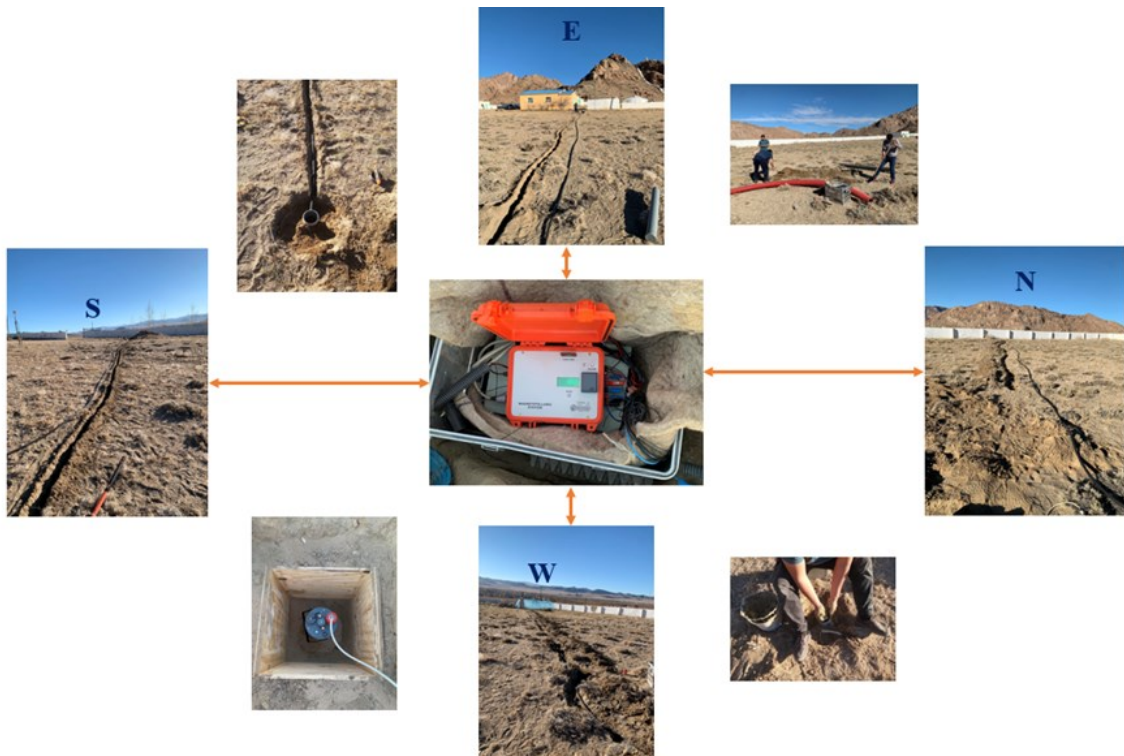
## НОМЗҮЙ

- Cagniard, L. (1953). Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18, 605–635.
- Chave, A. D., & Jones, A. G. (2012). *The Magnetotelluric Method: Theory and Practice*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139020138
- Finlay, C. C. (2010). International geomagnetic reference field: the eleventh generation. *Geophysical Journal International*, 183(3), 1216–1230.
- Hultqvist, B. A. (2011). *LAGA Special Sopron Book Series*. Aeronomy of the Earth's Atmosphere and Ionosphere.
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Tikhonov, A. N. (1950). On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's crust. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR*, 73, pp. 295–297.
- Wait, J. R. (1954). Theory of electromagnetic surface waves over geological conductors. *Geofisica pura e applicata*, 28, 47–56.
- Weidelt, P. (1972). The inverse problem of geomagnetic induction. *J. Geophys.*, 38, 257–289.
- Загдсүрэн, С. &. (2023). Ховд” соронзон орны оргилын мэдээлэл боловсруулалт ба соронзон орны элементүүдийн үндсэн шугамын утгыг тодорхойлсон үр дүн. Одон орон ба Геофизик.

ХАВСРАЛТ: НЭМЭЛТ МЭДЭЭЛЭЛҮҮД



Зураг 11. Ховд геосоронзон орны оргилын станцуудын байршил



Зураг 12. GEOMAG-02 magnetotellurics (MTS) станцийн суурилуулалтын ерөнхий зураглал

## KHOVD ELECTROMAGNETIC OBSERVATORY: AN ESTABLISHMENT OF THE LONG-PERIOD ELECTROMAGNETIC STATION AND METHOD FIRST RESULT

Zagdsuren Sainbayar<sup>1\*</sup>, Batmagnai Erdenechimeg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics, MAS*

\*Corresponding author: [zagdsuren@iag.ac.mn](mailto:zagdsuren@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** We have installed magnetotelluric instruments at the Khovd geomagnetic observatory to extend this observatory to become an electromagnetic observatory and record the long-term magnetotelluric response. In practice, it is not easy to record the telluric field over a long period of time, and it depends a lot on the environment in which the sensors are installed. Therefore, the main goal of the work was to check how the telluric station can be optimally installed in our country in the future as the first step in the expansion of the Hovd magnetic peak. We placed the Geomag-02 instrument in the Khovd observatory, and according to the recorded data, although it meets the quality requirements of standard magnetotelluric measurements, it was considered necessary to change the location of the point away from the settlement for long-term magnetic monitoring. However, the point measurement data allowed us to derive a 1-D conductivity model of the medium.

**Keywords:** *Apparent resistivity, Electrical conductivity*



# СЕЙСМИК ХАЙГУУЛЫН ОЙСОН ДОЛГИОНЫ МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТЫН АРГА ЗҮЙ: АНХДАГЧ ӨГӨГДЛӨӨС МИГРАЦИ ГАРГАХ НЬ

Г.Болдбаатар<sup>1\*</sup>, Э.Батмагнай<sup>1</sup>, Э. Номин-Эрдэнэ<sup>1</sup>, Ц. Батсайхан<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [boldbaatar@iag.ac.mn](mailto:boldbaatar@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Хагарлын геометр ба кинематик зүй тогтлыг тодорхойлох нь газар хөдлөлтийн голомтын механизмыг ойлгох, аюулын үнэлгээ хийх зэрэг сейсмологийн шинжлэх ухааны чухал асуудлуудыг шийдвэрлэхэд өндөр ач холбогдолтой байдаг. Иймээс геологи-геофизикийн тухайн даалгаварт уялдан, хагарлын тогтцыг өндөр нарийвчлалтай судлах шаардлага тулгараад байна. Сүүлийн жилүүдэд Монгол орны идэвхтэй хагарлууд дээр сейсмик хайгуулын аргыг хагарлын геометр шинж чанарыг ойлгох зорилгоор ихээр ашиглах болсон. Ойсон долгионы арга нь хагарлын геометр зүй тогтлыг ойлгоход түгээмэл ашиглагддаг сейсмик хайгуулын нэгэн арга юм. Бидний өмнөх судалгааны ажлууд нь хугарсан долгионы арга дээр тулгуурлан бага гүний орчинд тархах сейсмик долгионы хоёр хэмжээст хурдны загварыг тодорхойлох зорилгоор техник, программ хангамж болон арга зүйн хувьд хөгжүүлж ирсэн. Энэ нь бидэнд ойсон долгионы хувьд онол практик, арга зүйн хоцрогдлыг зарим талаар үүсгэсэн. Энэ өгүүлэлд, сүүлийн жилүүдэд идэвхтэй хагарал орчимд хийсэн сейсмик хайгуулын өгөгдлийг ойсон долгионы аргачлалд тулгуурлан боловсруулсан зарим үр дүнгүүдийн талаар хэлэлцүүлсэн. Цаашлаад судалгааны ажлуудын үр дүнгүүдэд тулгуурлан мэдээлэл боловсруулалтын алгоритм зохиосон бөгөөд уг алгоритмын талаар оруулж өгсөн нь уг судалгааны ажлын давуу тал болсон.

**Түлхүүр үг:** Хагарлын геометр, кинематик зүй тогтол, сейсмик хайгуул, ойсон долгионы арга, хурдны загвар

## ОРШИЛ

Геофизикийн сейсмик хайгуулын арга нь газрын гадарга дээр тодорхой цэгт байрлуулсан хүлээн авагчдад зохиомлоор чичирхийлэл өдөөж, өдөөгдсөн механик долгион нь орчны үе давхаргуудаар тархан зориулалтын багажид хугацааны цуваа хэлбэрээр бүртгэгддэг бөгөөд үүнд тулгуурлан дэлхийн уян харимхайн орчны бүтцийг судалдаг (Schneider, 1971). Сейсмик хайгуулын аргыг түүний хээрийн хэмжилт ба мэдээлэл боловсруулалтын онцлогоос хамааран ойсон ба хугарсан долгионы арга гэж хоёр ангилдаг. Гүний үе давхаргуудын механик шинж чанарууд болох чулуулгийн нягтаршил, нүх сүвэрхэгжилт ба чулуулгийн матриц нь тухайн орчны нэгэн төрлийн бус шинж

чанараас хамаарч, сейсмик долгионы ойх, хугарах үзэгдэл явагддаг. Энэ нь бүртгэгдсэн сейсмик долгионы фаз болон далайцыг өөрчилдөг. Эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийн өөрчлөлтөөр гүний үе давхаргуудын тогтцыг тодорхойлох нь ойсон долгионы аргыг ашиглах үндэслэл болдог (Dobrin, 1976).

Ойсон долгионы аргыг газрын тос, шатах ба шатах бус ашигт малтмалын хайгуулд шууд ба дам байдлаар түгээмэл ашигладаг. Сүүлийн жилүүдэд газар хөдлөлтийн идэвхтэй хагарал, инженер геологи зэрэг бага гүний геотехникийн судалгааны мөн стандарт арга зүй болсон (刘治凡, 1998). Өнөөдөр, сейсмологид, уг

аргыг газрын гадарга дээр илэрцтэй болон илэрцгүй газар хөдлөлийн хагарлын ул мөр, геометр шинж чанарыг тодорхойлох, структур болон хил заагийг ялгах гэх мэт судалгаанд өргөн ашиглаж байна (Yilmaz, 2015). ОДА-ын хувьд уян харимхайн долгионыг зохиомлоор үүсгэн бүртгэн авах зориулалтын багажийн тусламжтайгаар (Deng Q D, 2003) гүний үе давхаргуудын уян харимхайн ба механик шинж чанарыг математик тоон бодох аргаар тодорхойлдог. Манай орны хувьд хугарсан долгионы аргыг төрөл бүрийн шатах ба шатах бус ашигт малтмалын хайгуул ба суурь судалгаанд гол төлөв ашигладаг. Мөн нүүрсний хий, газрын тос гэх мэт томоохон ажлууд дээр хийгдсэн сейсмикийн хайгуулын мэдээлэл

боловсруулалтыг гадны компаниудаар хийлгэдэг нь нууц биш юм. Энэ нь ойсон долгионы арга зүйн хэрэглээ нь төдийлөн бүрэн нэвтэрч чадаагүй байгааг илтгэж байна. Энэ нь ойсон долгионы аргын (ОДА) мэдээлэл боловсруулалтын үе шатанд тулгараад буй суурь математик ба программын хэрэглээний ойлголт дутмаг байдалтай холбоотой гэж үзэж болно.

Тухайн арга зүйн хүндрэлийг бүрэн шийдвэрлэж хэрэглээнд нэвтрүүлэхийн тулд бид ОДА-г онолын хувьд нарийвчлан судалж бүрэн ойлголт бий болгохоор зорьсон. Иймд уг судалгааны ажлаар ОДА -ын хээрийн хэмжилт ба мэдээлэл оловсруулалтын арга зүйг системтэйгээр тайлбарласан.

## **ХЭМЖИЛТИЙН БА БОЛОВСРУУЛАЛТЫН АРГА ЗҮЙ**

Сейсмикийн ойсон ба хугарсан долгионы арга нь хурдасны зузаан, түүнд тархах сейсмик долгионы хурдыг үнэлэх ба газрын тос агуулж буй тогтцын судалгаанд гол төлөв ашигладаг байсан бөгөөд 1970 оны сүүлээс эхлэн гүний царцдасын судалгаанд мөн өргөн ашиглах болсон (Fowler, 1984). Уян харимхайн долгионы орон нь өөр өөр орчинд тархахдаа, долгионы туйлшрал, фазын өөрчлөлт гэх мэт тархалтын шинж чанар нь дэлхийн гүнийг зураглах, хил заагийг ялган таних ажилд нэн тохиромжтой байдаг бөгөөд сейсмик зүсэлтүүдийг зураглалын өндөр нягтаршилтайгаар харуулж чаддаг учраас геофизикийн бусад аргуудаас энэ төрлийн судалгаанд давуу талтай.

Цаашлаад сейсмик аргыг хэрэглэх өөр нэгэн давуу тал нь судалгаанд ашиглаж буй эсвэл бүртгэн авсан өгөгдлийн шинж чанар нь бодит байдаг оршино. Иймээс өгөгдлийн тайлалд итгэх шалгуурыг нэмэгдүүлдэг. Бидний мэдэж байгаагаар дэлхийгээр тархах эдгээр сейсмик долгионууд нь өөр өөр төрлийн чулуулгууд хоорондох хил зааг дээр хугарах ба ойх үзэгдэлд ордог. Энэ ойх ба хугарах үзэгдлийн респонс нь дэлхийн гадаргуу

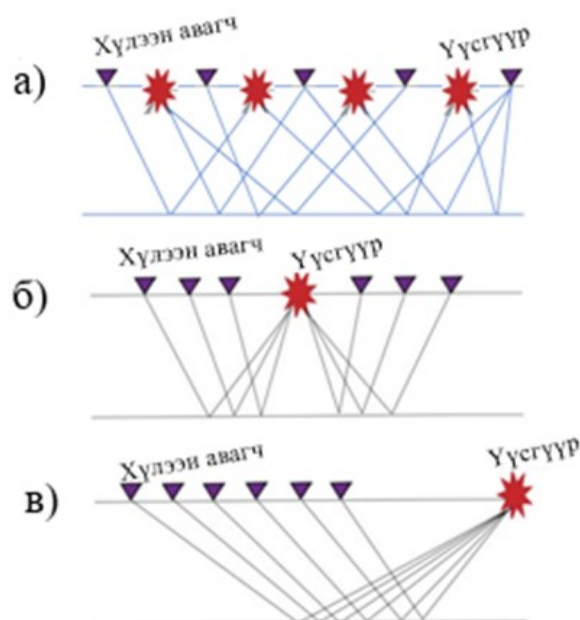
дээрх ажиглалтын цэг буюу хүлээн авагчдад бүртгэгддэг (Lehmann, 2007). Ижил зайнд цувуулан байрлуулсан хүлээн авагчдад мөн ижил зайтай оффсетоос өдөөгдсөн сейсмик долгион бүртгэгдэх ба эдгээр долгионууд нь хүлээн авагч болон үүсгүүрийн зай мөн дэлхийн дотоод бүтцээс хамаарч тархах хугацаа болон хурдны өөрчлөлтийг үзүүлнэ. Энэ нь бидэнд гүний үе давхаргуудыг тандан судлах боломж олгодог. Энэ утгаараа уг арга нь хэт авиа ба радарын аргатай төстэй юм.

Гүний тогтцын мэдээллийг ойсон ба хугарсан долгионы тархах зам дээр тулгуурлан тодорхойлдог. Эдгээр долгионуудын тархах замыг загварчлах физик үндэслэл нь дээр дурдсан ойсон ба хугарсан долгионы сейсмик арга зүй юм. Сейсмик ойсон долгионы аргад, үүсгүүрээс гарах долгион эхлээд доош чиглэн тархах ба тодорхой цэгт хүрээд буцаж гадаргад ирнэ гэсэн таамаг дээр тулгуурлах тул энд бүх тархах зам нь босоо чиглэсэн байдаг. Эцэст нь аль ч сейсмик аргуудын хувьд дэлхийн үе давхаргуудын уян харимхайн параметрүүдээс хамааран өөрчлөгддөг [ (刘治凡, 1998)].

## ОЙСОН ДОЛГИОНЫГ ХЭМЖИХ СТАНДАРТ АРГА

Сейсмикт ерөнхийдөө гурван төрлийн хэмжилтийн загвар байх бөгөөд ажлын даалгавар, судалгааны зорилгоос хамаарч хэмжилтэд өөрт тохирох загварыг сонгож ашиглана (Зураг 1). Ойсон долгионы аргын хамгийн түгээмэл арга бол ерөнхий дундаж цэгийн арга юм. Геологийн бүтцээс үүссэн тухайн ойлтыг сайжруулахын тулд сейсмикийн хүлээн авагч бүр дээрх сигналуудыг нь ерөнхий дундаж цэг (CMP) бүхий нийлмэл цэгүүд болгон ангилах шаардлагатай. Эдгээр сигналуудын цуглуулгуудыг CMP (ерөнхий дундаж цэг) эсвэл CDP (нийтлэг гүний цэг)-үүд гэж нэрлэдэг бөгөөд CDP цугларалт бүрийн доторх трэйсүүдийн тоо нь уг цугларалтын нугалаатай тэнцүү байна. зүсэлтийн зураглалыг сайжруулахын тулд нэг ерөнхий дундаж цэгт багтаж байгаа ойлтын цэг бүрийг нэгээс олон удаа бүртгэх шаардлагатай (R. E. Sheriff, 1995). CMP эсвэл CDP бичлэгт сейсмикийн тархалт нь хэмжилтийн шугамын дагуу тасралтгүй ижил хэмжээгээр шилжиж, талбайг бүхэлд нь бичлэгээр бүрхүүлж бүртгэх ёстой. Эдгээр гурван загвараас цөөхөн хүлээн

авагчтай, хэмжилтийн шугамын урт харьцангуй богино тохиолдолд а) холимог хэмжилтийн арга тохиромжтой бөгөөд ойсон долгионы аргын мэдээлэл боловсруулалтад ч давуу тал болдог.



Зураг 1. Сейсмик хайгуулын хэмжилтийн загврууд а) холимог хэмжилт (fixed-spread) б) тэгш хэмийн хэмжилт (split-spread) в) хөөж хэмжих (end-on spread) (AHMADI, 2015)

## МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтыг өгөгдлийг боловсруулалтад бэлтгэх ба боловсруулалтын хэсэг гэсэн үндсэн 2 үе шатанд хувааж болно. (Зураг 2)-т хээрийн хэмжилтээр бүртгэн авсан сейсмик бичлэгийг мэдээлэл боловсруулалтад бэлтгэх алхмуудыг үзүүлсэн. Мэдээлэл боловсруулалтад бэлтгэх үе шат нь талбайд хийсэн хэмжилтийн анхдагч өгөгдлийг болон геометр файл, өндөршлийн мэдээлэл гэх мэт хэмжилтийн профилийн дагуух талбайн мэдээллийг үнэн зөв агуулсан багц өгөгдөл байна. (Зураг 2) -т үзүүлсэн Оролт нь сейсмик өгөгдөл (.sgy, .sg2, .dat) болон хэмжилтийн загвар байна. Мөн уг алхам нь чанарын шаардлага хангахгүй

### Боловсруулалтанд бэлтгэх үе шат

#### 1. Оролт

#### 2. График засвар

- Бичлэг
- Бусад

#### 3. Статик засвар

- Топографик засвар
- Статик хурдны загвар тодорхойлох

#### 4. Гаралт

Зураг 2. Мэдээлэл боловсруулалтад бэлтгэх үе шатны алхмууд

бичлэгийг хасах, өгөгдөл бүрийн орчны өндөршлийг тооцох зэрэг график ба статик засваруудыг агуулдаг.

### Статик засвар

Ойсон долгионы аргын мэдээлэл боловсруулалтанд бэлтгэх үе шатын хамгийн чухал алхам бол статик засвар юм. Статик засвар нь ойсон долгионы тархах хугацааг, хүлээн авагч ба үүсгүүрийн цэгүүдэд тус тус тооцдог өндөршлийн засвар юм.

Энд өндөршлийн засвар, сэвсгэр хурдсаар тархах долгионы хурд, түүний зузаан зэргийг тооцож, үнэмлэхүй өндрийн хавтгай оруулж статик засварыг оруулна. Өөрөөр хэлбэл, үнэмлэхүй өндрийн хавтгай нь газрын гадаргын рельефийн засвар болох бөгөөд цаашид орчны загварчлал хийх тулгуур болдог. Үндсэн 3 төрлийн өндөршлийн хавтгай байдаг. Үүнд:

- Чөлөөт бус өндөршлийн хавтгай: хэмжилтийн профилийн дагуу хүлээн авагч болон үүсгүүрийн өндрөөс багагүй байхаар сонгон авсан өндрийн хавтгай
- Чөлөөт өндөршлийн хавтгай: хэмжилтийн профилийн дагуу хүлээн авагчид болон үүсгүүрүүдийн өндрийг дундажлаж авч үзсэн өндрийн хавтгай
- Бага хурдны бүсийн хавтгай: нягтаршаагүй газрын гадарга буюу өнгөн хөрстэй үеийн гүнд харгалзах өндрийн хавтгай



Зураг 3. Үнэмлэхүй өндөршлийн хавтгайн төрлүүд

### Автомат өсгөлт ба фильтр

Мэдээлэл боловсруулалтын шатны хамгийн эхний стандарт алхам бол бүртгэгдсэн долгионы давтамжийн муж дахь фильтрүүд юм (Зураг 4). Гэсэн хэдий ч стандарт фильтрүүдийг ашиглахын өмнө Оролт буюу нийтлэг гүний цэгүүдийн далайцыг өсгөх шаардлагатай ихэвчлэн тулгардаг. Үүнд бид автомат өсгөлтийн хяналт (Automatic gain control, АӨХ) ашигладаг. Энэ нь сигналын тодорхой буурсан далайцыг автоматаар танин өсгөх зорилго бүхий сигнал боловсруулалтын стандарт алгоритм юм [ (Cameron, 2009)]. АӨХ-г сейсмик хайгуул тэр дундаа ойсон долгионы аргад ашиглах нь нэгэнт стандарт болсон бөгөөд эхэн үедээ ус ба газрын тосны хайгуулын ажлын өгөгдөл боловсруулалтад ашигладаг байсан. Учир нь хий шингэн агуулж буй орчин нь сейсмик тууш долгионы хувьд сарниулагч орчин болох тул долгионы далайц буурдаг.

Харин өнөөдөр, гүний структур тодорхойлох, сэвсгэр хурдсаар хучигдсан хагарлын зураглал хийх зэрэг даалгавруудад өргөн ашиглаж байна. Ойсон долгионы арга зүйд ямар нэгэн фильтрийг ашиглахыг санал болгодоггүй бөгөөд хэрэглэгч нь ашиглаж буй багаж, хүлээн авагч төхөөрөмж, түүний давтамж, орчны шуугиан зэрэг олон хүчин зүйлээс хамаарч ямар төрлийн фильтр ашиглахаа сонгоно. Энэ судалгааны ажилд бид ойсон долгионы хайгуулд түгээмэл хэрэглэгдэх F-k фильтрийг дэлгэрэнгүй авч үзэх болно. Учир нь давтамжийн буюу өргөн зурвасын фильтр нь сигнал боловсруулалтын үндсэн үйлдлүүдийн нэг байдаг. Ойсон долгионы аргад гадаргын нөлөөлөлтэй холбоотой өндөр давтамжийн үзэгдлийг арилгах зорилгоор F-k фильтрийг ашигладаг. F-k буюу давтамж-долгион тоо филтерийг сейсмикт ойсон долгионы нам давтамжийн чанарыг сайжруулах зорилгоор гадаргуу нь долгионы нөлөөлөл болон гадны шумыг арилгахад ашигладаг. Иймээс зарим тохиолдолд F-k фильтрийг F-k хувиргалт гэж нэрлэдэг. 2-D, сейсмик



өгөгдөл нь давтамжийн мужид хугацааны тэнхлэг нь давтамж, шугамын дагуух зай буюу хэвтээ тэнхлэг нь долгионы тоо байдлаар дүрслэгдэнэ. Энд давтамж нь нэгж секундэд хэлбэлзэх хэлбэлзлийн тоог илэрхийлэх бол долгион тоо  $k$  нь хэвтээ тэнхлэгийн дагуух нэгж метр дэх долгионы уртын тоо байна. Иймээс давтамжийн мужид төлөөллийн долгионы урт ба хурд нь дараах хамаарлаар олдоно.

$$v_a = \frac{v}{\sin \alpha}$$

$$\lambda = \frac{\lambda}{\sin \alpha} \quad (1)$$

Энд  $\alpha$  нь орчны интерфейс ба долгионы фронт хоёрын үүсгэх өнцөг.

Ойсон долгионы хувьд ойлтын цэгээс хүлээн авагчдад босоо чиглэлийн дагуу ижил хугацаанд ирэх тул төгсгөлгүй төлөөллийн хурдтай байна. Төлөөллийн хурд ба долгион тоо хоорондох хамаарал нь  $f=v_a k$  байх тул  $F-k$  муж дахь шугамын муруй нь төлөөллийн хурдыг үзүүлдэг. Энэ муруй нь  $F-k$  -ийн өөр өөр бүс доторх сейсмик үзэгдлийн өөр өөр төрлүүдийг дүрсэлдэг тул тэдгээрийн төлөөллийн хурданд суурилан цаашид судалгаанд ашиглахыг хүсэхгүй үзэгдлийн фильтр хийн өгөгдлөөс арилгах боломж олгодог.  $F-k$  фильтрийг ашиглан шумыг арилгах алгоритм нь мөн когерент үүсгүүрээс үүссэн шумыг засварлахад өргөн ашигладаг. Иймээс энэ фильтр нь сейсмик ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтад түгээмэл хэрэглэгддэг.

#### Деконволюц

Сейсмик долгион дэлхийн нэгэн төрлийн бус үе давхаргаар тархахад, долгионы анхны хэлбэр нь өөрчлөгдсөөр байдаг. Учир нь энд дэлхийг бүрдүүлэх харимхай материалууд нь анхдагч долгионы давтамжийг бууруулах нам давтамжийн фильтрийг үзүүлдэг. Иймээс долгион тархах нягтаршил нь буурдаг гэж ойлгож болно. Деконволюц буюу инверс фильтрийг ойсон долгионуудын

## Боловсруулалтын үндсэн хэсэг

### 1. Оролт

### 2. Спектро фильтр

- Өргөн зурвасын фильтр
- $F_k$  фильтр

### 3. Деконволюц

### 4. Динамик засвар

- Хугацааны засвар
- Хурдны анализ
- Стак

### 5. Миграци

### 6. Гаралт

*Зураг 4. Мэдээлэл боловсруулах үндсэн алхмууд*

нягтаршлыг сайжруулах үндсэн зорилгоор ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтад ашигладаг. Энэ нь өндөр давтамжтай сигналыг сэргээх, тодорхой давтамжийн зурвас дахь далайцыг тэгшитгэх, тэг-фаз бүхий долгионы багц үүсгэх эсвэл долгионы үүсгүүрийн мэдээллийг ашиглан сейсмик бичлэг хоорондын өөрчлөлтийг багасгах зэрэг үйлдлүүдээс бүрддэг. Деконволюцийг хэрэглэснээр нь сейсмограмд бүртгэгдсэн анхдагч долгионыг шахаж, богино хугацаанд бүртгэгдсэн сигналын багцыг задалж, цаг хугацааны нарийвчлалыг нэмэгдүүлэн, долгион гүнээр тархах тусгалын дүрслэлийг бий болгодог. Деконволюцийг процессыг ихэвчлэн стак хийхээс өмнө хийдэг хэдий ч зарим тохиолдолд давхардсан өгөгдөлд задлах аргыг хэрэглэх нь түгээмэл байдаг.

*Хурдны анализ ба динамик засвар (NMO)*

Сейсмикийн ойсон долгионы аргын мэдээлэл боловсруулалтын хамгийн чухал алхмуудын нэг бол хурдны анализ болон

динамик засвар байдаг. Динамик засвар нь үүсгүүр болон хүлээн авагч хоорондын зайнаас хамаарсан хугацааны хоцрогдлыг арилгаж тэг-офсет буюу хугацааг тэгшитгэх нэгэн төрлийн хугацааны засвар юм. Оффсетийн тэнхлэгийн дагуу нийтлэг гүний цэгүүдийг нэгтгэн тэдгээрийн замыг нэгтгэхийн өмнө тархах хугацааг уг динамик засварын хувьд тохируулах шаардлагатай байдаг. Динамик засвар нь ойлгогч дээр ирэх долгионы хурд, анхны фаз, тэг-офсет, долгион тархах хугацаа, ойлгогчийн уналтын өнцөг, үүсгүүрээс хүлээн авагчийн хүртэлх замын азимут зэргээс хамаардаг. Үүнийг тодорхойлох хэд хэдэн стандарт загвар байдаг хэдий ч ихэнх тохиолдолд мөн энэ судалгаанд хэвтээ давхаргын хувьд авч үзсэн. Энд долгион тархах хугацааны тэгшитгэл нь

$$t_2(x) = t_2(0) + \frac{x_2}{v_2} \quad (2)$$

Энд  $x$  офсет ба  $v$  нь ойлгогч гадарга дээрх орчны хурд,  $t_0$  нь үүсгүүр ба хүлээн авагч нэг байрлалд байхад тэг-офсет дээрх тархах хугацаа байна. Тодорхойлолт ёсоор NMO засвар нь  $t(x)$  ба  $t(0)$  хоорондох зөрүүгээр тодорхойлогддог.

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) \left\{ 1 - \left( \frac{x}{v_{NMO}} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} - 1 \quad (3)$$

Динамик (NMO) засварын дараа бүх нийтлэг гүний цэгүүдийн нийлбэрийг стак хийх боломж бүрдэх бөгөөд ингэснээр байгуулагчдын фаз сайжрах ба санамсаргүй шумын нөлөө багасдаг.

### Миграци

Миграци бол төлөөллийн байрлалаас бодит байрлал хүртэл ойсон энерги зөөгдөх процесс юм. Крихгоффийн миграци нь

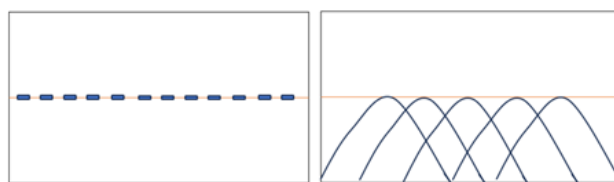
## УЛААНБААТАР ОРЧМЫН ХАГАРАЛ ДЭЭР ХИЙСЭН СУДАЛГАА

Энд Улаанбаатар хот орчмын идэвхтэй хагарлууд болох Эмээлт болон Дэрэнгийн хагарлын судалгааны ажлын үр дүнг авч үзье. Эдгээр судалгааны ажлын үндсэн зорилго нь сейсмик хайгуулын аргыг хагарлын структур тодорхойлох,

рекурсив бус арга бөгөөд энэ нь долгион тэгшитгэлийн интеграл хэлбэрлийг Гюгейнсийн зарчимд тулгуурлан хэрэглэдэг. Энд диффракцийн муруйн орой нь бодит цэгэн ойлгогч дээр байрладаг. Крихгоффийн миграцийг хэрэглэх үндэс нь Гюгейнсийн хоёрдугаар үүсгүүр бүрээр үүссэн энергүүдийн нийлбэрийг Зурагт үзүүлсэн шиг цэгүүдээр дүрслэн үзүүлэх явдал юм. Ингэснээр миграци хийгдсэн хэсэг бүрийн цэг бүр нь бусад цэгээс үл хамааран судлагдах боломж олгодог. Миграци хийгдсэн хэсгүүдийн гаралтын цэг бүр нь диффракцийн дагуу бүх утгын нэмэгдэхүүн байна. Крихгоффийн миграцын хувьд диффракцуудыг нэмэхээс өмнө далайц ба фазийг засварлах шаардлагатай. Крихгоффийн миграцын процедурын математик илэрхийлэл нь  $x, z, t$  хавтгайд өгөгдсөн долгион функцын шийдийг скаляр долгион тэгшитгэлээр шийдвэрлэх юм.

$$P(r, t) = \frac{1}{2\pi} \int dt_0 \int dA_0 \frac{\cos\theta}{r} \left[ \left( \frac{1}{v} \right) u'(r_0, t_0) + \left( \frac{1}{r} \right) P(r_0, t_0) \right] \quad (4)$$

Энд,  $t_0 = t - (r/v)$ , уналт  $\cos\theta$  ба бөмбөлөг дивергенц  $1/r$  -ийн факторууд нь уг тэгшитгэлийн үндсэн характеристикууд юм.



Зураг 5. Диффракцын нийлбэр

хагарлын уналын налуу болон орчны хил заагуудыг ялгах, цаашид идэвхтэй хагарлууд дээр хийгдэх судалгааны ажлуудад ашиглах арга, аргачлалыг боловсруулах байсан. Ерөнхийдөө 2 хагарал, ялангуяа Эмээлтийн хагаралын

ихэнх хэсэг нь морфлогийн хувьд газрын гадарга дээр илэрцгүй хурдасаар хучигдсан хагарал юм.

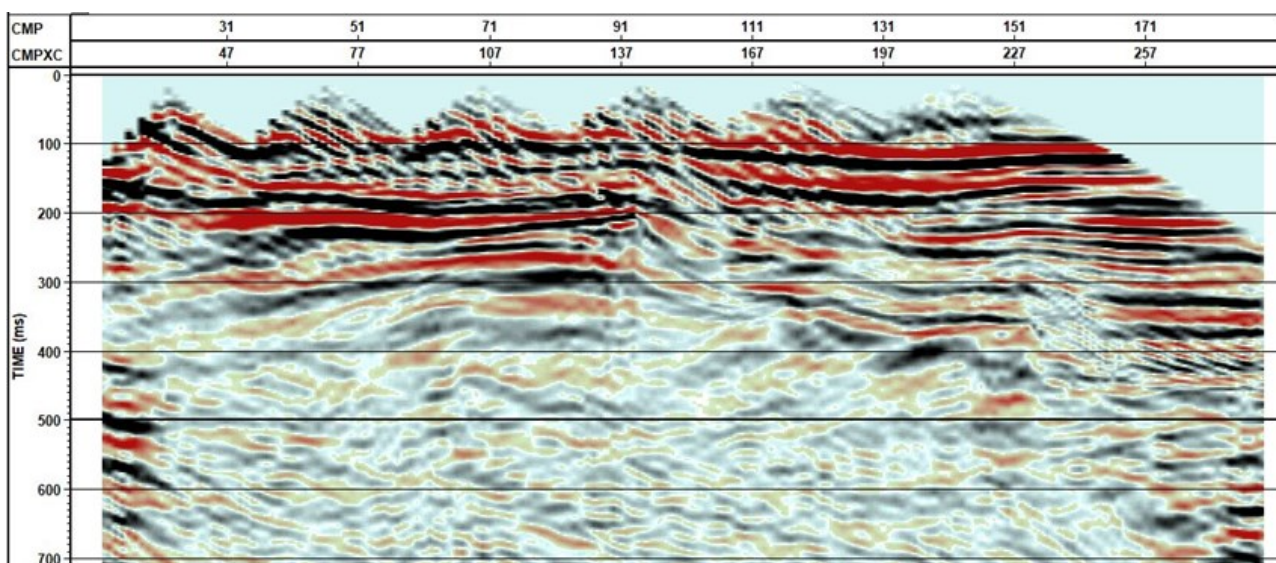
2014 онд Дэрэнгийн хагарлыг хөндлөн огтолж баруун хойноос зүүн тийш чиглэсэн 321м урттай нэг профилийн дагуу хэмжилт хийсэн. Тухайн хэмжилтийг 4.5 гц давтамжтай 48 сувагтай Summit II Compact багажаар, хүлээн авагч хоорондын зай 3м, үүсгүүр хоорондын зай 30м, нэг удаагийн хэмжилтийн шугамын урт 141метр урт байхаар хийсэн (Г.Болдбаатар, 2021). Харин 2013 онд эмээлтийн орчимд хагарал дээр баруунаас зүүн тийш чиглэлтэй, хагарлын чигийг хөндлөн огтлохоор тааруулж нийт 7281 метр урттай профилийн дагуу хэмжилт хийсэн. Хэмжилтийг 14 гц давтамжтай 72 хүлээн авагчтай багажаар, хүлээн авагч хоорондын зай 3м, үүсгүүр хоорондын зай 12м, нэг удаагийн хэмжилтийн шугамын урт 216 метр байхаар хэмжилт хийсэн.

Мэдээлэл боловсруулалтыг өмнөх хэсэгт авч үзсэн арга зүйгээр мөн дээрх алхмуудын дагуу хийсэн. Мэдээлэл боловсруулалтад хийж миграци гарган авахын тулд бид сейсмик мэдээлэл боловсруулалт хийх стандарт программ болох Vista2D/3D ашигласан. Статик засварын нэгэн оролт болох хурдны анхны

загварыг ажигласан сейсмик өгөгдлөөс тооцоолохын тулд Pygimli болон Plotrefa гэсэн программууд ашигласан. Эдгээр программууд нь сейсмикийн хугарсан долгионы аргаар хоёр хэмжээст хурдны загварыг тооцоолдог.

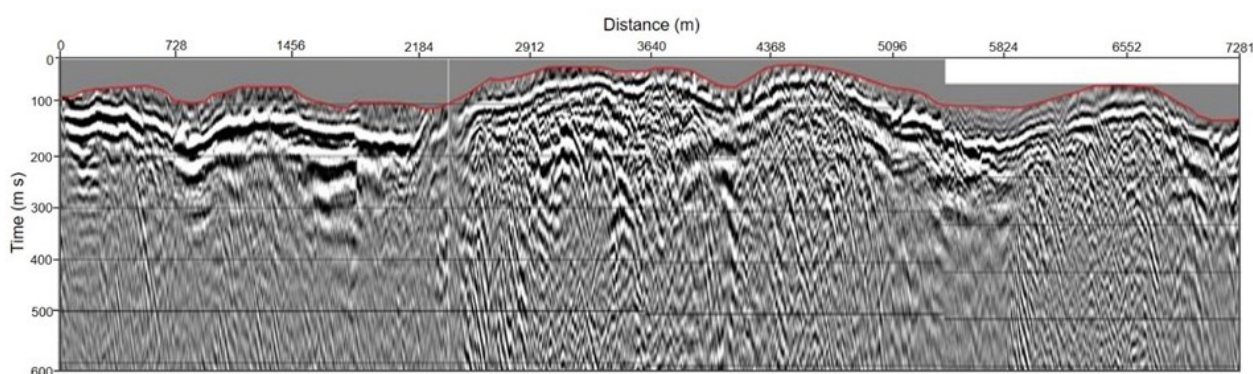
Зураг 6 ба Зураг 7-д Дэрэн ба Эмээлтийн талбайд хийсэн сейсмик судалгааны үр дүнг үзүүлсэн. Энэ сейсмик зүсэлтийн зургийг хоёр өөр өнгөний дүрслэлээр үзүүлсэн. Ерөнхийдөө миграцийг өнгөний хувьд олон төрлөөр ялгаруулан дүрсэлж болдог. Энэ нь хэрэглэгчийн сонголтоос хамаардаг. Гэсэн хэдий ч мэдээлэл боловсруулалтын үед хэрэглэгч миграци нь илүү олон үе давхарга ажиглагдан гэж үзвэл, түүний үргэлжлэл, унал, шилжилт зэргийг өөр өөр өнгөөр ялган дүрсэлбэл цаашид зүсэлтийг ойлгон тайлбарлахад хялбар байдаг (Зураг 6). Харин цөөн тооны буюу 2-оос илүүгүй хил зааг ажиглагдах үед энгийн монографаар дүрслэх нь тохиромжтой байдаг (Зураг 7).

Сейсмикийн ойсон долгионы арга зүйд тулгуурлан Дэрэн ба Эмээлтийн хэмжилтийн өгөгдлийн миграцийн анхдагч тайлал ба арга зүйн онцлогуудын талаар дараагийн хэсэгт авч үзсэн.



Зураг 6. Дэрэнгийн хагарал. Сейсмикийн зүсэлт (Г.Болдбаатар, 2021)





Зураг 7. Эмээлтийн хагарал. Сейсмикийн зүсэлт

## ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ БА ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд сейсмик хайгуулын ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтын арга зүйг анхны алхам болох оролт буюу сейсмик бичлэг, орчны геологи ба рельефийн мэдээллийг бэлтгэх алхмаас эцсийн үр дүн буюу миграци хүртэл хийгдэх процедур ба түүний хэрэглээний талаар энэ өгүүлэлд нарийвчлан авч үзсэн.

Сейсмикийн ойсон долгионыг боловсруулах системтэй мэдлэг бий болгохын тулд бид мэдээлэл боловсруулалтын үе шатыг бэлтгэл ба үндсэн боловсруулалтын үе шат хэмээн салган авч үзэж энд тайлбарласан. Судалгааны ажлын явцад боловсруулалтад ашиглах анхдагч мэдээллүүдийг агуулсан сейсмик өгөгдөлд тулгуурлан сейсмикийн хугарсан долгионы анализаар тодорхойлж үндсэн боловсруулалтад өгөгдлийг бэлдэх, статик засвар оруулах даалгаврыг хийж гүйцэтгэсэн.

Бид сейсмик хэмжилтийг Зураг 1-д үзүүлсэн аргаар хийж мэдээллийг боловсруулсан. Практикаас үзэхэд, Зураг 1-ийн холимог хэмжилтийн арга буюу (fixed-spread) арга нь ойсон долгионыг бүртгэн авахад илүү тохиромжтой байсан (АНМАДИ, 2015). Энэ нь үүсгүүрээс гарах долгион нь хүлээн авагчдын хувьд налалтын өнцөг бага буюу квази босоо чиглэсэн байх тул нийтлэг гүний цэгийн тоо нь их байх ба мөн нэг гадаргаас ойх тоо олон байх тул сейсмик миграцийн нягтаршлыг нэмэгдүүлж өгч байна.

Энэ судалгааны ажлаар мэдээлэл

боловсруулалтын үндсэн алхмуудыг системчилэн ойлгосноор AGC ба F-k филтерүүдийн явцад сигналыг шумаас механик аргаар салгах когерент үүсгүүрт харгалзах сейсмик сигналыг ялган таних, өгөгдлийг цэвэрлэх зэрэг чухал үйлдлүүдийг гүйцэтгэх боломжтой болсон. Мөн Кирхгоффийн миграцийн өмнө хэмжилтийн орчны геологийн болон фаз далайцын засваруудыг хийх болсноор сейсмик долгионыг ойлгох үүсгүүрүүдийн орон зайн тархалтыг илүү нарийвчлалтай дүрсэлж чадсан.

Иймээс уг судалгааны ажлын хувьд мэдээлэл боловсруулалтын системтэй мэдлэг бий болгосон, программ хангамжийг интерактив байдлаар ашиглах болсон зэрэг анх тавьсан зорилгодоо бүрэн хүрч чадсаныг илэрхийлж байна. Сейсмикийн ойсон долгионы мэдээлэл боловсруулалтын стандарт арга зүйгээр Эмээлт болон Дэрэнгийн хагарал дээрх хэмжилтийн бодит өгөгдөл дээр мэдээлэл боловсруулалт хийж үр дүнг гарган авсан. Дэрэнгийн хагарлын хувьд сейсмик зүсэлт нь тухайн орчны хагарлын геометр шинж чанар болон геоморфологитой бүрэн нийцэж байсан (Г.Болдбаатар, 2021). Харин Эмээлтийн хагарлын хувьд газрын гадарга дээр илэрцгүй хэсэгт хагарлын ул мөрийг олох зорилгоор хийсэн хэмжилт юм. Энд хагарал ажиглагдаагүй юм.

Энэхүү судалгааны ажлыг гүйцэтгэсэнээр өгөгдлийн шинж чанарыг бүрэн таних, мэдээлэл боловсруулалтын арга зүйг өөрийн өгөгдөл болон судалгааны



ажилдаа тохируулж хэрэглэх гэх мэт онол, практикийн олон давуу талтай. Мөн сейсмик хайгуулын чиглэлээр суралцаж байгаа оюутан залуучуудад анхан шатны мэдлэг өгөх болно. Цаашлаад арга зүйг сайжруулсан судалгааг илүү нарийн онолын өндөр түвшинд хийх нь судалгааны өндөр ач холбогдолтой байна.

Энэ судалгааны ажлын хувьд бид зөвхөн хугацааны миграцийн талаар авч үзсэн бол бид цаашид сейсмик миграцийн

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалганы ажлыг ШУТС-ийн 2022/147 (ШУТБИХХЗГ-2022/147) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн

## НОМЗҮЙ

- Ahmadi, O. (2015). Application of the Seismic Reflection Method in Mineral Exploration and Crustal Imaging. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 1269.
- Cameron, M. S. (2009). Analysis and algorithms for a regularized Cauchy problem arising from a non-linear elliptic PDE for seismic velocity estimation. : Journal of Computational Physics., 228.
- Deng Q D, X. X. (2003, 10(1):). Methods and techniques for surveying and prospecting active faults in urban. Earth Science Frontiers (in Chinese), 93-101.
- Dobrin, M. B. (1976). Introduction to geophysical prospecting. 3rd Ed.
- Fowler, P. (1984). Velocity independent imaging of seismic reflectors. In SEG Technical Program (хуудас. 383-385). Society of Exploration Geophysicists.
- Hileman, J. E. (1968). Automated static corrections. Geophysical Prospecting, 326-338.
- Hubral, P. K. (1980). Interval velocities from seismic reflection time measurements. Society of Exploration Geophysicists.

аргыг илүү нарийвчлан судалж хугацааны тэнхлэгийг гүнд хөрвүүлэх, гүний миграци хийх зэрэг анхдагч зорилт тавин судалгааны ажлаа үргэлжлүүлэх болно. Улмаар Монгол оронд хийгдэж буй сейсмик өгөгдлүүдийг дахин боловсруулан геологийн зурагтай харьцуулан хагарлыг таних замаар ойсон долгионы аргаар илрүүлсэн хагарлын мэдээллийн сан үүсгэнэ.

хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

- Lehmann, B. (2007). Seismic travel time tomography for engineering and exploration application. EAGE publication BV, (хуудсд. 48-56). Houten.
- R. E. Sheriff, L. P. (1995). Exploration Seismology. Cambridge University Press,; Cambridge University Press,.
- Schneider, W. (1971). Developments in seismic data processing and analysis. Geophysics (1043-1073.).
- Yilmaz, O. B. (2015). An effective ghost removal method for marine broadband seismic data processing. European Association of Geoscientists & Engineers (хуудас. 1-5). In 77th EAGE Conference and Exhibition 2015(Vol.2015, No.1).
- Г.Болдбаатар, Э. Э. (2021). Бага гүний хагарлыг илрүүлэх сейсмик судалгаа: 2-D инверс ба миграцийн харьцуулалт. Геофизик ба одон орон судлал, 29-37.
- 刘治凡. (1998). 基于浮动基准面的两步法静校正【J】. 石油物探, 37(1): 136-142.
- 曹孟起, 刘. 占. (2006, 41(3)). 叠前时间偏移处理技术及应用[J]. 石油地球物理勘探, 286.

## SEISMIC REFLECTION DATA PROCESSING METHOD: RAW DATA TO MIGRATION

**Boldbaatar Ganbaatar<sup>1\*</sup>, Batmagnai Erdenechimeg<sup>1</sup>, Nomin-Erdene Erdenetsogt<sup>1</sup>,  
Batsaikhan Tserenpil<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [boldbaatar@iag.ac.mn](mailto:boldbaatar@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract:** Determining the geometry and kinematic patterns of faults is of great importance in solving important problems in seismological science, such as understanding the mechanisms of earthquake and hazard assessment. Therefore, there is a need to study the fault structure with high precision in accordance with the geological-geophysical task. In recent years, seismic exploration methods have been widely used on active faults in Mongolia in order to understand the geometric characteristics of faults. The reflected wave method is a commonly used seismic exploration technique to understand fault geometry. Our previous research works have developed techniques, software and methodology to determine the two-dimensional velocity model of seismic waves propagating in shallow environments based on the refracted wave method. This caused us to be somewhat backward in theory, practice, and methodology for reflected waves. In this article, some results of the seismic exploration data conducted in the vicinity of active faults in recent years based on the reflected wave method are discussed. Furthermore, an information processing algorithm was designed based on the results of the research work, and the introduction of the algorithm became an advantage of the research work.

**Key words:** *Fault geometry, kinematic patterns, seismic exploration, reflection wave method, velocity model*

## ТЭНГЭРИЙН ЭРХСИЙН ТОЙРОГ ЗАМЫН ТООЦООЛОЛ НЬ

Б.Нямсүрэн<sup>1\*</sup><sup>1</sup>ШУА-ийн Одон Орон, Геофизикийн хүрээлэн\*Зохиогчийн цахим хаяг: [nyamsuren@iag.ac.mn](mailto:nyamsuren@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Тэнгэрийн механикийн нэгэн бодлогыг авч үзье. Тэг масстай цэг нь төв бие болон гажаах хурдатгал  $P$  таталцлын нөлөөн дор хөдөлж байдаг. Вектор  $P$  нь радиус вектор, хөндлөн ба өнцгийн импульсийн векторын дагуу чиглэсэн тэнхлэгүүдтэй хамтран хөдөлж буй координатын системд тогтмол байна. Харгалзах шийдлийг Эйлерийн тэгшитгэлүүдийг дундажлах аргыг ашиглан хувиргалт хийсэн. Эдгээр тэгшитгэлүүдийг "удаан хугацаа"-ны цувааны аргыг ашиглан бодсон. 200 м-ээс их диаметртэй бага гаригийг 200 Н хөдөлгүүрийн хүчээр 0.98 жилийн дотор тойрог замаас хазайлгах боломжтой.

**Түлхүүр үг:** Тэнгэрийн механик, Дэлхий орчмын тэнгэрийн биет, Эйлер ба Кеплерийн элементүүд, тэнгэрийн жижиг бие, гажаах хурдатгал.

## ОРШИЛ

Дурын тэнгэрийн биет Дэлхийн тойрог замтай огтлолцох бүх боломжийг судлан үзэх, мөн огторгуйн тойрог замын элементүүдийн бүх параметрийг системтэй судлах нь маш чухал.

Тэнгэрийн эрхсэд Дэлхий орчмын биетүүд (сүүлт од, бага гаригууд болон хиймэл дагуулууд), жижиг биетүүд багтдаг. Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөний аналитик онолыг (Уинтнер А., 1967), (Субботин М.Ф., 1968) ямар хувьсагч сонгож авснаасаа хамаараад хоёр төрөлд ангилна. Эхнийх дэх нь координат ба хурдтай холбоотой тооцоолол, харин хоёр дахь нь тойрог замын элементүүдтэй, өөрөөр хэлбэл конфигурац орон зайн координат ба хурдны орон зайн координатууд холилдсон фаз орон зай юм. Хоёр дахь төрлийн хувьд огторгуйн элементийн гажилтуудыг (Джакалья Г.Е.О., 1979) тодорхойлон илүү нарийвчлалтай тэдгээрийн утгыг олж болно. Мөн координат ба хурдны гажилтуудыг олох нь нэг их хэцүү биш. Гажилтын хэмжээг бага нарийвчлалтайгаар тооцоолоход хангалттай байдаг.

Хэрэв байрлалын векторын дифференциалын уртыг  $q$  -ээр тэмдэглэвэл

$$q^2 = \sum_i dx_i^2 \quad (1)$$

дагуу

$$q^2 \leq \sum_i (\sum_j |p_{ij}| |d\epsilon_j|)^2 \quad (2)$$

Харин практик дээр (2) тэнцэтгэл бишийн баруун тал нь зүүнээсээ хэд хэдэн оронгоор их байдаг. Тойрог болон бага зэрэг налуу тойрог замын хувьд (2) тохиромжгүй.

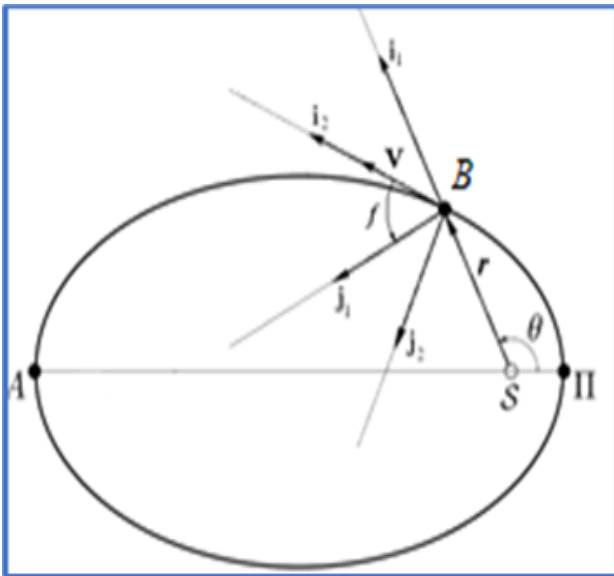
Тиймээс тэг масстай  $B$  (тэнгэрийн эрхэс) цэг нь төв бие  $S$  болон гажаах хурдатгал  $P$  таталцлын нөлөөн дор хөдөлж байна гэж үзье. Вектор  $P$  нь хурдны вектор, хөндлөн огтлол ба талбайн векторын дагуу чиглэсэн тэнхлэг бүхий тоололын дагалдах системд (Холшевников К.В., Титов В. Б., 2007) тогтмол байна. Энд шүргэгч, үндсэн нормаль ба талбайн векторын дагуу чиглэсэн тэнхлэгүүдтэй харьцуулах  $P$  векторыг тогтмол байна гэж үзээд ижил төстэй бодлогын шийдийг олсон.

**ОНОЛЫН ҮНДЭС БА ТООЦООЛОЛ**

Тэнгэрийн механикийн Кеплерийн хуулийн үндсэн тойрог замын элементүүд нь  $\omega, e, i, \Omega, g, M, \theta, E, a, u$  - дундаж хөдөлгөөн, эксцентриситет, хавтгайн налуу, ургах бэлчрийн уртраг, перицентрийн аргумент, дундаж, жинхэнэ ба гадаад төвт аномалиуд, хагас их тэнхлэг, өргөргийн аргумент (Брауер Д., Клеменс Дж.,1964), (Морбиделли А.,2014) юм. Эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийг тойрог замын системээс хамааран сонгож авдаг. Бүх огторгуйн параметрийг бүхэлд нь авахгүйгээр зөвхөн эксцентриситет, хавтгайн налуу, жинхэнэ аномаль гэсэн нэгжгүй гурван хэмжигдэхүүнийг сонгон судалж үзье. Манай Дэлхийтэй ойролцоо байгаа мөргөлдөх болзошгүй тэнгэрийн биетийн аюулын зохистой шийдлийг олох нь хамгийн чухал. Энэхүү оновчтой шийдэл нь тэнгэрийн эрхсийн тойрог замын шинж чанараас ихээхэн хамаарна.

Дээр дурдсан элементүүдээс эхний 6 элемент нь хамааралт бус, харин их хагас тэнхлэг  $a$  нь  $\omega$  – ээс хамаарсан функц болох нь (2) томъёоноос харагдаж байна.

$$a = \left(\frac{\kappa}{\omega}\right)^{2/3} \tag{3}$$



Зураг 1. Тэнгэрийн эрхэс В-ийн тооллын систем, А-апоцентр, П-перицентр

Их хагас тэнхлэгээс хамаарах дундаж хөдөлгөөнийг (Волосов В.М., Моргунов Б.И., 1971) сонгохдоо хараат бус хувьсах хэмжигдэхүүнийг сонгох нь дундажлах үйлдлийг хялбаршуулдаг. Учир нь гажсан хөдөлгөөнд М дундаж аномаль нь  $\omega$ -аас шугаман хамааралтай боловч  $a$  –аас мэдэгдэхүйц шугаман бус байдаг.

Өмнө нь  $O_1$  тооллын системийн Р гажаах хурдатгалын Р компонентыг  $i_1, j_1, k_1$  ортуудын хувьд тооцоолон бодсон.

Харин одоо  $O_2$  тооллын системийн Р гажаах хурдатгалын компонент  $P = \mathfrak{I}i_2 + \mathfrak{J}j_2 + \mathfrak{K}k_2$ , энд  $i_2$  (хурдны векторын дагуу),  $j_2$  (оскуляц траекторийн үндсэн нормалийн дагуу),  $k_2 = k_1$  (талбайн векторын дагуу бинормаль) хувьд тооцоолъё. Гажаах хурдатгалын компонентыг  $(\mathfrak{I}; 0; 0)$ ,  $\mathfrak{I} = \text{const}$  гэж аван (Зураг 1.) судалгаа хийе. Өмнөх өгүүлүүдэд (Батмунх Н., 2016), (Батмунх Н.,2019) Эйлерийн тэгшитгэлүүдийн дундажлах хувиргалтыг оскуляц тойрог замын элементүүдийн өөрчлөлтийн хувьд авч үзэхдээ нэгдүгээр эрэмбийн нарийвчлалтайгаар  $|P|$ -г ерөнхий хурдатгал  $\kappa^2/r^2$ -д хуваасан. Энд  $r$ -радиус векторын модуль  $r=|r|$ ,  $r=BS$ . Оскуляц тойрог замын элементээс дундажлах үйлдэлд дараах томъёогоор шилжинэ.

$$\epsilon_n = \bar{\epsilon}_n + u_n, \tag{4}$$

Энд  $\epsilon_n$  - оскуляц тойрог замын долоон элементүүд,  $\bar{\epsilon}_n$  – долоон дундаж элементүүд,  $u_n$ — дундаж элементүүд  $\epsilon_n$  хамаарсан функц.Нэгдүгээр эрэмбийн хувьд  $u_n$ — аргументүүд нь дундаж ба оскуляц элементүүд байх нь ялгаагүй. Тиймээс бүрэн бус эллипс интегралаар илэрхийлсэн (Санникова Т. Н., Холшевников К. В., 2014)  $u_n$  функцийг эксцентриситетийн зэргээс хамаарсан цуваа хэлбэртэй бичвэл:

$$u_1 = -\frac{3}{\omega a} \left[ \left( e - \frac{1}{4}e^3 - \frac{3}{64}e^5 \right) \sin E - \left( \frac{1}{8}e^2 + \frac{1}{32}e^4 \right) \sin 2E - \frac{1}{256}e^4 \sin 4E \right] \mathfrak{I},$$



$$u_2 = \frac{1}{\omega^2 a} \left[ \left( 2 - \frac{9}{4} e^2 + \frac{11}{32} e^4 \right) \sin E + \left( -\frac{1}{2} e + \frac{1}{4} e^3 + \frac{19}{256} e^5 \right) \sin 2E + \left( \frac{1}{12} e^2 - \frac{1}{192} e^4 \right) \sin 3E - \left( \frac{1}{32} e^3 + \frac{1}{256} e^5 \right) \sin 4E + \frac{3}{320} e^5 \sin 5E - \frac{1}{256} e^5 \sin 6E \right] \Im,$$

$$u_3 = u_4 = 0, \tag{5}$$

$$u_5 = \frac{1}{\omega^2 a} \left[ \left( -1 + \frac{3}{8} e^2 + \frac{9}{64} e^4 \right) + \left( -\frac{2}{e} + \frac{3}{4} e + \frac{9}{32} e^3 + \frac{79}{512} e^5 \right) \cos E + \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{8} e^2 - \frac{17}{256} e^4 \right) \cos 2E + \left( -\frac{1}{12} e - \frac{1}{192} e^3 + \frac{7}{1536} e^5 \right) \cos 3E + \left( \frac{1}{32} e^2 + \frac{1}{128} e^4 \right) \cos 4E - \left( \frac{3}{320} e^3 + \frac{13}{2560} e^5 \right) \cos 5E + \frac{1}{256} e^4 \cos 6E - \frac{5}{3584} e^5 \cos 7E \right] \Im,$$

$$u_6 = \frac{1}{\omega^2 a} \left[ \left( 1 + \frac{13}{8} e^2 + \frac{1}{64} e^4 \right) + \left( \frac{2}{e} + \frac{13}{4} e + \frac{1}{32} e^3 + \frac{41}{512} e^5 \right) \cos E - \left( \frac{1}{2} + \frac{25}{16} e^2 + \frac{11}{256} e^4 \right) \cos 2E + \left( \frac{1}{12} e + \frac{53}{192} e^3 + \frac{7}{64} e^5 \right) \cos 3E - \left( \frac{1}{32} e^2 + \frac{59}{1024} e^4 \right) \cos 4E + \left( \frac{3}{320} e^3 + \frac{3}{128} e^5 \right) \cos 5E - \frac{1}{256} e^4 \cos 6E + \frac{5}{3584} e^5 \cos 7E \right] \Im,$$

$$u_7 = \frac{2}{\omega^2} \left[ \left( e - \frac{1}{4} e^3 - \frac{3}{64} e^5 \right) \sin E - \left( \frac{1}{8} e^2 + \frac{1}{32} e^4 \right) \sin 2E - \frac{1}{256} e^4 \sin 4E \right] \Im.$$

Энд  $E$ -гадаад төвт аномаль.  $e < 1$  үед цуваа нийлнэ. (5) тэгшитгэлийн  $e^5$  хүртэл тооцоолсон бөгөөд зөвхөн  $M$  дундаж аномаль л хурдан хувсагчтай. Дундажлах аргын хувиргалтыг хурдан хувсагчаас хамааралгүйгээр тооцоолсон.

Өгөгдсөн нөхцөлийн дагуу дундаж элементүүдийн дифференциаль тэгшитгэл нь (Санникова Т. Н., Холшевников К. В., 2014):

$$\dot{\omega} = -\frac{3}{a} F_1(e^2) \Im,$$

$$\dot{e} = -\frac{e}{\omega a} F_2(e^2) \Im,$$

$$\dot{M} = \omega, \tag{6}$$

$$\ddot{i} = \ddot{\Omega} = \dot{g} = 0.$$

Хоёр цэгээр  $t$  хугацаагаар авсан дифференциалыг тэмдэглэв.  $\Im$  тэгээс ялгаатай тогтмол. Энд

$$F_1(e^2) = 1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 + \dots,$$

$$F_2(e^2) = 1 - \frac{5}{8} e^2 - \frac{9}{64} e^4 + \dots,$$

(6) тэгшитгэлийг бодоходоо (5) –ийн үет гажилтыг тооцно. Эллипсийн чиглэлийг тодорхойлсон  $i, \Omega, g$  элементүүд тогтмол. Тэгшитгэл (6) нь бие даасан тул эхний эгшинд  $t = 0$  авах нь тохиромжтой. Хувьсагчдын анхны утгыг "0" индексээр тэмдэглэв. Экцентриситетийн эхний утгаас хамаарсан хоёр тохиолдлыг авч үзье.

1. Хөдөлгөөний зам нь тойрог

$e_0 = 0$  байг. Энэ үед тангенциал хурдатгал  $\Im$  трансверсаль  $T$  –тэй давхацдаг тул (Батмунх Н., 2018) бодлогын шийдлийг тодорхойлж болно.

$$e = 0$$

$$\omega = \omega_0 (1 - \tau)^3,$$

$$a = \frac{a_0}{(1 - \tau)^2} \tag{7}$$

$$M = M_0 + \frac{\omega_0 t^*}{4} [1 - (1 - \tau)^4] =$$

$$= M_0 + \omega_0 t \left( 1 - \frac{3}{2} \tau + \tau^2 - \frac{1}{4} \tau^3 \right),$$

Энд

$$t^* = \frac{a_0 \omega_0}{\Im}, \quad \tau = \frac{t}{t^*}$$

Хэмжигдэхүүн  $t^*$  – хугацааны нэгжтэй, харин  $\tau$  – удаан хугацааны нэгжгүй.

$\Im > 0 \Rightarrow t^* > 0$ . (7) тэгшитгэлийн шийдэл нь  $-\infty < \tau < 1, -\infty < t < t^*$  ийм байхад олдоно. Харин интервалын төгсгөлд шийдэл нь:  $a \rightarrow 0, \omega \rightarrow +\infty$  үед  $\tau \rightarrow -\infty, \tau \rightarrow -\infty, t \rightarrow -\infty$ ;  $a \rightarrow \infty, \omega \rightarrow 0$  үед  $\tau \rightarrow 1, t \rightarrow t^*$ . Дундаж аномалийн хувьд  $M \rightarrow -\infty$  үед  $\tau \rightarrow -\infty, t \rightarrow -\infty$ ;  $M \rightarrow M_0 + \omega_0 t^*/4$  үед  $\tau \rightarrow 1, t \rightarrow t^*$ . Экцентриситет тэг байх тохиолдолд жинхэнэ аномаль дундаж аномальтай давхацдаг. Иймээс  $A$  тойрог зам нь өнгөрсөн хугацаанд хязгааргүй олон эргэлттэй (татах төвийг тойрсон), ирээдүйд хязгаарлагдмал тооны эргэлт хийдэг (хязгаарлагдмал хугацаанд хязгааргүйд хүрэх) спираль юм.

$\Im < 0 \Rightarrow t^* < 0$ . Критик утга  $\tau = 1, t = t^*$  одоо урьд нь  $\tau$  өсөхөд цаг хугацаа багасаж байсан. Шийдэл нь  $-\infty < \tau \ll 1, t^* < t < +\infty$ , үед л боломжтой бөгөөд өнгөрсөн ба ирээдүй солигдоход л тэрээр дээр дурдсантай төстэй болно.

Хязгаарлагдмал хугацаанд хязгааргүйд хүрэх нь ямар ч физик утга агуулаагүй. Ийм шийдлийн дундаж утгын аргыг зөвхөн  $\tau$  –ийн утга 1-д хэт ойр биш үед л хамааралтай болохыг илтгэнэ. Жишээ нь:  $\tau < 1/2$ , өөрөөр хэлбэл  $t < t^*/2$ . Энэхүү арга нь  $u_n$  хэмжигдэхүүний утга бага гэж үздэг. Түүнчлэн  $e_0 = 0$  үед (5)

$$u_2 = \frac{2\Im}{\omega^2 a} \sin E = \frac{2\Im}{\omega_0^2 a_0 (1 - \tau)^4} \sin E \tag{8}$$

$\tau \rightarrow 1$  хязгаарлагдахгүй.

(8)-ийн дагуу хагас эргэлт бүрийн  $\pi(2k - 1) < E < 2\pi k$  оскуляр эксцентриситет сөрөг. Энэ нь сөрөг эксцентриситет байна гэдэг нь ердөө л перицентр ба апоцентрийн байрлалыг өөрчилдөг.

2. Хөдөлгөөний зам нь тойрог биш

Энэ тохиолдолд  $0 < e_0 < 1$  үед (6) тэгшитгэлээс эллиптик интеграл авна. Тэгшитгэл (6)-ын эхний хоёр нь бусдаасаа хамааралгүй тул түүний шийдийг Ли цувааны аргыг ашиглан олъё.

$$\epsilon_n = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\xi^n}{n!} D^n \epsilon_n \quad (9)$$

Энд  $D$  нь (6) системийн траекторын дагуух дифференциалийн оператор.

$$D = -3\mathfrak{Z} \left(\frac{\omega}{\kappa}\right)^{2/3} F_1(e^2) \frac{\partial}{\partial \omega} - \mathfrak{Z} \kappa^{-2/3} \omega^{-1/3} e F_2(e^2) \frac{\partial}{\partial e}$$

(9)-ын шийдлийг дифференциаль оператор ашиглан  $\omega$  болон  $e$  хувьд цуваанд задлан хувиргалт хийн тооцоолъё.

Удаан хугацааг хоёрдугаар эрэмбэ хүртэл нарийвчлалтайгаар авбал

$$\begin{aligned} e &= e_0 \left[ 1 - \left( 1 - \frac{5}{8} e^2 - \frac{9}{64} e^4 \right) \tau - \frac{13}{16} e^2 \left( 1 + \frac{19}{104} e^2 \right) \tau^2 + \dots \right], \\ \omega &= \omega_0 \left[ 1 - 3 \left( 1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 \right) \tau + 3 \left( 1 - \frac{3}{4} e^2 + \frac{1}{32} e^4 \right) \tau^2 + \dots \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

ҮР ДҮН БА ДҮГНЭЛТ

Эдгээр олсон үр дүнгээ бага жинтэй хүчний тусламжтайгаар Дэлхийтэй мөргөлдөж болох аюултай тэнгэрийн эрхсийг тойрог замаас нь хазайлгах тооцоололд хэрэглэн бодов. Аюултай тэнгэрийн эрхсэд сүүлт од, бага гаригаас гадна хиймэл дагуул болон таталцлын трактор орно. Бага жин нь тодорхой зайнд тодорхой хугацааны (жил, сар) турш тэнгэрийн эрхсийн тойрог замыг өөрчлөн шилжүүлж болно. Гэхдээ нээгдээд удаагүй байгаа 100 метрээс дээш диаметртэй бага гаригийн хувьд магадлал муу байна. Одоогоор (Зураг 2.-)д 1 км-ээс их диаметртэй аюултай бага гаригийн тоо 152, харин аюул учруулж болох биетүүд 2368 байна. Дэлхий орчмын нийт бага гаригууд 33378, Дэлхий орчмын сүүлт од 122. Ер нь бага гариг нээсэн 1801 оноос л дэлхий дээрх хүмүүсийн сонирхол ба

$$\alpha = \alpha_0 \left[ 1 + 2 \left( 1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 \right) \tau + 3 \left( 1 - \frac{1}{3} e^2 - \frac{7}{96} e^4 \right) \tau^2 + \dots \right],$$

(10)-ийн дундаж хөдөлгөөн болох хоёр дахь тэгшитгэлээс интеграл авбал

$$\delta M = \omega_0 t^* \tau^2 \left[ -\frac{3}{2} \left( 1 - \frac{1}{4} e^2 - \frac{3}{64} e^4 \right) + \left( 1 - \frac{3}{4} e^2 + \frac{1}{32} e^4 \right) \tau + \dots \right], \quad (11)$$

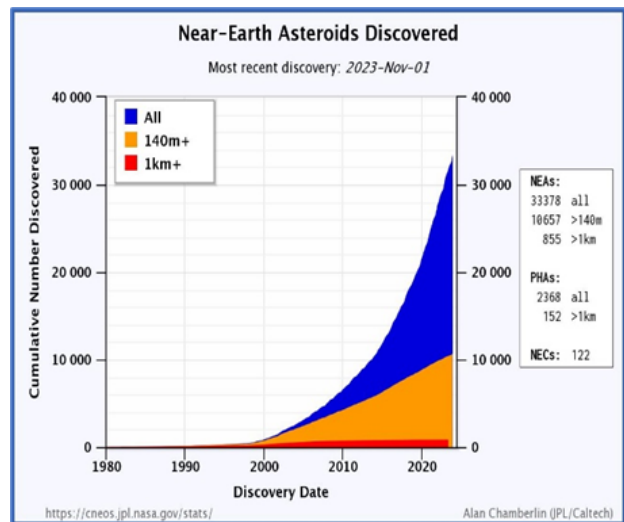
Ийм төрлийн интегралыг (Батмунх Н., 2016) ажилд хэрхэн бодохыг харуулсан байгаа.

Байршлын элементүүдийн секуляр гажилт нь цаг хугацаатай пропорциональ байна. Гурав дахь тэгшитгэлд (6) -тай пропорциональ нэр томъёо байхгүй тул дундаж аномалийн секуляр гажаах нь цаг хугацааны квадраттай пропорциональ байна.

$e_0 = 0$  үед (10) ба (11) тэгшитгэлүүд (6) тэгшитгэлтэй давхацдаг бөгөөд  $\omega, M$  элементүүд хугацаанаас хамаарсан олон гишүүнт болно. Харин их хагас тэнхлэгийн хувьд түүнийг цуваанд задлая

$$\alpha = \alpha_0 \sum_{n=0}^{\infty} (n+1) \tau^n \quad (12)$$

ийм болох бөгөөд нийлэлтийн радиус нь нэгтэй тэнцүү.



Зураг 2. 2023 оны 11-р сарын 1-ний байдлаар Дэлхий орчмын тэнгэрийн эрхсийн биетүүдийн тоо. Эх сурвалж: <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>

түгшүүрийг бий болгосон. Энэ нь манай Нарны аймгийн хамгийн түгээмэл тэнгэрийн эрхэс учраас арга ч үгүй биз. Тоо нь манай хүн амын тооноос ч их байж

магадгүй хэмээн таамаглаж байна. Жишээ нь 99942 Апофис бага гаригийн физик параметруудийг ашиглан 200Н хүчтэй

таталцлын трактораар 0.98 жилийн хугацаанд тойрог замаас нь хазайлгах боломжтой.

## НОМЗҮЙ

Батмунх Н., Оськина К. И., Санникова Т. Н., Титов В. Б., Холшевников К. В. (2019) *Астрономический журнал*, 96, 11, с. 961

Батмунх Н., Санникова Т. Н., Холшевников К. В. (2018) *Астрономический журнал*, 95, 4, с.307.

Батмунх Н., Санникова Т. Н., Холшевников К.В., Шайдулин В.Ш. (2016) *Астрономический журнал*, 93, 3, с.331.

Брауер Д., Клеменс Дж. (1964) *Методы небесной механики*.

Волосов В.М., Моргунов Б.И. (1971) *Методы осреднения в теории нелинейных колебательных систем*

Гребеников Е. А., Рябов Ю. А. (1971) *Новые качественные методы небесной механики*

Джакалья Г.Е.О. (1979) *Методы теории возмущений для нелинейных систем*

Морбиделли А. (2014) *Современная небесная механика*

Санникова Т. Н., Холшевников К. В. (2014) *Астрономический журнал*, 91,12, с .1060.

Субботин М. Ф. (1968) *Введение в теоретическую астрономию*.

Уинтнер А. (1967) *Аналитические основы небесной механики*.

Холшевников К. В., Титов В. Б.(2007) *Задача двух тел*. СПб.: Изд. СПбГУ.

## CALCULATION OF THE ORBIT OF CELESTIAL BODIES

Nyamsuren Batmunkh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [nyamsuren@iag.ac.mn](mailto:nyamsuren@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** Let us consider the following problem of celestial mechanics. A zero-mass point moves under attraction to a central body and a disturbing acceleration  $\mathbf{P}$ . The vector  $\mathbf{P}$  is taken to be constant in a co-moving coordinate system with axes directed along the radius vector, the transversal, and the angular momentum vector. The corresponding Euler-type equations are transformed using the method of previous averaging. These equations are solved using the method of “slow time” power series. It turned out that asteroids with a diameter greater than 200 m can be deflected in 0.98 years with an engine thrust of 200N.

**Keywords:** *Celestial mechanics, Near Earth objects, Euler and Kepler's elements, small celestial bodies, disturbing acceleration.*

# ГЕОРАДАРЫН 3-D ХЭМЖИЛТИЙН ХЭВТЭЭ ЗҮСЭЛТИЙН АРГА, МОГОДЫН ХАГАРЛЫН ЖИШЭЭН ДЭЭР

Ц.Нямбаяр<sup>1\*</sup>, Ш.Чимэддорж<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

<sup>2</sup>МУИС-ийн Улбаанбаатар сургууль

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [nyambayar@iag.ac.mn](mailto:nyambayar@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Могодын идэвхтэй хагарлын сүүлийн бүртгэгдсэн газар хөдлөлт нь 1967 оны 1 дүгээр сарын 05 ний өдөр  $M_w=7.4$  магнитудтай газар хөдлөлт байдаг бөгөөд түүнээс хойш геоморфологи нь элэгдлийн процесст маш бага орсон байдаг ба хагарлын гадаргуу дээрх эвдрэлийн ул мөр нь нэлээд сайн хадгалагдан үлдсэн байдаг. Могод идэвхтэй хагарлын параметрийг тодорхойлж, зураглах Георадарын анхны судалгааг ООГХ болон Францын судалгааны баг хамт олон 2012 оны 08 сард хийж гүйцэтгэсэн байдаг. 2019 оны 10 сард ООГХ, Солонгос Улсын Геологи Эрдэс баялгийн Хүрээлэнтэй хамтын ажиллагааны гэрээ хийсэн бөгөөд тэдний идэвхтэй тектоникийн судалгааны төвийн хүсэлтээр ООГХ-ийн баг хамт олон Могодын идэвхтэй хагарлын георадарын анхны судалгааны ажлыг 2020 онд хийж гүйцэтгэсэн. Энэхүү судалгааны ажлаар хийгдсэн Георадарын хөндлөн зүсэлтүүд нь хагарлын суналаа хөндлөн огтолсон байдаг бол Георадарын дараагийн судалгааны ажил нь 2021 оны 07 сарын 22-ноос 08 сарын 12-ны хооронд палео-сувгийн 3D зураглал байсан ба энэ нь хагарлын суналын дагуу хийгдэж, палео-жалгуудыг огтолсон байдаг. Энэ судалгааны өгүүлэлд бид Могод хагарлын георадарын 3D судалгааны зөвхөн нэг талбайн хэмжилт, зураглал, үр дүнг толилуулж байгаа ба уг үр дүнгээр 2 палео-сувгийн ул мөр илрүүлсэн.

**Түлхүүр үг:** Георадар(GPR), GNSS, шилжил хагарал, палео-суваг, Могод

## ОРШИЛ

Могодын идэвхтэй хагарал нь Монгол орны төв хэсэгт хангайн өргөгдлийн зүүн захад оршдог. Могод сумын нутагт 1967 оны 1 сарын 5-нд  $M_w=7.4$  магнитудын хүчтэй газар хөдлөлт нь Монгол орны төв хэсэгт болсон хамгийн хүчтэй газар хөдлөлт юм (Natsag-Yim, Baljinnyam, & Monhoo, 1971, Bayasgalan & Jackson, 1999b, Khil'ko, et al., 1985).

Могодын газар хөдлөлтийн үндсэн гадаргуугийн эвдрэл дөрвөн бүлэгт хуваагдсан бөгөөд хамгийн том урт үргэлжилсэн оффсет бүхий сегмент нь хойноос урагш чиглэлд 20км үргэлжилсэн баруун гарын хэвтээ шилжилттэй шилжилт хагарал ба баруун хойноос зүүн урагш чиглэлд 10км орчим үргэлжлэх огшил төрлийн сегментүүд юм (Bayasgalan &

Jackson, 1999, Chen & Molnar, 1977, Khil'ko, et al., 1985, Natsag-Yim, Baljinnyam, & Monhoo, 1971). Энэхүү идэвхтэй хагарлын нарийвчилсан геологи, геофизикийн нэгдсэн иж бүрдэл судалгааг 2020 оноос эхлэн ШУА-ийн ООГХ-ийн судалгааны баг, өмнөд Солонгос улсын Геологи Эрдэс Баялгийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг хамтран гүйцэтгэж байгаа болно. Могод идэвхтэй хагарлын хувьд хагарлын шинж чанар, геодинамикийн процессийг ойлгох, тайлбарлахад энэхүү судалгаа нь их ач холбогдолтой юм.

Хамгийн сүүлд болсон газар хөдлөлтөөс хойш хагарал орчмын суларсан хөрс элэгдлийн процесст орсноор хагарлын хавтгайн хөрсөн дээрх эвдрэлүүдийн хэлбэр хэмжээ, байрлал мэдэгдэхгүй болж



геоморфологи нь маш их өөрчлөгдөж анхны хэмжээг гажуудуулсан байдаг.

Георадарын судалгааны арга нь радарын долгионы ойлгуудын зураглалаар хагарлыг тодорхойлон дүрслэхэд (Lehmann & Green, 2000, Beauprêtre, et al., 2012, Schlupp, et al., 2012) мөн хөрсөн доор булагдаж далдлагдсан голын суваг жалгын тандалтад (Ferry, et al., 2010) маш сайн арга бөгөөд цаашид өргөн хэрэглэгдэхээр үр дүнтэй болох нь олон судалгааны ажлуудаар туршигдаж батлагдсан болно. (Beauprêtre, et al., 2012, Cassidy, 2009) нар нь далдлагдсан сувгийн сүлжээг сэргээн босгож зураглах 3D Георадарын тандалтын судалгаанд, мөн (McClymont F. A., et al., 2008, Davis & Annan, 1989) нар нь идэвхтэй хагарлын дүрслэлийг сайжруулах, геометрийн шинж чанарыг тодорхойлоход 3D Георадарын мэдээллийг ашигласан. Харин (Dentith, O'Neill, & Clark, 2010) нар

нь маш их элэгдэлд орсон эртний хувирал бүхий хагарлын мөргөцгийн судалгаанд георадарын мэдээллийг тренчийн үр дүнтэй харьцуулсан байдаг. Георадарын хөгжлийн дүр төрхийн үндсэн ухагдахуун нь идэвхтэй тектоникийн орчинтой нягт холбогдож уялдсан байдаг (McClymont F. A., et al., 2008, McClymont A. F., et al., 2010).

Тиймээс бидний энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь идэвхтэй хагарлын үндсэн палеосейсмологийн шинж чанарыг тодорхойлох бөгөөд үүний тулд хагарлын геометрийн шаардлагатай параметруудийг георадарын аргачлал болон гадаргуугийн топографын геометрийн зүсэлттэй хосолсон судалгааны тусламжтайгаар тодорхойлж, палеосейсмологийн уламжлалт аргаар тодорхойлсон үр дүнтэй харьцуулахад оршино.

## **ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ АРГАЗҮЙ**

Ground-Penetrating Radar (GPR) буюу Георадарын судалгааны онол нь анх 1930 онд гарсан бөгөөд 1937 онд анхны цахилгаан соронзон долгионоор геофизикийн хайгуул хийх аргыг туршсан байдаг боловч техник технологийн хувьд ашиглахад хүнд байсан. Харин 1992 оноос микроэлектроникийн хөгжлийг дагаж өндөр хурдацтай хөгжиж эхэлсэн ба өнөөдрийн байдлаар маш олон салбарт өргөн хэрэглэгддэг болсон (Jol, 2009).

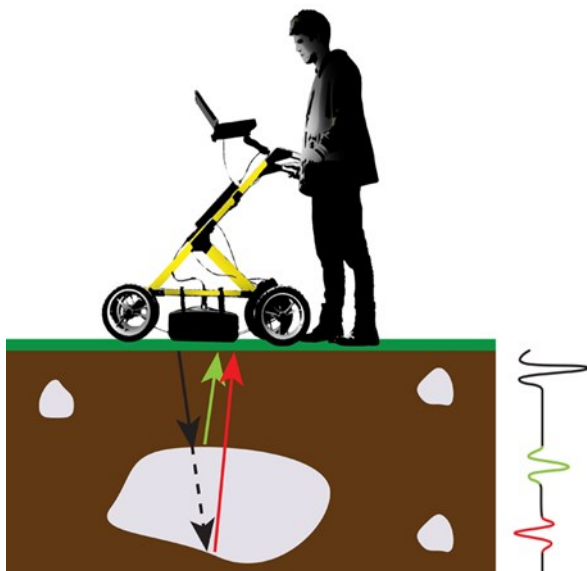
Георадарын судалгаа нь Геологи, Байгаль орчин, Археологи, Уул уурхай, Барилга байгууламж, Инженерийн шугам сүлжээ, Гүний ус, Цас мөс, Агуй хонгилын судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг (Jol, 2009) ба багажийн давуу тал нь зөөж тээвэрлэхэд авсаархан, битүүмжлэгдсэн байдаг учраас эвдэрч гэмтэх тохиолдол бага, геофизикийн бусад судалгааны багажийг бодвол хэмжилтийг богино хугацаанд зардал багатайгаар босоо хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хийх боломжтойгоор онцлог юм (Jol, 1995).

Георадар нь 10 МГц – 2 ГГц –ийн өндөр давтамж бүхий цахилгаан соронзон долгионы тархалт, ойлт, сарнил гэх мэт физикийн хуульд тулгуурласан геофизикийн судалгааны нэг гол аргачлал юм (Jol, 1995). Цахилгаан соронзон долгионы тархалт нь тухайн хөрс болон чулуулгийн диэлектрик тогтмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаардаг ба тархалтын хурд нь 50-150 м/микросек байдаг (Heincke, et al., 2005). Георадар нь бага гүний соронзон шинж чанаргүй чулуулгийн өдөөгдөж цахилгаанжсан болон цахилгаанжаагүй ялгарлуудыг зураглах боломж олгодог (Jol, 2009).

Георадарын судалгааны арга нь бага гүний хайгуулын аргад ордог бөгөөд тандалтын гүн нь Георадарын антены давтамжийн цахилгаан соронзон долгионы замхралаас шалтгаалдаг (Jol, 1995). Хамгийн бага давтамж нь хамгийн их гүнд нэвтрэх бөгөөд энэ нь 5 см – ээс 60 м хүртэл байдаг бол зураглалын орон зайн нарийвчлал нь 0.003-2 м (Heincke, et al.,

2005). Нэвтрэх гүн болон зураглалын нарийвчлал нь дамжуулагчаас цацаж буй радио долгионы давтамж болон тус хэмжилтийн орчны геологийн бүтэц, шинж чанар, цахилгаан эсэргүүцэл зэргээс

хамаардаг (Jol, 1995). 
$$\lambda = \frac{c}{v} \quad (1)$$



Зураг 1. Георадарын Common Offset (CO) аргачлалын хамгаалагдсан антенны хэмжилт, ажиллах зарчим. Антенд өгөх импульс болон хэмжилтийн мэдээллийг оптик кабелиар хяналтын төхөөрөмж рүү дамжуулж түүнээс цааш нь хэмжилтийн компьютерт мэдээллээ дамжуулж хадгалах замаар георадарын хэмжилт хийгдэнэ. Манай 250МГц антен тэргэнцрийн хамт хэмжилтэнд бэлэн болсон байдал

Энд долгионы урт нь давтамжаас урвуу хамааралтай ба вакуум дахь гэрэл тархах хурдтай шууд хамааралтай. GPR-ийн зарчим нь тухайн материалын харьцангуй диэлектрик нэвтрүүлэх чадварт суурилдаг. GPR-ийн цахилгаан соронзон (EM) орон нь цахилгаан соронзон долгион хэлбэрээр газарт тархдаг. Энэхүү тархалтыг Максвеллийн тэгшитгэлүүдээс олж авсан цахилгаан соронзон (EM) долгионы тэгшитгэлээр илэрхийлбэл (Cassidy, 2009):

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu\sigma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} + \mu\epsilon \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2)$$

Үүнд: E-цахилгаан орон,  $\mu$  – соронзон нэвтрэх чадвар,  $\epsilon$  – диэлектрик нэвтрүүлэх чадвар,  $\sigma$ – цахилгаан дамжуулах чадвар

Гүн рүү чиглэсэн босоо тэнхлэгийн нарийвчлал нь ашиглагдаж буй антенны давтамж ба цахилгаан соронзон долгионы

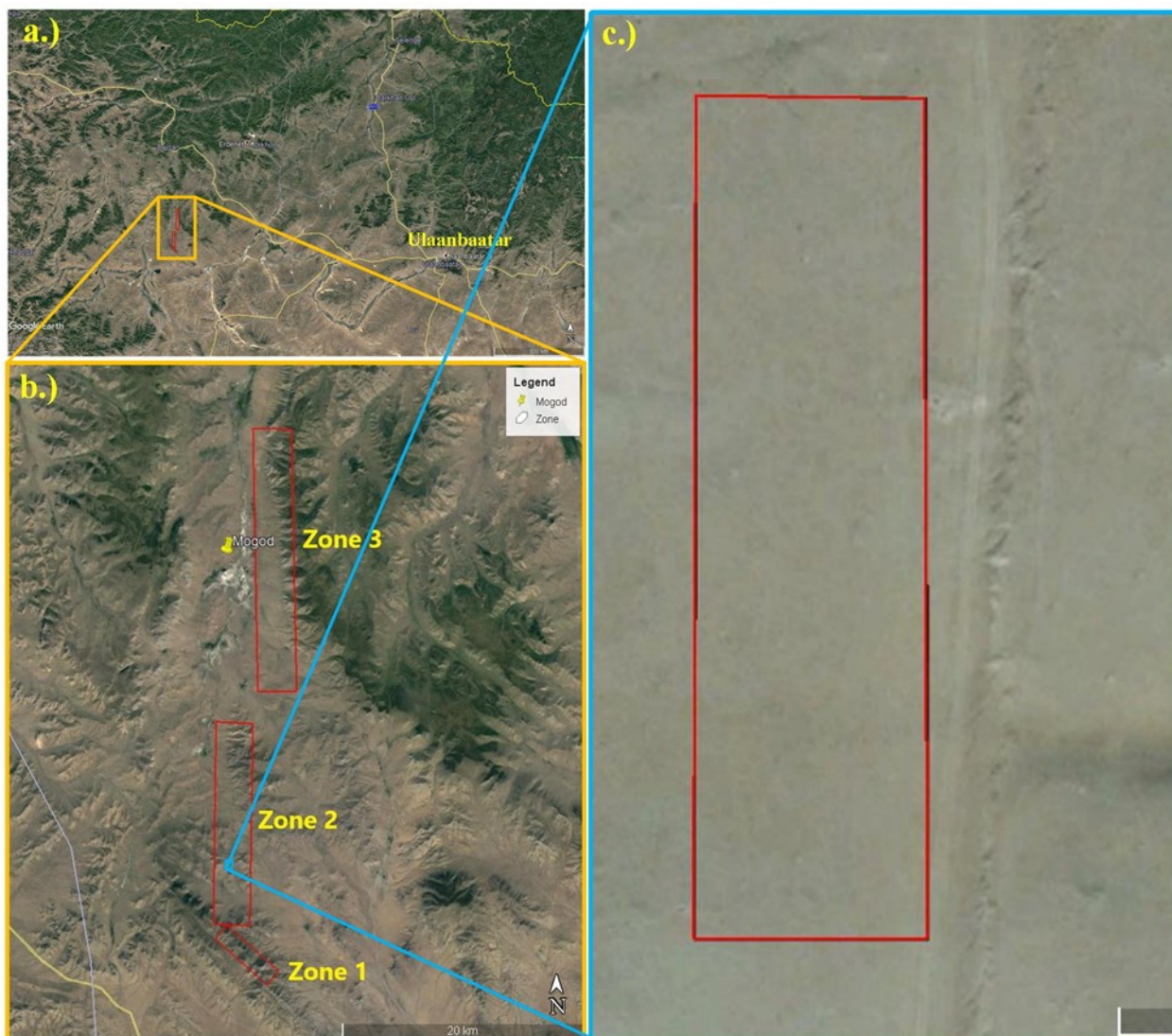
хурдаас хамаардаг.  $\lambda/4$  хэмжээ нь 50 – 500 МГц давтамжууд ба 0.1 – 0.14 м/наносек хурднуудад 5 – 70 см хүртэл өөрчлөгддөг (Heincke, et al., 2005).

Георадарын хэмжилт хийх аргачлал нь үндсэн 2 төрөл байдаг бөгөөд бид энэхүү судалгаанд Common Offset (CO) буюу дамжуулагч болон хүлээн авагч антен хоорондын зай нь тогтмол байдаг хэмжилтийн аргачлалыг ашигласан болно (Зураг 1).

Хамгаалагдсан антен нь дамжуулагчаас цацруулж байгаа цахилгаан соронзон долгион нь зөвхөн газрын гүн рүү тархдаг учир орчны нөлөөлөл шуугиан бүртгэгддэггүй давуу талтай. Энэ ойлт нь радарграмм дээр ямар байдалтай харагдахыг харж болно. Георадарын хэмжилт хийх зарчим болон хэмжилтийн тэргэнцрийн хэмжилтэд бэлэн болсон

байдлыг (Зураг 1) нарийн харж болно. Явсан нийт замыг тэргэнцрийн дугуйнд

байрлах хэмжигчээр хэмжинэ (Jol, 1995).



Зураг 2. Могод хагарал дээр Георадарын 3D хэмжилт судалгаа гүйцэтгэсэн талбайн байрлалын зураг. а.) Могод хагарлын ерөнхий байрлал, б.) 2020–2021 онуудад Георадарын хэмжилт гүйцэтгэсэн 3 бүсийн байрлал, в.) Георадарын 3D судалгаа гүйцэтгэсэн талбайн байрлал ба улаан тэгш өнцөгтгөөр талбайн хэмжээг харуулав.

## СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

Бидний гүйцэтгэсэн георадарын судалгааны ажлуудаас Могод хагарлын 3D судалгааны ажлын үр дүнг оруулж байгаа болно.

Бидний 3D судалгааны ажил нь Могод хагарлын далдлагдсан сувгийн ул мөрийг сэргээн тодорхойлох зорилготой учир геоморфологийн урьдчилсан ажиглалтын дараагаар солонгос талын санал болгосон талбай юм. Могод хагарал нь Улаанбаатар хотоос баруун

зүгт 345км зайд орших ба засмал авто замаар 285км үлдсэн нь орон нутгийн шороон зам юм.

Бидний 3D судалгааны талбай нь Могод хагарлын хэвтээ шилжилтийн бүсэд сансрын зураг болон газар дээрээ илт харагддаг эвдрэлийн бүстэй хэсэгт байрладаг бөгөөд Зураг 2б дээрх 2 дугаар бүс юм. Энэ хэсэг нь хэвтээ шилжилтийн параметрийг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой талбай юм Зураг 2с.



Могод хагарал нь нийслэл Улаанбаатар хотоос баруун зүгт шулуун замаар 300 орчим км зайд байрлах боловч монгол улсын хүн амын тал хувь нь оршин суудаг нийслэл хотод үзүүлэх чичирхийллийн нөлөөлөл нь өндөрт

## **ГЕОРАДАРЫН ХЭМЖИЛТ**

Шилжил төрлийн хагарал дээр хагарлын хавтгайд перпендикуляр байрлалтай Георадарын хөндлөн огтлолуудаар шаардлагатай параметрууд харагддаггүй учраас шилжил хагарлын гол параметр болох хэвтээ шилжилтийг уулын амнуудын ус урсдаг жалгуудын шилжилтээр тодорхойлдог. Харин газар хөдлөлтөөс хойш геологийн элэгдлийн процессын улмаас тухайн үеийн усны жалга суваг нь булагдаж далдлагдан өөр голидрол бүхий жалгууд үүссэн байдаг учраас шилжил хагарлын хавтгайд параллель байрлалтайгаар буюу усны жалга сувгуудыг хөндлөн огтолсон байрлалаар Георадарын хөндлөн огтлолуудыг хийж эртний жалга сувгийн хувиралт өөрчлөлтүүдийг сэргээн зураглах замаар хэвтээ шилжилт бүхий эртний газар хөдлөлтийн хөдөлгөөний шилжилтийн хэмжээг нарийн тогтоодог (Нямбаяр, et al., 2018, Jean-Remi, et al., 2014, Jol, 2009).

Могод хагарлын геофизикийн нэгдсэн хэмжилт судалгааг ШУА-ийн ООГХ-ийн судалгааны баг Солонгосын Геологи Эрдэс Баялгийн Хүрээлэнгийн багын хамтарсан төлөвлөгөөний дагуу дангаараа талбайн хэмжилтүүдийг хийж гүйцэтгэсэн. Эдгээр георадарын судалгааны хэмжилтийг бид Швед улсын MALA Geoscience брэндийн ProEx – фибер оптик контрол систем болон XV11 –хээрийн хэмжилтийн компьютер ашиглан 250 МГц хамгаалагдсан антены хөндлөн зүсэлт хоорондын зайг 2м болон 500 МГц-ийн хамгаалагдсан антены хөндлөн зүсэлт хоорондын зайг 1м

тооцогддог (Bayasgalan & Jackson, 1999b, Huang & Chen, 1986). Тиймээс Могод хагарлын палеосейсмолог болон геологи, геофизикийн нэгдсэн судалгааны ажлыг Орос, Франц болон бусад улсуудын эрдэмтэдтэй хамтран хийсээр байгаа билээ.

байхаар хөндлөн зүсэлтүүдийн байрлалыг сонгон хийж гүйцэтгэсэн.

Хагарлын геометрийг тодорхойлох улмаар тренч ухах оновчтой байрлалыг тогтоох үүднээс хагарлын хойд хэсгийн эртний голын далдлагдсан жалгын шилжилтийг тодорхойлох зорилгоор хагарлын сунал болон мөргөцөгт параллель чиглэлүүдээр хөндлөн огтлолуудаа сонгон 2D болон 3D хэмжилтүүдийг хийсэн.

Георадарын хээрийн хэмжилтийн мэдээлэл цуглуулалтыг MALA брэндийн өөрийнх нь программ хангамж болох RAMAC Groundvision2 программ хангамж ашиглан гүйцэтгэдэг. Хэмжилт хийхэд хамгийн чухал параметрийн нэг нь триггер интервал буюу хэмжилтийг гүйцэтгэх алхам бөгөөд үүнийг 250 МГц антены хувьд 5 см, 500 МГц антены хувьд мөн адил 5 см – ээр сонгож хэмжилтээ гүйцэтгэсэн (Хүснэгт 1). Георадарын хөндлөн огтлолууд тус бүр дээр Swift Navigation Piksi Multi 2 давтамжийн GNSS системийг RTK горимд ашиглан газрын гадаргуугийн топографыг хэмжиж зохих боловсруулалтын алхам дээр нь оруулан нэгтгэж өгдөг.

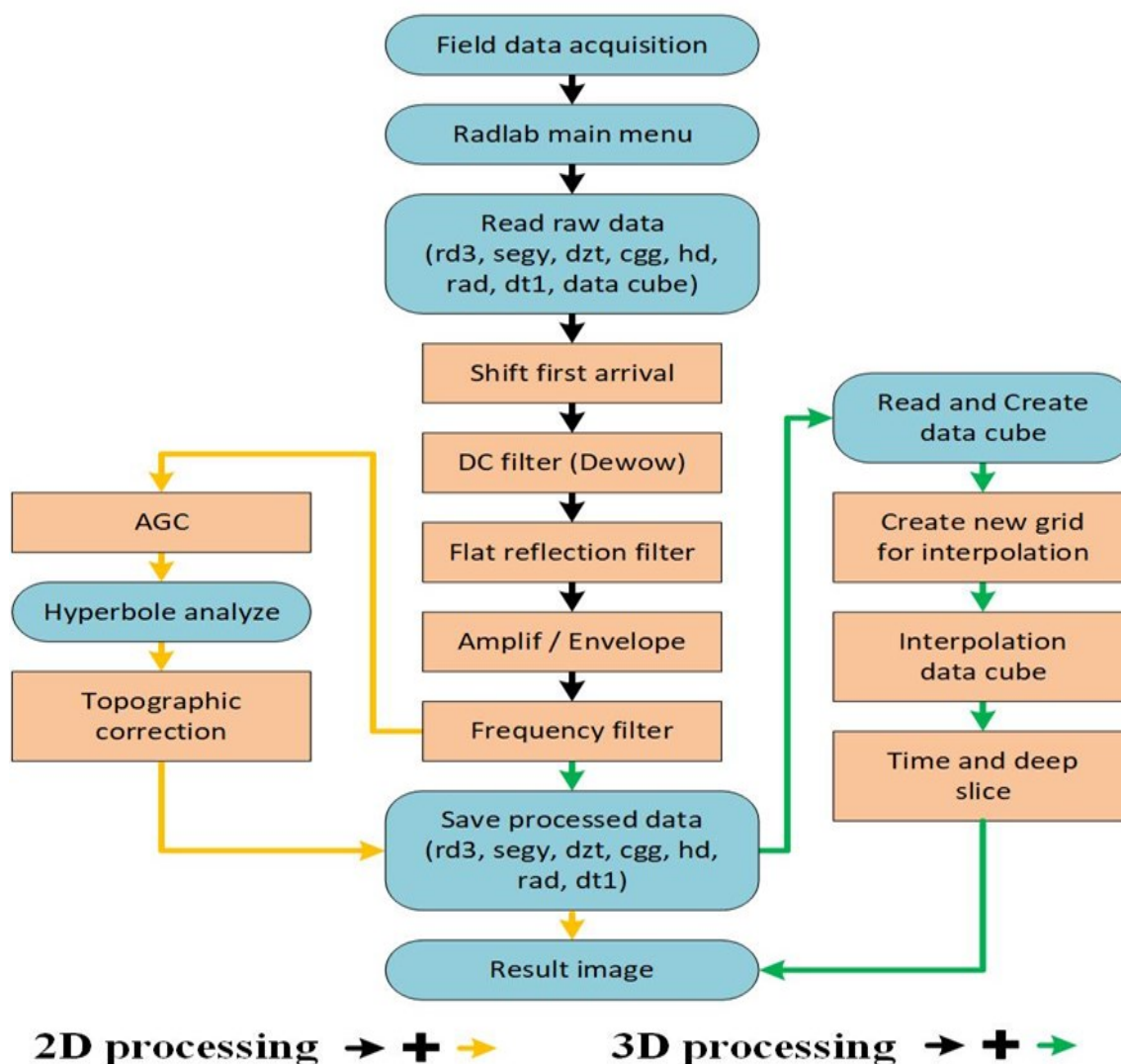
Хэмжилтийн талбай бартаа саад багатай байсан учраас бид хэмжилтийн ажлаа хялбаршуулах үүднээс зориулалтын тэргэнцрийг нь ашигласан болно (Зураг 1).



Хүснэгт 1. Могод хагарал дээр хийгдсэн 3D хэмжилтийн нарийвчилсан параметр.

Талбайн нэр	Хөндлөн зүсэлтийн нэр	Антен	Хэмжилтийн алхам	Хөндлөн зүсэлтийн урт	Гүний хугацаа
Талбай-2	f2-250-profile-01 to f2-250-profile-30	250 МГц	0.05 м	245 м	213 наносек
Талбай-2	f2-500-profile-01 to f2-500-profile-60	500 МГц	0.05 м	245 м	135 наносек
Зүсэлтүүдийн нийт урт				39450 м	

### GPR Data processing diagram



Зураг 3. Георадарын 2D болон 3D хэмжилтийн мэдээлэлд боловсруулалт хийх алхамууд. 2D боловсруулалтыг хийх алхам нь хар болон шар сумыг дагаж харин 3D боловсруулалтыг хар болон ногоон сумыг дагаж гүйцэтгэдэг. Хөх өнгөөр ялгасан алхамууд нь мэдээлэл оруулах гаргах алхамууд бөгөөд улбар шар өнгөөр ялгасан алхамууд нь георадарын сигнал болон зургийн боловсруулалтын алхамууд юм.

### ГЕОРАДАРЫН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Георадарын бүх хэмжилтийн мэдээллийг MATLAB дээр бичигдсэн нээлттэй программ хангамж ашиглан

гүйцэтгэдэг (Girard, 2002). Уг программ хангамжийг RadLab гэдэг ба Франц улсын Страсбург хотын Их Сургуулийн (EOST)

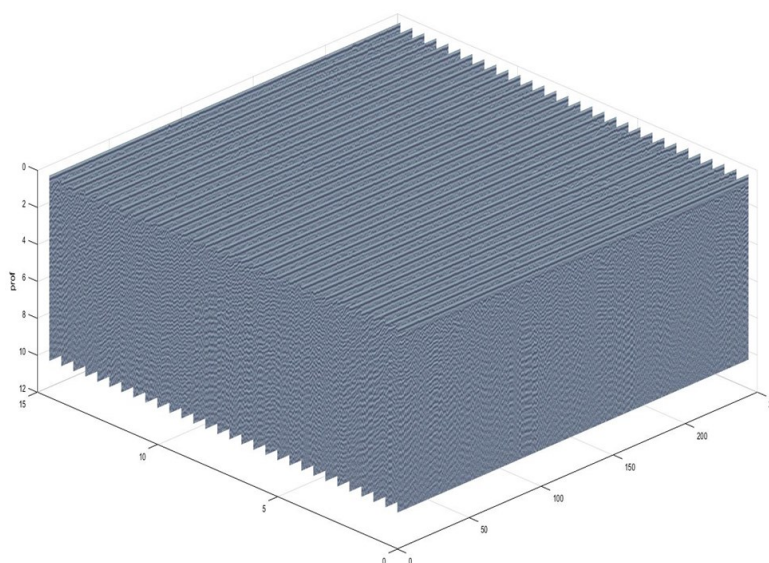
хамт олон боловсруулсан бөгөөд бид хамтын ажиллагааныхаа хүрээнд чөлөөтэй ашиглаж байгаа болно.

RadLab программ нь Георадарын RD3, CGG, SEG Y, DT1, DZT зэрэг бүх төрлийн мэдээлэлтэй ажиллах боломжтой ба олон функцуудтай чадварлаг программ юм. Бид Георадарын хэмжилтийн мэдээлэлдээ дараах Зураг 3 дээр харуулсан дарааллаар боловсруулалтуудыг хийж үр дүнгийн зураглалаа гаргаж авсан. Зураг 3 дээр хар болон шар сумаар заасан дарааллаар 2 хэмжээст боловсруулалт зураглалыг хийж гүйцэтгэсэн. Харин Зураг 3 дээр хар болон ногоон сумаар зааж харуулсан дарааллын дагуу 3D боловсруулалт зураглалын ажлыг хийж гүйцэтгэсэн болно. Топографийн хэмжилтийн мэдээллийг өндөр нарийвчлалтай RTK хэмжилтийн утгаас авч топографийн гажлийн шилжилтийн тооцоонд 0.12м/наносек тогтмол хурд хэрэглэсэн.

3D дата куб гэдэг нь 2D хэмжилтийн зүсэлтүүдийн үр дүнгүүдээр үүсгэсэн Георадарын гүний 3D өгөгдлийн багцыг хэлдэг бөгөөд энэхүү өгөгдлийн багцыг хүссэн өнцгөөрөө зүсэж дурын 2D зүсэлтийг гарган авч болдогоор давуу юм

(Heincke, et al., 2005; Nyambayar, 2021). Георадарын 3D хэвтээ зүсэлтийн зураглал хийхдээ эхлээд 2 хэмжээст боловсруулалтыг зүсэлт тус дүр дээр хийсний дараа бүх зүсэлтүүдээрээ 3D георадарын дата кубыг үүсгэдэг. Нэгэнт үүсгэсэн дата кубыг цаашид өөрсдийн хүссэн өнцөг, байрлалаар зүсэлтүүдийг хийж гүйцэтгэх боломжтой байдаг (Nyambayar, 2021, McClymont A. F., et al., 2010, Heincke, et al., 2005).

Бидний хувьд 500МГц-ийн антенаар хийгдсэн тус бүр нь 245м урттай 60 хөндлөн зүсэлтийн 2 хэмжээст боловсруулалтыг бүрэн хийж дууссаны дараа бүх хөндлөн зүсэлтүүдээ нэгтгэн 3D дата кубыг үүсгэж гүний хэвтээ зүсэлтийг газрын гадаргуугаас доош 4.3м хүртэл 10см-ийн алхамтайгаар хийж нийт 40 хэвтээ зүсэлтийн зураг гаргаж авсан. Харин 250МГц антенаар хийгдсэн 30 хөндлөн зүсэлтийн 2 хэмжээст боловсруулалтыг хөндлөн зүсэлт тус бүр дээр хийснийхээ дараа нэгтгэж дата кубыг үүсгэхдээ газрын гадаргуугаас доош 2.5м гүн хүртэл мөн адил 10см-ийн алхамтайгаар гүйцэтгэж нийт 24 гүний хэвтээ зүсэлтийн зураглал гаргаж авсан.



Зураг 4. 2021 онд Могод идэвхтэй хагарал дээр георадарын 250МГц хамгаалагдсан антенаар хийгдсэн 3D хэмжилтийн 2 хэмжээст хөндлөн зүсэлтүүдийн үр дүнгээр үүсгэсэн 3D дата кубын зураг.

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

Георадарын судалгааны арга нь хагарлын шилжилт ба бусад параметруудийг тодорхойлох, далдлагдсан хуучин суваг, жалгыг зураглах зэрэгт маш сайн үр дүнтэй арга юм. 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 (Davis & Annan, 1989, Beauprêtre, et al., 2012, Girard, 2002). Мөн 3D зураглалын гүний зүсэлтийн тусламжтайгаар сувгын шилжилт хөдөлгөөн болон гүний хэмжээ, байрлалыг тодорхойлж болдог зэргээр 3D судалгааны гүний хэвтээ зүсэлтийн арга зүй нь онцлог олон давуу талтай юм (Dujardin & Vano, 2013, Nyambayar, 2021, Lehmann & Green, 2000).

Могод хагарлын 2022 онд хийгдсэн 3D тренчийн байрлалыг тодорхойлж ажлаа төлөвлөхөд нь тулгуур болох үүднээс 2021 онд гүйцэтгэсэн палео-сувгийн 3D хэмжилтийн үр дүнд хагарлаар шилжсэн сувгийн шилжилтийг тодорхойлон зураглаж өгсөн (Зураг 6).

### **ДҮГНЭЛТ**

Хүчтэй газар хөдлөлтийн дараах элэгдэл, хувирлын явцад хагарлын ул мөр, эвдрэл цуурлууд нь аажмаар хувирч ялгаж танихад хэцүү болсон байдаг боловч ийм бүтцийг илрүүлж тодруулах, нарийвчлан судалж зураглахад орчин үеийн өндөр, дэвшилтэт техник технологийн хөгжил дэвшил нь бидэнд олон шинэ боломж бололцоонуудыг нээн гаргаж өгсөөр байна. Бидний хийж гүйцэтгэсэн Булган аймгийн Могод идэвхтэй хагарлын судалгаан дээр орчин үеийн геологи, геофизикийн судалгааны дэвшилтэт технологи болох георадарын 2D, 3D зураглал, мөн өндөр нарийвчлал бүхий GNSS систем, компьютерт суурилсан тоон боловсруулалт зэрэг олон дэвшилтэт технологиудыг

Гүний хэвтээ зүсэлтийн үр дүн болох Зураг 5 дээрээс харвал улаан тэгш өнцөгтөөр тодруулсан хэсгийн газрын гадаргууд ойр буюу 0.5м гүний зүсэлт дээр жалгын мушгирсан хэсэг нь хамгийн том байгаа бөгөөд жалгын өргөн нь ч мөн адил хамгийн том байна. Гэтэл түүнээс доош гүн рүү орсон алхам бүрт жалгын хэмжээ багасаж байгаа нь харагдаж байна. Гүний 0.6м ийн зүсэлт дээр арай нарийсаж байгаа ба 0.7 дээр илүү нарийссан бөгөөд хэмжээ нь 0.5м дээр байснаас хоёр дахин бага болсон байна Зураг 5. Тэгвэл хамгийн сүүлийн зураг дээр буюу 0.8м гүний зүсэлт дээр жалгын ул мөр бүр бага болсон бөгөөд жалга бүр нарийсаж харагдах байдал нь илүү тод болсон байна Зураг 5.

Судалгааны талбайн 3D гүний хэвтээ зүсэлтийн дараагийн үр дүн болох бас нэгэн палео-сувгийн ул мөр бол газрын гадаргууд ойр хэсэгтээ 20 гаруй метрийн өргөн байснаа гүнрүү багасаж байгаа нь тодорхой харагдаж байна Зураг 6. Энэ жалга нэлээд гүн жалга болох нь 3.7м гүний зүсэлт хүртэл үргэлжилж байгаагаас харагдаж байна Зураг 6.

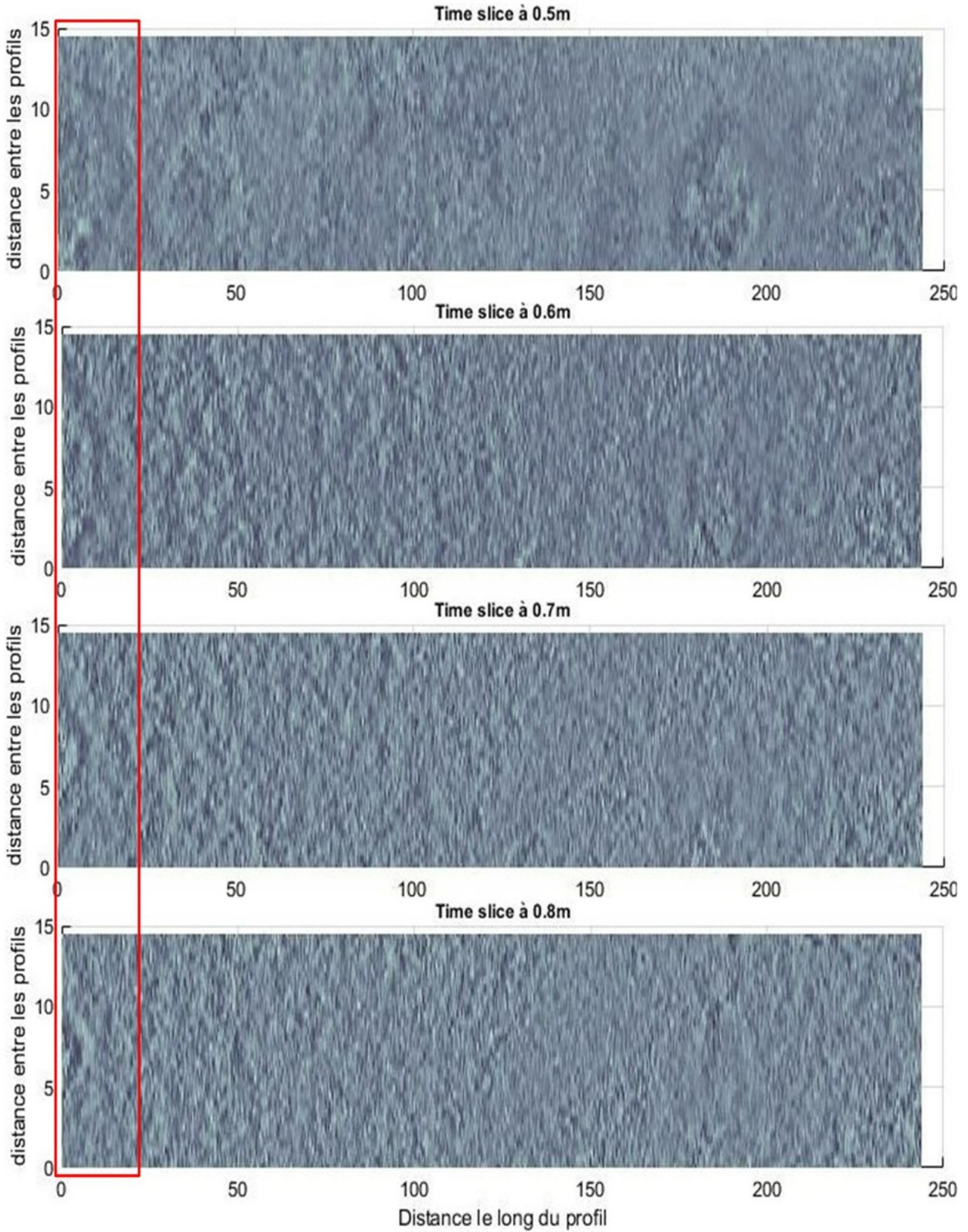
нэгтгэн ашигласан нь энэ судалгааны ажлын бас нэгэн онцлог тал юм.

Энэхүү судалгааны ажлын үр дүнд георадарын тандалт судалгаа нь идэвхтэй хагарлын параметруудийн нэг чухал хэсэг болох далдлагдлаж танигдахгүй болсон палео-сувгийн нарийвчилсан байрлалыг олж тодорхойлох, зураглахад өндөр үр дүнтэй, зардал бага, ашиглахад хялбар судалгааны арга болох нь батлагдаж байна.

Мөн түүнчлэн геологийн нас тогтоох судалгааны тренч ухах, дээж авах оновчтой байрлалыг олж, ажлаа нарийн төлөвлөж, гүйцэтгэхэд өндөр үр ашигтай болох нь 2022 онд энэ талбайд ухагдсан 3D тренчийн үр дүнгээс харагдаж байгаа юм.



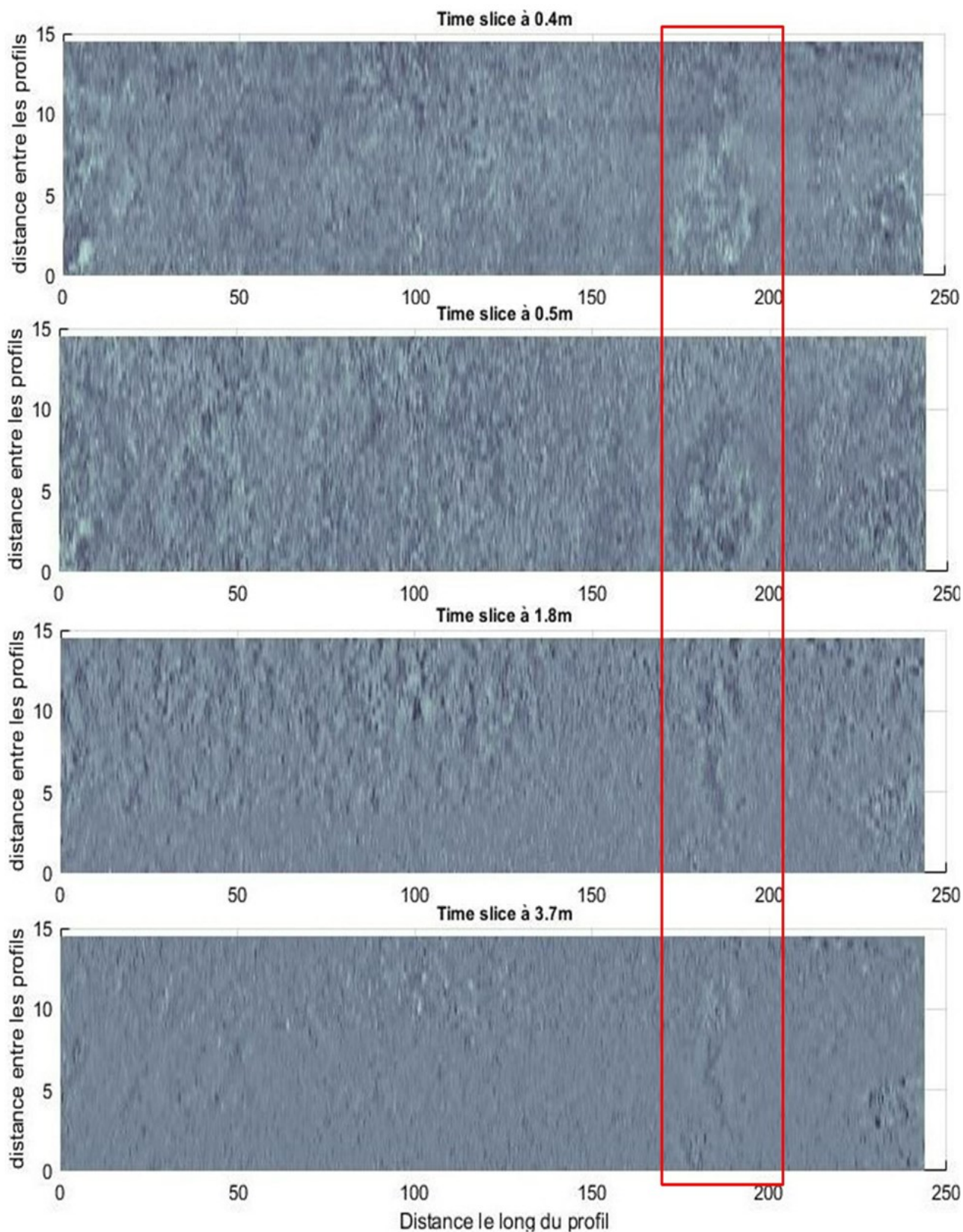
### Depth Slice (Area-2, 250MHz)



Зураг 5. Могод хагарлаар шилжсэн палео-сувгийг огтолж хийгдсэн георадарын 250МГц антены хэмжилтийн үр дүнгийн зураглал болон тайлал. Газрын гадаргуугаас 0.5м - 0.8м ийн хооронд 10см ийн алхамтай хийгдсэн гүний 4 хэвтээ зүсэлтүүд ба улаан тэгш өнцөгтгөөр нэгэн далдлагдсан жалгын мушгирсан бүтцийг заан харууллаа



### Depth Slice (Area-2, 250MHz)



Зураг 6. Могод хагарлаар шилжсэн палео-сүвгийг огтолж хийгдсэн георадарын 250МГц антены хэмжилтийн үр дүнгийн зураглал болон тайлал. Газрын гадаргуугаас 0.4м, 0.5м, 1.8м, 3.7м ийн гүний 4 хэвтээ зүсэлтүүд ба улаан тэгш өнцөгтгөөр далдлагдсан бас нэгэн жалгын бүтцийг заан харууллаа.

Түүнчлэн георадарын судалгааны аргачлал нь палеосейсмологийн шинжилгээ судалгаанд илүү өргөн дэлгэр хэрэглэгдэж, усаар угаагдаж далдлагдсан палео-сувгыг сэргээн зураглах бүрэн бололцоотой гэдгийг нотлон харуулж, уламжлалт аргаар тодорхойлсон шилжилтийн утгыг нарийвчлахад өндөр ач холбогдолтой гэдэг нь харагдаж байна.

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлын хэрийн хэмжилтийг хийж гүйцэтгэхэд манай георадарын багт цаг зав гарган туслалцаа үзүүлсэн 2021 оны Могодын идэвхтэй хагарлын геофизикийн судалгааны баг бүрэлдэхүүндээ маш их баярлаж

## НОМЗҮЙ

- Bayasgalan, A., & Jackson, J. (1999b). A re-assessment of the faulting in the 1967 Mogod earthquake in Mongolia. *Geophysical Journal International*, 138: 784-800.
- Bayasgalan, A., & Jackson, J. A. (1999). A re-assessment of the faulting in the 1967 Mogod earthquakes in Mongolia. *Geophysical Journal International* (138), 784-800.
- Beauprêtre, S., Garambois, S., Manighetti, I., Malavieille, J., Sénéchal, G., Chatton, M., . . . Romano, C. (2012). Finding the buried record of past earthquakes with GPR based palaeoseismology: a case study on the Hope fault, New Zealand. *Geophysical Journal International*, 189: 73-100.
- Cassidy, N. (2009). Theory and Applications, chapter Ground Penetrating Radar data processing, modelling, and analysis. Н. Жол-Д, *Ground Penetrating Radar Theory and Applications* (хуудсд. 141-176). Amsterdam, Netherland: Elsevier.
- Chen, W. P., & Molnar, P. (1977). Seismic moments of major earthquakes and the average rate of slip in Central Asia.

Монгол Улсын Засгийн газар “Газар хөдлөлийн гамшгийн эрсдэлийг бууруулах үндэсний хөтөлбөр”-ийн хүрээнд идэвхтэй хагарлуудын судалгаан дээр георадарын тандан судалгааны шинэ дэвшилтэд технологийг өргөн ашиглах нь судалгааны ажлын нарийвчлалыг дээшлүүлэхэд өндөр ач холбогдолтой юм.

талархсанаа илэрхийлье. Мөн Солонгос улсын Геологи Эрдэс Баялгийн Хүрээлэн болон ООГХ-ийн удирдлагууд, Шинжлэх ухаан технологийн сангийн ШУТБИХХЗГ-2022/147 төслийн бүрэлдэхүүндээ баярлаж буйгаа илэрхийлье.

*Journal of Geophysical Research.*, 82, 2945-2969.

- Davis, J. L., & Annan, A. P. (1989). Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 37: 531-551.
- Dentith, M., O'Neill, A., & Clark, D. (2010). Ground penetrating radar as a means of studying palaeofault scarps in a deeply weathered terrain, southwestern Western Australia. *Journal Applied Geophysics*, 72: 92-101.
- Dujardin, J.-R., & Bano, M. (2013). Topographic migration of GPR data: Examples from Chad and Mongolia. *Comptes Rendus Geoscience*, 345; 73-80.
- Ferry, M., Meghraoui, M., Girard, J. F., Rockwell, T. K., Kozaci, O., Akyuz, S., & Barka, A. (2004). Ground-penetrating radar investigations along the North Anatolian fault near Izmit, Turkey. *Geological Society of America*, 32: 85-88.
- Ferry, M., Schlupp, A., Ulziibat, M., Munschy, M., Fleury, S., Baatarsuren, G., . . . Ankhtsetseg, D. (2010). Tectonic Morphology of the Hustai Fault (Northern Mongolia), A Source

- of Seismic Hazard for the city of Ulaanbaatar. *EGU General Assembly*. Vienna, Austria.
- Girard, J. F. (2002). *Imagerie géoradar et modélisation des diffractions multiples*. Strasbourg: Université Louis Pasteur.
- Heincke, B., Green, A. G., van der Kruk, J., & Horstmeyer, H. (2005). Acquisition and processing strategies for 3D georadar surveying a region characterized by rugged topography. *Geophysics*, 70: K53-K61.
- Huang, J., & Chen, W. P. (1986). Source mechanisms of the Mogod earthquake sequence of 1967 and the event of 1974 July 4 in Mongolia. *Geophysics Journal International*, 84: 361-379.
- Jean-Remi, D. (2014). *Imagerie géoradar (GPR) en milieu hétérogène Application aux failles actives en Mongolie et aux dépôts pyroclastiques du Tungurahua (Equateur)*. Strasbourg, France: IPGS, UMR7516, University of Strasbourg.
- Jol, H. M. (1995). Ground-penetrating radar antennae frequencies and transmitter powers compared for penetration depth, resolution and reflection continuity. *Geophysical Prospecting*, 43: 693-709.
- Jol, H. M. (2009). *Ground Penetrating Radar Theory and Applications*. Elsevier.
- Khil'ko, S. D., Kurushin, R. A., Kochetkov, V. M., Baljinnyam, I., & Monkhoo, D. (1985). Strong earthquakes, paleoseismological and macroseismic data, in Earthquakes and the Bases of Seismogenic Zoning of Mongolia. *Nauka Trans*, 41: 19-83.
- Lehmann, F., & Green, A. G. (2000). Topographic migration of georadar data: implications for acquisition and processing. *Geophysics*, 65(3): 836-848.
- McClymont, A. F., Green, A. G., Kaiser, A., Horstmeyer, H., & Langridge, R. M. (2010). Shallow fault segmentation of the Alpine fault zone, New Zealand, revealed from 2- and 3-D GPR surveying. *Journal of Applied Geophysics*, 70(4); 343-354.
- McClymont, A. F., Green, A. G., Kaiser, A., Horstmeyer, H., & Langridge, R. M. (2010). Shallow fault segmentation of the Alpine fault zone, New Zealand, revealed from 2- and 3-D GPR surveying. *Journal Applied Geophysics*, 70(4): 343-354.
- McClymont, F. A., Green, G. A., Streich, R., Horstmeyer, H., Tronicke, J., Nobes, C. D., . . . Langridge, R. (2008). Visualization of active faults using geometric attributes of 3D GPR data: An example from the Alpine Fault Zone, New Zealand. *GEOPHYSICS*, 73(2): 1MA-Z29.
- Natsag-Yïm, L., Baljinnyam, I., & Monhoo, D. (1971). Mongolian earthquakes, in Seismic Regionalization of Ulan Bator. *Nauka*, 54-82.
- 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.
- Schlupp, A., Ferry, M., Ulziibat, M., Baatarsuren, G., Munkhsaikhan, A., Bano, M., . . . Demberel, S. (2012). Investigation of active faults near Ulaanbaatar. Implication for seismic hazard assesment. *The 9th General Assembly of Asian Seismological Commission* (хуудсд. 265-267). Ulaanbaatar, Mongolia: International scientific cooperation for prevention and mitigation seismic disaster.
- Нямбаяр, Ц., Maksim, B., Antoine, S., Өлзийбат, М., & Цээдулам, Х. (2018). Идэвхтэй хагарлын төрлийг Георадарын (GPR)-ийн тандан судалгаагаар тодорхойлсон ажлын үр дүн. *Геофизик ба Одон орон судлал*, 5: 65.

## DEPTH SLICE METHOD FOR 3D GPR MEASUREMENTS, AS AN EXAMPLE OF MOGOD ACTIVE FAULT

Nyambayar Tsend-Ayush<sup>1\*</sup>, Chimeddorj Shijee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

<sup>2</sup>*Ulaanbaatar State University, NUM*

\*Corresponding author: [nyambayar@iag.ac.mn](mailto:nyambayar@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract.** The last significant earthquake of the Mogod active fault was on January 5, 1967, and that about  $M_w=7.4$ , and since then the geomorphology has been very little smoothed by erosion processes and the location of the surface rupture associated to the fault is quite well preserved. The first GPR survey for the Mogod active fault characterization done by IAG and French research team in August 2012 to image and characterize this fault. The fall of October 2019 and according to contract KIGAM-IAG MOU, Center for Active Tectonics of the KIGAM requested that Institute of Astronomy and Geophysics carry out Ground Penetrating Radar (GPR) survey on Mogod Active Fault. The first geophysical campaign was completed in 2020 and consisted of crossed profiles to the fault line of the GPR. The GPR 2021 campaign was completed between July 22 and Aug 12, 2021, for 3D paleo-river channel survey. In that study we selected just 1 site and some good results of the GPR 3D measurements obtained along the Mogod active fault. In this research paper we present the technical specifications of the 3D paleo-river channel surveys and which GPR traces of two paleo-channels were detected by these results and interpretation.

**Keywords:** *GPR, GNSS, Strike slip fault, Paleo-channel, Mogod*



## ХӨВСГӨЛ ОРЧМЫН БҮС НУТАГ ДАХЬ ЛОКАЛ МАГНИТУД (ML) БА МОМЕНТ МАГНИТУД (MW)-ЫН ХАМААРАЛ

Д.Ганзориг<sup>1\*</sup>, М.Оюу-Эрдэнэ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: ganzorig@iag.ac.mn

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Энэхүү судалгааны ажлаар Хөвсгөл орчмын бүс нутагт 2021-2023 онуудад Үндэсний мэдээллийн төвийн анхан шатны боловсруулалтаар тодорхойлогдсон магнитуд нь 3-аас дээш хүчтэй 46 газар хөдлөлтийн хувьд локал магнитуд ML-ийг Г.Байгальмаагийн (Baigalimaа G., 2019) томъёогоор ML\_BGL-ийг тооцоолсон. Мөн P болон S долгионы шилжилтийн спектрээр газар хөдлөлтийн голомтын параметрууд болох сейсмик момент  $M_0$ , өнцөг давтамж  $f_0$ , цацаргалтын энерги (Re), голомтын хэмжээ (Rd), статик стрессийн уналт( $\Delta\sigma$ ) болон “apparent stress”-ийг тодорхойлсон. Мөн газар хөдлөлтийн голомтын судалгаанд өргөн ашиглагдаж буй момент тензор гадаргуун долгион инверсийн аргаар голомтын механизм, голомтын гүн, момент магнитуд Mw -г тодорхойлсон. Момент магнитуд Mw-г спектр анализ Mw(ss), момент тензор гадаргуун долгионы инверс Mw(mt) гэсэн 2 аргаар тодорхойлж харьцуулалтыг хийсэн. Эдгээр аргыг ашиглан тооцсон үр дүнгээр Хөвсгөл орчмын ML-BGL болон сейсмик момент  $M_0$ , момент магнитуд Mw-ын хамаарлыг тус тус гаргасан.

*Түлхүүр үг:* Магнитуд, Сейсмик момент, Момент магнитуд, Сейсм долгион

### ОРШИЛ

Газар хөдлөлтийн хүч болох магнитуд нь газар хөдлөлтийн үндсэн хэмжигдэхүүнүүдийн нэг бөгөөд сейсмологийн ихэнх голомтын судалгаанд үндсэн суурь параметр болдог. 1935 онд АНУ-ын сейсмологич Рихтер ойрын зайн газар хөдлөлтийн магнитуд  $M_L$  -ын ерөнхий томъёоллыг анх тооцоолсон байдаг (Richter C.F, 1935).

Манай орны хувьд ойрын зайн газар хөдлөлтийн магнитудын буюу локал магнитудыг 2001 онд М.Өлзийбат, 1994-2000 онд ажиллаж байсан тоон бичлэгтэй станцуудын мэдээллийг ашиглан, дараах байдлаар тооцоолсон байдаг (Ulziibat M., 2001).

$$M_L = \log \frac{A}{r} + 0.816 * \log \Delta + 0.00045 * \Delta - 1.22 \quad (1)$$

Дээрх томъёоллыг газар хөдлөлтийн Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-ийн өдөр тутмын мэдээлэл боловсруулалтад одоо ашиглаж байна. Бид энэхүү

судалгааны ажлаар Хөвсгөл орчмын бүс нутгийн хувьд локал магнитуд  $M_L$ , сейсмик момент  $M_0$  болон момент магнитуд  $M_w$ -тай хэрхэн хамааралтай байгааг гаргахыг зорьсон. Энэхүү харьцуулалтыг хийхдээ 2019 онд Г.Байгальмаагийн гаргасан (Baigalimaа G., 2019) ойрын зайн магнитудын томъёоллоор  $M_L$  -ийг дахин тооцсон ба өмнөх судлаачийн гаргасан томъёололтой харьцуулахад орчин үеийн тоон бичлэгтэй станцуудад бичигдсэн мэдээллийг ашиглан Монгол орны нутаг дэвсгэрт бүртгэгдэж буй газар хөдлөлтийн сейсм долгионы замхралтыг тооцож гаргасан нь уг судалгааны ажилд сонгож авах гол үндэслэл болсон юм.

## СУДАЛГААНЫ АРГАЗУЙ

### Локал магнитуд- $M_L$

Рихтер ойрын зайн газар хөдлөлтийн магнитуд  $M_L$ -ын ерөнхий томъёог анх тооцоолсон. Ингэхдээ Wood-Anderson (Richter C.F, 1935) (WA)-ын сейсмометр буюу 0.8 секундийн үетэй, 2800 дахин өсгөдөг багажийг ашигласан бөгөөд энэ нь сүүлийн үеийн өндөр мэдрэмжийн багажуудын хувьд магнитуд тодорхойлох багажийн үндсэн стандарт болдог. Рихтер (Richter C.F, 1935) (Richter C.F., 1958) ойрын газар хөдлөлтийн хүч  $M_L$  –ийг доорх томъёогоор тооцсон.

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10} A_0 + S \quad (2)$$

Энд  $A$ – нь тухайн станцад бүртгэгдсэн хамгийн их амплитуд (мм),  $-\log A_0$  – нь зайнаас хамаарсан коррекцын функц,  $S$ – нь станцын коррекц буюу засвар (орчны нөлөөлөл). Рихтерийн тооцоолсноор Wood-Anderson – ны стандарт сейсмограммын хувьд 100 км-ийн зайнд болсон газар хөдлөлтийн магнитуд  $M_L=3$  гэж тооцсон.

2005, 2013 онуудад Дэлхийн дотоод орчны физик, газар хөдлөлт судлалын олон улсын холбоо орчин үеийн тоон бичлэгтэй сейсмометрийн хувьд АНУ-ын өмнөд Калифорни бүс нутгийн царцдасын замхралтай ижил төстэй шинж чанартай бол локал магнитудыг тодорхойлохдоо дараах тэгшитгэлийг хэрэглэхийг санал болгосон (IASPEI, 2013)

$$M_L = \log_{10}(A) + 1.11 * \log_{10}(R) + 0.00189 * R - 2.09 \quad (3)$$

Энд:  $A$ –г Wood-Anderson (WA) -ний сейсмограммуу хөрвүүлж хэвтээ тэнхлэг

### АШИГЛАСАН МЭДЭЭЛЭЛ

2021 оны 1 дүгээр сарын 12-нд Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын төвөөс баруун урагш 30 км-ийн зайд Хөвсгөл нуурын баруун хойд эрэг болох Долоон-Уулын бүс нутагт  $M_L$  6.5-тай ( $h \sim 7-10$  км,  $I_0=7-8$ ) хүчтэй газар хөдлөлт болсон (Ад.Мөнхсайхан, 2021). Энэхүү газар хөдлөлтийн дараа болсон магнитуд нь 3.5-

дээрх  $S$  долгионы хамгийн их амплитуд (нм),  $R$  (км) гипоцентрийн зай 1000 км -ээс дотогш.

2019 онд Г.Байгальмаа нь (Baigalimaa G., 2019) 2012-2019 оны хооронд, магнитуд нь 3.5-аас дээш хүчтэй, эпицентрийн зай нь 3-1000 км хүртэлх зайд 147 станцад (ООГХ-ийн харьяа өргөн зурвасын 35, хамтын ажиллагааны хүрээнд суурилуулсан HD, HV, AT станцууд) бүртгэгдсэн 268 газар хөдлөлтийн мэдээлэл дээр тулгуурлан Монгол орны нутаг дэвсгэрт бүртгэгдэж буй газар хөдлөлтийн сейсм долгионы замхралтыг тооцож локал магнитуд  $M_L$ -ийг нарийвчлан тодорхойлсон

$$M_{L-BGL} = \log_{10}(A) + 1.0084 * \log_{10}(R) + 0.0011 * R - 1.81 \quad (4)$$

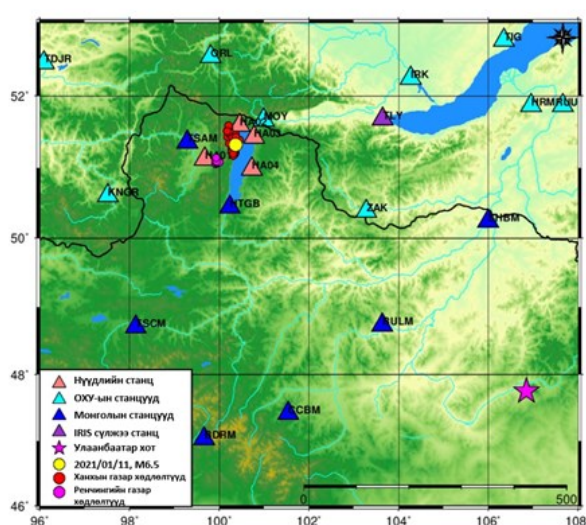
### Момент магнитуд- $M_w$

Газар хөдлөлтийг бүртгэх өргөн зурвасын станцуудад бичигдсэн магнитуд нь 3-аас дээш газар хөдлөлтүүдийг “Moment Tensor of Surface wave” инверс программ ашиглан газар хөдлөлтийн голомтын параметрууд болох голомтын азимутал өнцөг, налуугийн өнцөг, өнцөг шилжилт, голомтын гүн, момент магнитуд болон сейсмик моментыг тодорхойлсон (Michael L Jost, 1989).  $P$  эсвэл  $S$  долгионы шилжилтийн спектрээр газар хөдлөлтийн голомтын параметруудийг “Source\_Spec” код ашиглан (сейсмик момент, өнцөг давтамж, цацаргалтын энерги, голомтын хэмжээ, статик стрессийн уналт болон “apparent stress”) (Brune, 1970) (Satriano, 2016) тооцож гаргасан.

аас дээш хүчтэй газар хөдлөлтүүдээс газар хөдлөлтийн төв сайн тодорхойлогдсон 33 давталт газар хөдлөлт, 2022 оны сүүлээр дээрх хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтоос баруун урагш 35 км-ийн зайд Ренчинлхүмбэ сумын Өлийн голын хөндийд 2021 оны 11 дүгээр сараас 2023 оны 3 дугаар сар хүртэлх хугацаанд

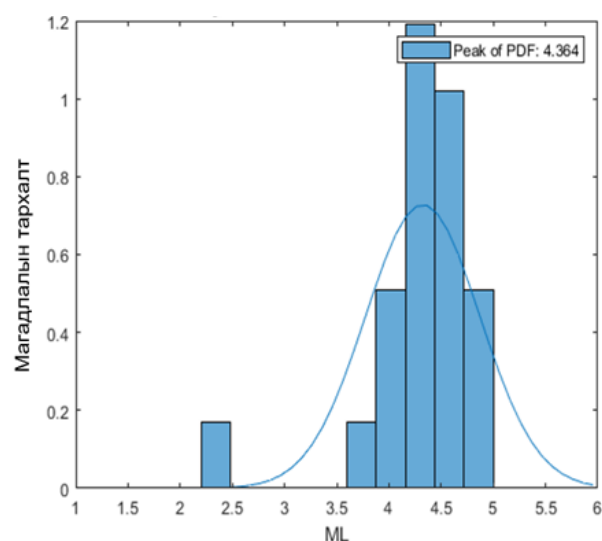
магнитуд нь 3-аас дээш хүчтэй 13 газар хөдлөлтийг энэхүү судалгааны ажилд сонгож авсан. Сонгож авсан 46 газар хөдлөлтийн хувьд Монголын газар хөдлөлт бүртгэх бүх станцуудад бүртгэгдсэн ч тухайн 2 голомтын хувьд Монголын станцуудын байрлал зүүн өмнөд хэсгээр байрласан тул газар хөдлөлтийн төвийг нарийвчлалтай тодорхойлох зорилгоор хойд хэсгээр байрлах олон улсын IRIS-ийн сүлжээ TLY станц, ОХУ-ын станцын мэдээллийг нэгтгэж ашигласан. Судалгаанд сонгож

Газар хөдлөлт тус бүрийн хувьд магнитудыг станц бүр дээр хэмжсэн үе, амплитуд болон тухайн станцын зайг ашиглан томъёо 4-өөр  $M_L$ -ийг станц бүрийн хувьд тооцож магадлалын нягтралын тархалтын функц (PDF) -ээр газар хөдлөлтийн дундаж магнитудыг тооцоолсон. Жишээ болгон ҮМТ-ийн мэдээллийн сангийн 1315251 дугаар бүхий газар хөдлөлт (2022.12.06,  $M_L$ 4.3, 51.08, 99.94)-ийн магнитудыг тооцсон үр дүнг харуулав (Зураг 2).



Зураг 1.  $M_L > 3$  газар хөдлөлтийн төвийн тархалт болон голомтын зай 400 км хүртэлх зайд байрлаж буй станцуудын байршил

авсан газар хөдлөлтүүдийн төвөөс эргэн тойронд байрлах 400 км-ээс ихгүй зайн дахь газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станцуудад бүртгэгдсэн эзлэхүүн долгион (Pg, Sg) буюу нэгэн төрлийн орчноор тархсан долгион сонгож авсан. Магнитуд нь 3-аас дээш хүчтэй газар хөдлөлүүлийн төвийн тархалт болон голомтын зай 400 километр хүртэлх зайд байрлах станцуудын байршлыг Зураг 1-т, харуулав.

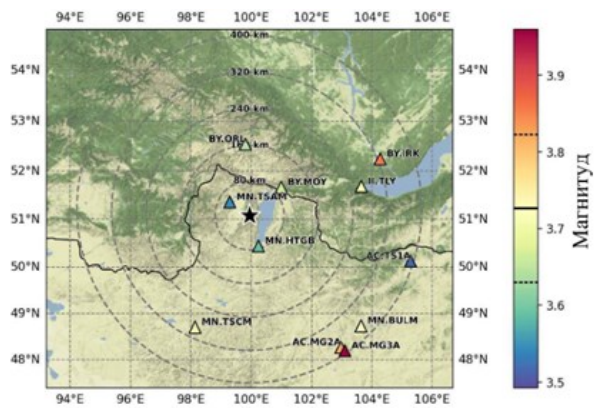


Зураг 2.  $M_L$  магнитудын магадлалын нягтралын (PDF) -ийн тархалтын функц.

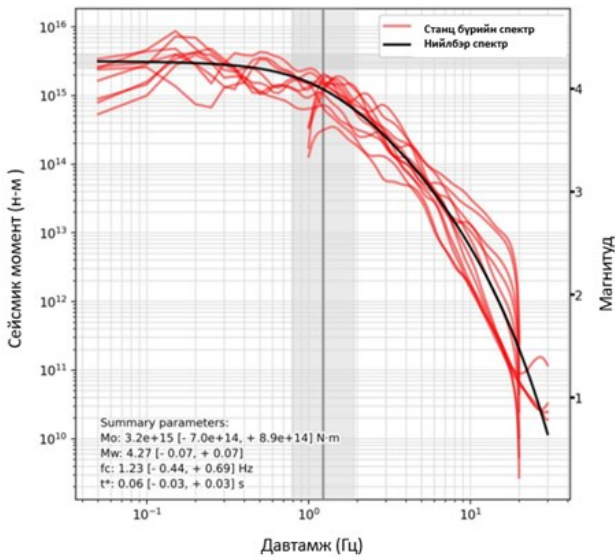
$$PDF_{peak} = M_{L_{average}}$$

ГОЛОМТЫН СПЕКТРАЛ АНАЛИЗ

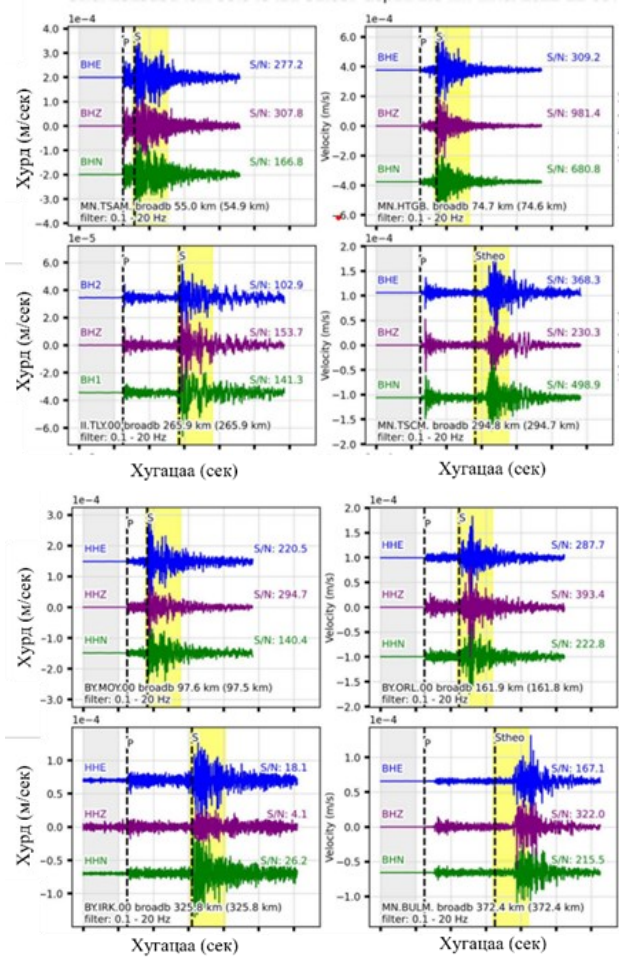
Нийт газар хөдлөлтүүдийн хувьд голомтоос 400 км-ийн зайд байгаа станцуудын 3 байгуулагч тус бүр дээр P болон S долгионы спектрал анализын аргаар момент магнитуд  $M_w$ -ийг тооцсон. Жишээ болгон дээрх 1315251 газар хөдлөлтийн S долгионы шилжилтийн спектрал аргаар сейсмик момент, өнцөг давтамж, цацаргалтын энерги, голомтын хэмжээ, статик стрессийн уналт болон “apparent stress”) тооцож гаргасан үр дүнг Зураг 3-аас Зураг 5 -аар харуулав.



Зураг 3. Голомтын спектрал анализад ашигласан станцуудын байрлал



Зураг 4 1315251 газар хөдлөлтийн S долгионы нийлбэр спектр

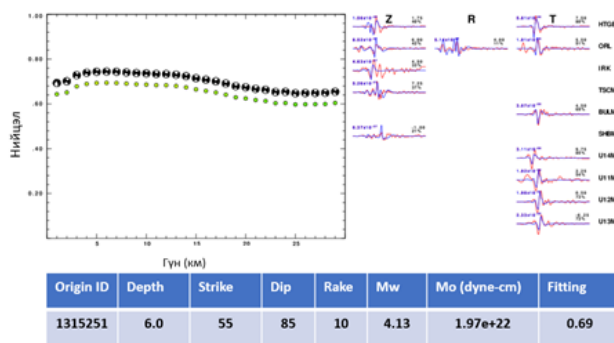


Зураг 5. 1315251 газар хөдлөлтийн хувьд станцуудад бүртгэгдсэн S долгионы хугацааны интервал



### ГАДАРГУУН ДОЛГИОНЫ ИНВЕРС

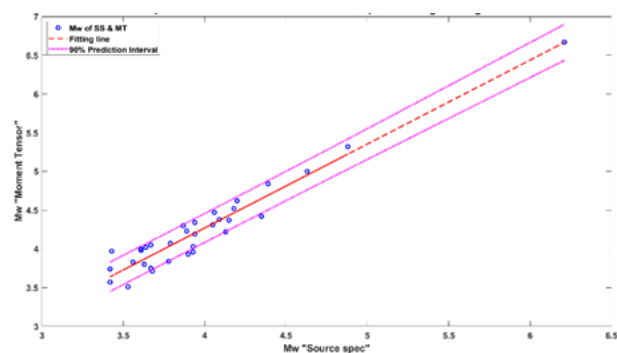
Хөвсгөлийн хүчтэй газар хөдлөлтийн давталт газар хөдлөлтүүд болон Өлийн гол орчимд болсон газар хөдлөлтийн голомтын параметруудийг МТ инверс аргыг ашиглан тодорхойлсон. Зураг 6-т жишээгээр 1315251 газар хөдлөлтийн голомтын механизм болон голомтын параметруудийг тодорхойлсон үр дүнг харуулав.



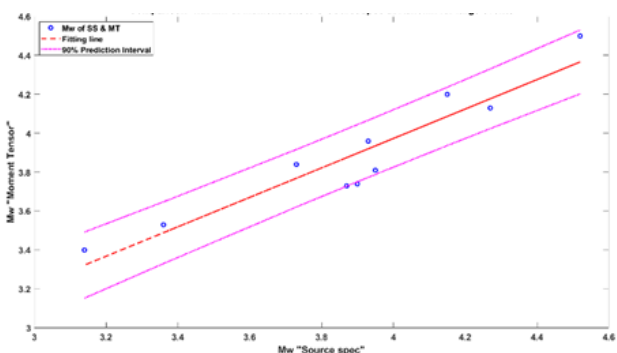
Зураг 6. 1315251 газар хөдлөлтийн хувьд МТ инверс аргыг ашиглан голомтын параметруудийг тодорхойлсон үр дүн

### ҮР ДҮН

Хөвсгөл нуур болон Ренчинлхүмбийн газар хөдлөлтүүдийг голомтын спектрал анализын арга болон гадаргуун долгионы инверсийн арга тус бүрээр момент магнитуд  $M_w$ -ийг тооцоолж харьцуулалтыг хийсэн.



Зураг 7. Хөвсгөл орчмын момент магнитуд  $M_w$



Зураг 8. Ренчин орчмын момент магнитуд  $M_w$ -ийн хамаарал

Зураг 7 болон Зураг 8 -аас харахад сонгож авсан 2 бүсийн хувьд 2 аргаар тодорхойлсон момент магнитуд  $M_w$ -ууд нь харьцангуй шугаман хамааралтай ба 2 арга тус бүрийн бүрийн хувьд  $M_w$  нь нэгэн утгыг үзүүлж байна.

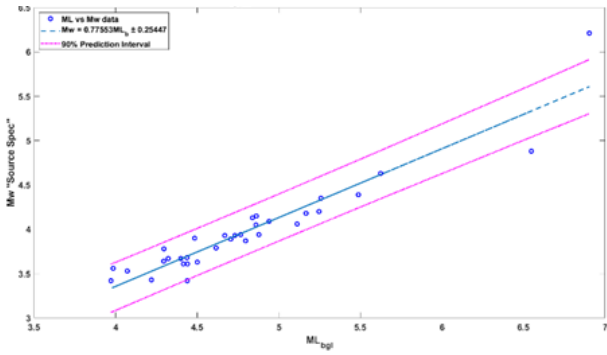
Бид тухайн бүс нутгуудад тооцоолсон  $M_w$ -г локал магнитуд  $M_{L-BGL}$  -ийн хоорондын хамаарлыг тус бүсийн хувьд гаргасан (Dipok K. Bora., 2016) (Зураг 9, Зураг 10). Тооцооллын үр дүнгээр Хөвсгөлийн бүсийн хувьд:

$$M_w = 0.77 M_{L-BGL} \pm 0.25$$

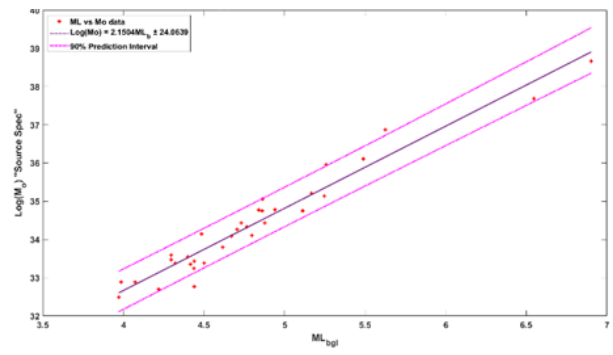
Ренчингийн бүсийн хувьд:

$$M_w = 0.69 M_{L-BGL} \pm 1.02$$

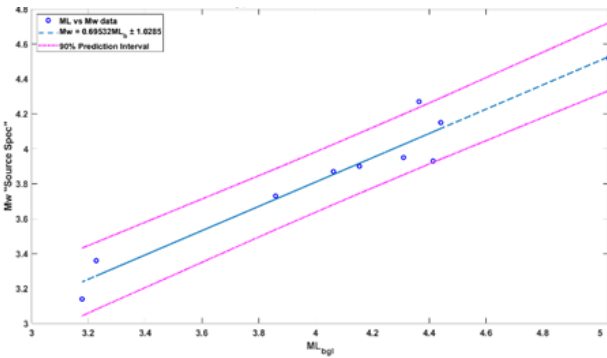
Бүс нутгийн хувьд  $M_L$  болон момент магнитуд  $M_w$ ,  $M_L$  болон сейсмик момент  $M_0$ -ийн хоорондын хамаарлыг тооцож гаргах нь бүс нутгийн тектоникийн судалгаа, газар хөдлөлийн аюулын үнэлгээний судалгаанд чухал ач холбогдолтой юм.



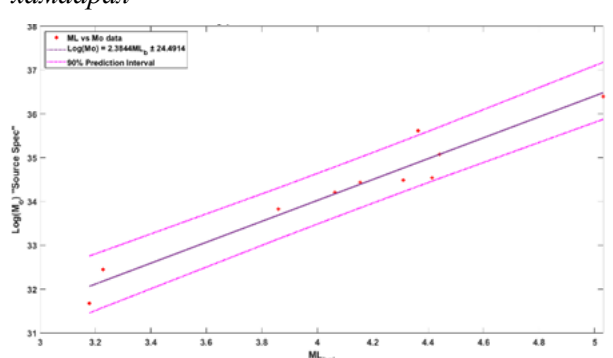
Зураг 9. Хөвсгөл орчмын локал магнитуд  $M_L$  ба момент магнитуд  $M_w$ -ийн хоорондын хамаарал



Зураг 11. Хөвсгөл орчмын локал магнитуд  $M_L$  ба сейсмик момент  $M_0$ -ийн хоорондын хамаарал



Зураг 10. Ренчин орчмын локал магнитуд  $M_L$  ба момент магнитуд  $M_w$ -ийн хоорондын хамаарал



Зураг 12. Ренчин орчмын локал магнитуд  $M_L$  ба сейсмик момент  $M_0$ -ийн хоорондын хамаарал

Тухайн бүс нутгийн хувьд ойрын зайн газар хөдлөлтийн  $M_L$  болон сейсмик момент  $M_0$ -ын хоорондын хамаарлыг голомт тус бүр дээр гаргасан Зураг 11, Зураг 12. Дээрх үр дүнгээс харахад:

Хөвсгөлийн бүсийн хувьд:

$$\log M_0 = 2.15M_{L\_BGL} + 24.06$$

Ренчингийн бүсийн хувьд:

$$\log M_0 = 2.38M_{L\_BGL} + 24.49$$

## ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/145) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно. Судалгааны ажилд дэмжлэг үзүүлэн хамтран ажилласан ШУА-ийн ООГХ-ийн

## НОМЗҮЙ

Baigalimaа G. (2019). Grant of IAG Director, IAG, MAS.

Brune, J. (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. J. Geophys. Res., 75

захиргаа болон Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархсанаа илэрхийлье.

(26), 4997–5009.

Dipok K. Bora. (2016). “Scaling relations of moment magnitude, local magnitude, and duration magnitude for earthquakes originated in northeast

- India". *Earthq Sci*, 153–164.
- IASPEI, I. A. (2013). Recommendation.
- Michael L Jost, R. H. (1989). A Student's Guide to and Review of Moment Tensor. *Seismological Research Letters*.
- Richter C.F. (1935). An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seis. Soc. Am.*, 25, 1-31.
- Richter C.F. (1958). *Elementary Seismology*, Freeman, W.H, San Francisco., 578.
- Satriano, C. M. (2016). Spectral estimation of seismic moment, corner frequency and radiated energy for earthquakes in the Lesser Antilles. In *AGU Fall Meeting Abstracts*, S13A-2518.
- Ulziibat M. (2001). Annual report of Department of Seismology, RCAG, MAS. Ulaanbaatar.
- А.Д.Мөнхсайхан, Л. Д.-Э.-Э. (2021). ХАНХЫН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТ (2021/01/11 21:32:56 UTC, ML6.5). *Геофизик ба Одон орон сэтгүүл*, 58-67.

## SCALING RELATIONS OF LOCAL MAGNITUDE ( $M_L$ ) AND MOMENT MAGNITUDE ( $M_W$ ) FOR KHUVSGUL REGION

Ganzorig Davaasuren<sup>1\*</sup>, Oyun-Erdene Monkhor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences*

\*Corresponding author: [ganzorig@iag.ac.mn](mailto:ganzorig@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract:** In this study, we compared the scaling between the local magnitude ( $M_L$ ) and moment magnitude ( $M_W$ ), local magnitude ( $M_L$ ), and seismic moment ( $M_0$ ), for 46 large earthquakes in Northern Mongolia close to the border of Russia. We used various techniques to estimate the source parameter and size of the large earthquakes in this study area. First, is moment tensor calculation, a mathematical description of the seismic source. Using the parameters of the velocity model and seismic wave propagation code, synthetic seismograms are made to fit the observations. The moment tensor can define the possible fault planes and the numerical value of the size of the earthquakes ( $M_0$ ) that can derive  $M_W$ . Therefore, we used the SourceSpec application tools to compute earthquake source parameters (seismic moment, corner frequency, radiated energy, source size, stress drop) from the inversion of P-wave (or S-wave) displacement spectra recorded at one or more seismic stations.

**Keywords:** *Magnitude, Seismic moment, Moment magnitude, Seismic wave*

## УЛААНБААТАР ХОТ ДАХЬ БАРИЛГАЖИХ ТАЛБАЙН ГАЗАР ХӨДЛӨЛИЙН АЮУЛЫН ТООЦОО

Ц.Батсайхан<sup>\*1</sup>, Г.Болдбаатар<sup>1</sup>, А.Нармандах<sup>1</sup>, В.И.Джурик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ШУА-ООГХ-Газар хөдлөл судлалын салбар

<sup>2</sup>ОХУ-СС-Дэлхийн царцдасын хүрээлэн

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [batsaikhan@iag.ac.mn](mailto:batsaikhan@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 04

**Хураангуй.** Оршин суугчдын тоо 1,4 саяд хүрсэн Улаанбаатар хот нь Монгол Улсын нийгэм эдийн засгийн төв юм. Болзошгүй хүчтэй газар хөдлөлтөөр ажиглагдах хөрсний хэлбэлзлийг зөв тооцоолох нь олон мянган хүний амь нас, барилга байгууламжийг эрсдлээс хамгаалахаас гадна эдийн засгийн ач холбогдолтой юм. 2021-2023 онд Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт шинээр барилгажих зарим барилгын талбайд хийж гүйцэтгэсэн геофизикийн хэмжилт, инженер-геологийн судалгааны тайлангийн мэдээлэл, хөрсний оргил хурдатгалын (ХОХ) өсгөлтийн итгэлцүүр дээр үндэслэж болзошгүй хүчтэй газар хөдлөлтөөр газрын гадаргууд ажиглагдах хэлбэлзлийн далайцыг тодорхойлсон.

**Түлхүүр үг:** Газар хөдлөлийн аюулын эрсдэл, хурдатгал, хувийн хэлбэлзэл, чичирхийлэл хайгуул, хөндлөн долгионы хурд

### ОРШИЛ

Монгол Улсын нутаг дэвсгэр нь Төв Азийн газар хөдлөлийн идэвхтэй бүсэд оршдог (И.Балжинням, 1975).

Судалгааны талбайн хөрсний бүтэц тогтоц, усны түвшин, төрөл бүрийн хөрсөөр тархах хөндлөн долгионы хурд, сэвсгэр хөрсний зузаан, хадан хөрсөнд ажиглагдах оргил хурдатгал зэрэг мэдээлэл дээр тулгуурлаж газар хөдлөлийн аюулын

түвшинг шууд болон тооцооллын аргаар гарган авдаг.

Энэхүү судалгааны ажлыг БСШУЯ-ны санхүүжүүлсэн “Монгол-Байгалын бүс нутаг: сейсмогеодинамик ба газар хөдлөлийн нөлөөлөл” 2526 тоот төслийн хүрээнд хийж гүйцэтгэсэн.

### СУДАЛГАА

Инженер геолог, геофизикийн судалгааны мэдээллийн санг бүрдүүлэн сейсмик хатын тооцооллын аргаар Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт газар хөдлөлийн аюулыг 2012 оноос өмнө үнэлж байсан (Джурик В.И., 2001; Ц.Батсайхан, Инженерно-геофизическая оценка сейсмической опасности грунтов территории г.Улаанбаатар, 2006).

2012 оноос газар хөдлөлийн аюулыг магадлалт үнэлгээний аргаар тооцох мэдээллийн сан бүрдсэн (Dugarmaa, 2000; М., 2016).

Сэвсгэр хөрсөөр тархах сейсмик

долгионы хурдыг 24 сувагт чичирхийлэл хайгуулын McSeis SX24, хөрсний зонхилох давтамжийг газар хөдлөл бүртгэх өргөн зурваст Guralp CMG-3ESPC багажуудын хэмжилтээр тодорхойлон авсан.

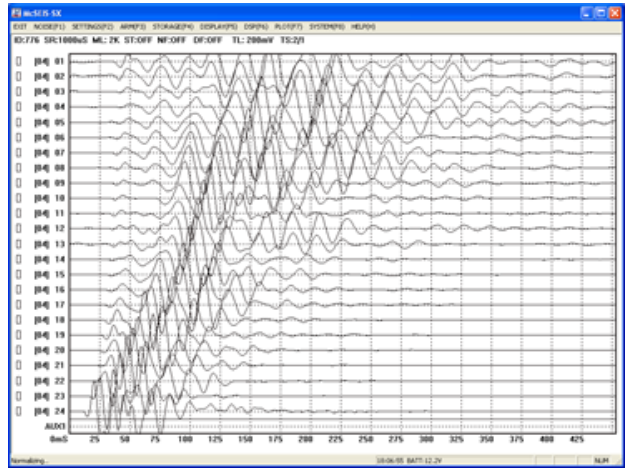
Талбай тус бүр дээр McSeis 24 сувагт чичирхийлэл хайгуулын багажийн хэмжилтийг шулуун шугамын дагуу геофон хоорондын 2 м зайнд, цохилт хоорондын 8 м зайнд хийж гүйцэтгэсэн. Баянзүрх дүүргийн 1-р хорооны нутаг дэвсгэрт хийгдсэн хэмжилтийн ерөнхий зураглал, 1, 13 ба 24-р сувгийн цэг дээрх



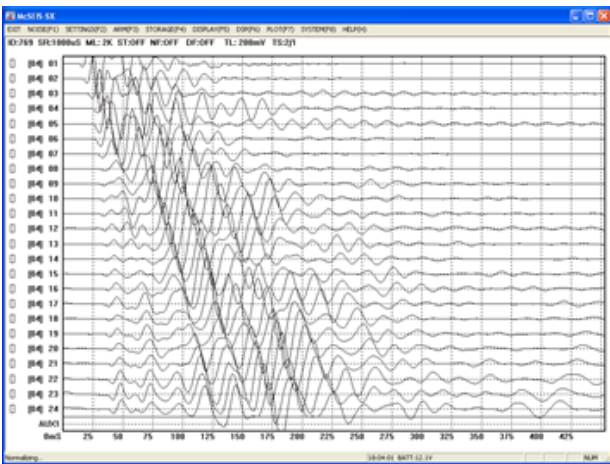
цохилтыг хүлээн авсан бичлэгийг Зураг 1-т үзүүлэв.



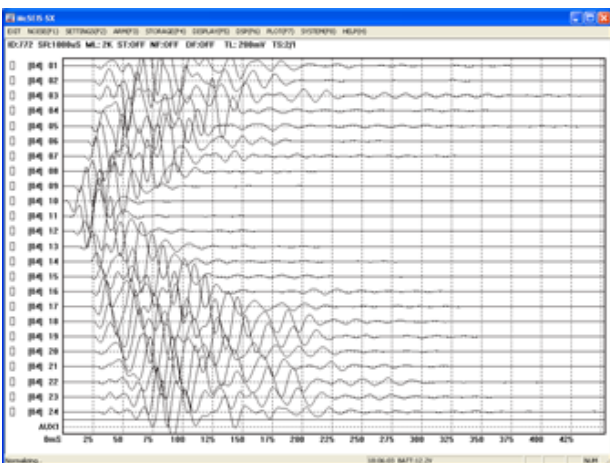
Зураг 1. OYO McSeis SX24 багажийн хэмжилтийн бэлтгэл ажил



Зураг 4. 24-р цэг дээрх цохилтын бичлэг

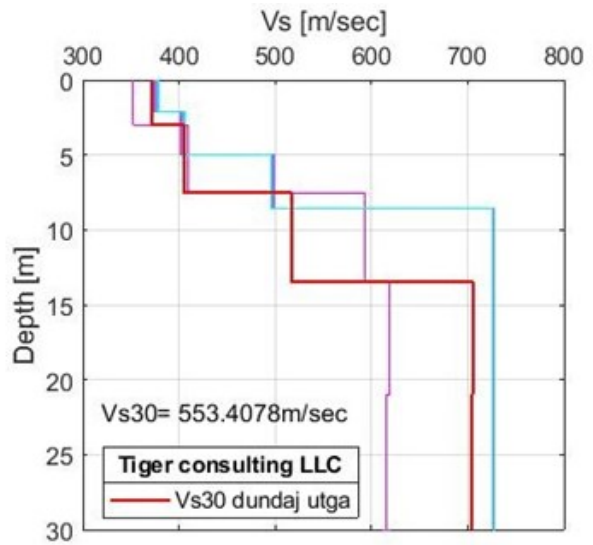


Зураг 2. 1-р цэг дээрх цохилтын бичлэг



Зураг 3. 13-р цэг дээрх цохилтын бичлэг

30 м зузаан өнгөн гадаргуйн хөрсөнд тархах S-долгионы хурдыг SurfaceWave программын бодолтыг гүйцэтгэж үе давхаргаар тодорхойлон (Зураг 5), дундаж Vs30 хурдыг 553 м/с гэж тооцоолсон.



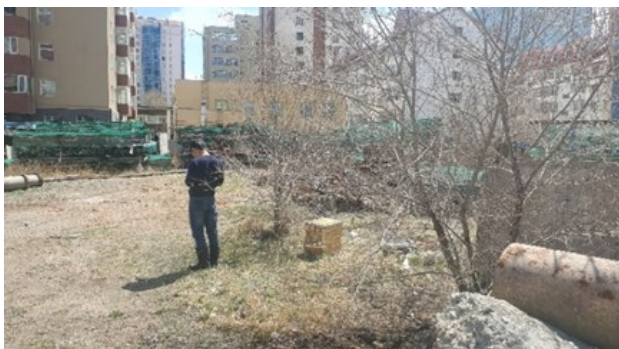
Зураг 5. Сейсмикийн S-долгионы хурдны үзэлтийн зураг

Барилгын талбай бүрд өргөн зурваст GuralpCMG-3ESPC багажаар 2 цагийн хугацаанд хийгдсэн хөрсний хэлбэлзлийг бичиж авсан (Зураг 6, Зураг 7).

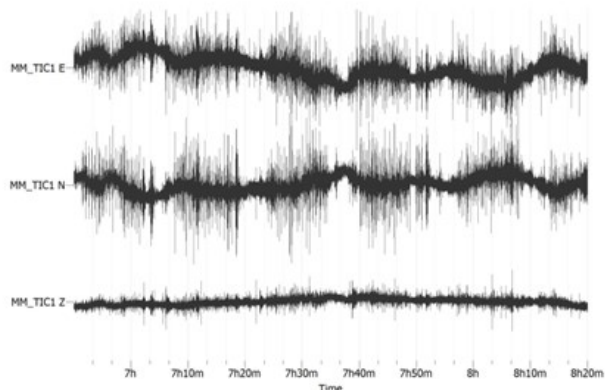


Зураг 6. Хөрсний чичирхийлэл бүртгэх станц

Станцын харьцангуй бага шуугиантай үеийн 3 сувгийн бичлэгийг Зураг 8-д харуулав.

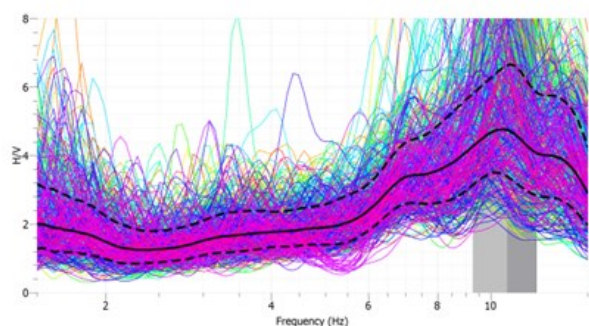


Зураг 7. Станц тавилт



Зураг 8. Станцын 3 сувгийн бичлэгийн хэсэг

Станцын Z,N,S байгуулагчийн хамгийн бага шуугиантай үеийн далайц-давтамжийн спектрыг давтамж бүр дээр харьцуулан Зураг 9-д үзүүлэв.



Зураг 9. Давтамж бүр дээрх N/V харьцааны график

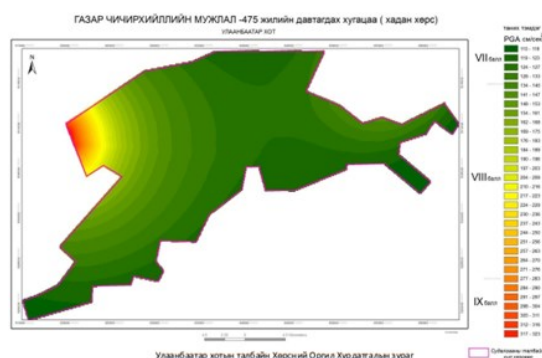
Тухайн барилгын талбайн хөрсний хэлбэлзлийн зонхилох давтамж 10.7 Гц-ийн зурвас дээр байгааг Зураг 9-өөс харж болно.

Газар хөдлөлийн аюулын үнэлгээний магадлалт үнэлгээний арга

“Улаанбаатар хот болон Налайх, Багануур, Багахангай дүүргүүдийн 1:10000 масштабтай газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураг хийх” зөвлөх үйлчилгээний гэрээт ажлыг Барилга хот, байгуулалтын Яамны захиалгаар 2012-2015 оны хооронд ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн судалгааны баг хийж гүйцэтгэсэн.

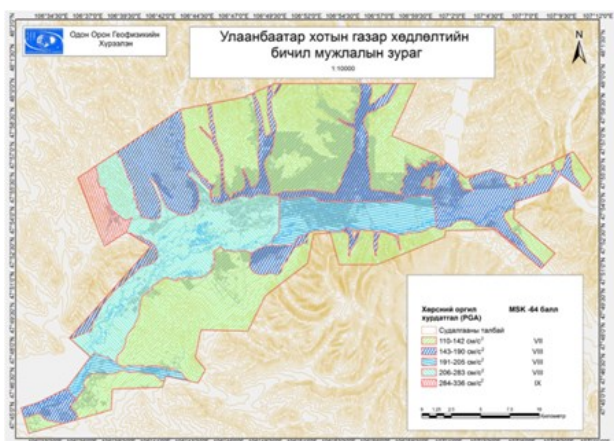
Магадлалт үнэлгээгээр хүчтэй газар хөдлөлт нь Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт VII, VIII, IX баллаар мэдрэгдэхээр байна (Ч.Одонбаатар, 2015). Олон орны барилгын норм болон дүрмээр бичил мужлалын тооцоонд дахин давтагдах хугацааг 475 жилээр авч ашигладаг. Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт 475 жилийн давтагдах хугацаанд Хадан хөрсний оргил хурдатгалын хэмжээг 110-323 м/с<sup>2</sup> хооронд байгааг шаталбартайгаар газрын зураг дээр үзүүлсэн (Зураг 10). Газар хөдлөлийн аюулын бичил мужлалын зураг дээр Хөрсний оргил хурдатгалын хэмжээг MSK-64 шаталбарын VII баллын: 110-142 см/с<sup>2</sup>, VIII баллын: 143-190, 191-205, 206-283 см/с<sup>2</sup>, IX баллын: 284-336 см/с<sup>2</sup> мужид хуваан бүсчилж өнгөөр ялган (Зураг 11) тус тус үзүүлэв (Ч.Одонбаатар, 2015).

Онолын болон Олон улсын барилгын инженерийн холбооноос гаргасан ХОХ-ын өсгөлт тооцоолох аргачлалын дагуу хийсэн тооцоог хүснэгтээр үзүүлэв (Хүснэгт 1), (Ч.Одонбаатар, 2015).



Зураг 10. Улаанбаатар хотын 475 жилийн давтагдах хугацааны Хадан хөрсний оргил хурдатгалын газрын зураг (Ч.Одонбаатар, 2015)





Зураг 11. Улаанбаатар хотын газар хөдлөлтийн бичил мужлалын зураг (Ч.Одонбаатар, 2015)

*Барилгын талбайн хөрсний оргил хурдатгалын тооцоо*

2021-2023 онд газар хөдлөлийн аюулын нарийвчилсан тооцоог нийт 28 байршлын дагуу (Зураг 12) хийж гүйцэтгэсэн. Судлагдсан барилгажих талбайн байршил, эцэслэн гаргасан тоон мэдээлэл, үр дүнг Хавсралт Хүснэгт 2-т тоймлон эмхэтгэсэн.

*Хүснэгт 1. Давтамжийн бүс бүрийн хувьд тооцоолсон ХОХ-ын өсгөлт (Ч.Одонбаатар, 2015)*

	1-4 Гц туул голын хөндий	1-4 неоген бүс	4-7 Гц бүс	7-10 Гц бүс
Олон улсын барилгын код	1.4-1.6	1.2	1.2	1
Онолын тооцоолол	1.4-1.9	1.4-1.6	1.4-1.7	1.1
Эцсийн тооцооны утга	1.6	1.4	1.5	1.1

**ДҮГНЭЛТ**

Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт шинээр баригдах өндөр барилгын нийт 28 талбайд газар хөдлөлийн аюулын нарийвчилсан тооцоог хийж мэдээллийн сан бүрдүүдсэн. 27 талбайн судалгааны үр дүн бичил мужлалын зурагтай 100% нийцэж байна.

Улаанбаатар хотын нутаг дэвсгэрт ажиглагдах хүчтэй газар хөдлөлтийн магадлалын тооцооноос судалгааны талбайд 50 жилийн хугацаанд тооцоолсноос илүү хүчтэй газар хөдлөлт болох магадлал 10%-аас хэтрэхгүй.

Судалгааны үр дүнгээс онцолбол Баянзүрх дүүргийн 1-р хорооны “Эс Энд Ви Юу” ХХК-ийн барилгын талбайд (Хүснэгт 2-н 2-р талбай) болзошгүй хүчтэй газар хөдлөлтөөр хөрсөн дээр ажиглагдах оргил хурдатгал  $139.7 \text{ см/с}^2$  буюу MSK-64 шаталбараар VII баллын бүсэд хамрагдаж бичил мужлалын зургаас ялгарсан байгаа ч уг талбай VIIба VIII баллын бүсийн хил зааг орчмын 100 метрийн бүсэд, VIII баллын  $143 \text{ см/с}^2$  доод заагтай маш ойр хэмжээнд байна. 8 метрийн гүнд сейсмик S-долгионы хурд огцом өсөж  $850 \text{ м/с}$  хэмжээнд хүрсэн, хөрсний зонхилох давтамж 11 Гц-ийн орчим давтамжтай байгаа (Ц.Батсайхан., 2023) нь инженер геологийн судалгааны тайланд 8-9 м зузаан сэвсэр хөрсний доор доод карбоны настай үндсэн чулуулаг – занар байгаатай нийцэж байна (А.Батсайхан, 2014).

Хөрсний оргил хурдатгал, зонхилох давтамжийн мэдээллийг газар хөдлөлийн аюул, гамшгийн үнэлгээний судалгаа, тооцоонд ашиглах боломжтой.

## НОМ ЗҮЙ

- Demberel, S. B. (<https://doi.org/10.3103/S0747923911040025>, 2011). Paleoseismology deformations around ulan bator according . *Seism. Instr.*, 47, 314–320, .
- Dugarmaa, T. a. (2000). *One century of seismicity in Mongolia map (1900–2000)*. Ulaanbaatar: RCAG.
- М., А. (2016). Seismic activity near Ulaanbaatar: Implication for seismic hazard assessment, Ph.D. thesis, L'Institut Terre et Environnement de Strasbourg (previously: *Institut de Physique du Globe de Strasbourg*), 256 pp.
- А.Батсайхан. (2014). *Баянзүрх дүүргийн нэг дүгээр хорооны нутагт барихаар төлөвлөж буй “River view” хотхон*. Улаанбаатар хот: Сойл Трейд ХХК. Архив Но:2014/055.
- Джурик В.И., Д. Т. (2001). Вопросы оценки сейсмического риска для Улаанбаатара и его окрестностей. *Geophysics & astronome*, 47-59.
- И.Балжинням, А. Б. (1975). *Монголын газар хөдлөхүй*. Улаанбаатар.
- Ц.Батсайхан. (2006). Инженерно-геофизическая оценка сейсмической опасности грунтов территории г.Улаанбаатар. Иркутск: Институт Земной коры.
- Ц.Батсайхан. (2023). *Улаанбаатар хотын Баянзүрх дүүргийн 1-р хорооны нутаг дэвсгэрт баригдах Эс энд Ви Юу хотхон*. Улаанбаатар: ООГХ.
- Ч.Одонбаатар. (2015). “Улаанбаатар хот болон Налайх, Багануур, Багахангай дүүргүүдийн 1:10000 масштабтай газар”. Улаанбаатар, ООГХ.

## CALCULATION OF SEISMIC HAZARD IN ULAANBAATAR CITY CONSTRUCTION SITE

Batsaikhan Tserenpil<sup>1\*</sup>, Boldbaatar Ganbaatar<sup>1</sup>, Narmandakh Adyasuren<sup>1</sup>, Dzhurik V.I<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Institute of Earth Crust of Siberian Branch Russian Academy of Sciences

\*Corresponding author: [batsaikhan@iag.ac.mn](mailto:batsaikhan@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 04 December 2023

**Abstract:** The city of Ulaanbaatar with a population of 1.4 million people is the socio-economic center of Mongolia. Correct calculation of ground vibrations in the event of a possible strong earthquake will not only protect thousands of lives, building and structures from seismic risk, but also has economic significance. In 2021-2023, based on geophysical measurements, data from geotechnical studies and coefficients of increase the peak ground acceleration (PGA), the maximum values of acceleration on the ground surface were determined at some new construction sites in the city of Ulaanbaatar.

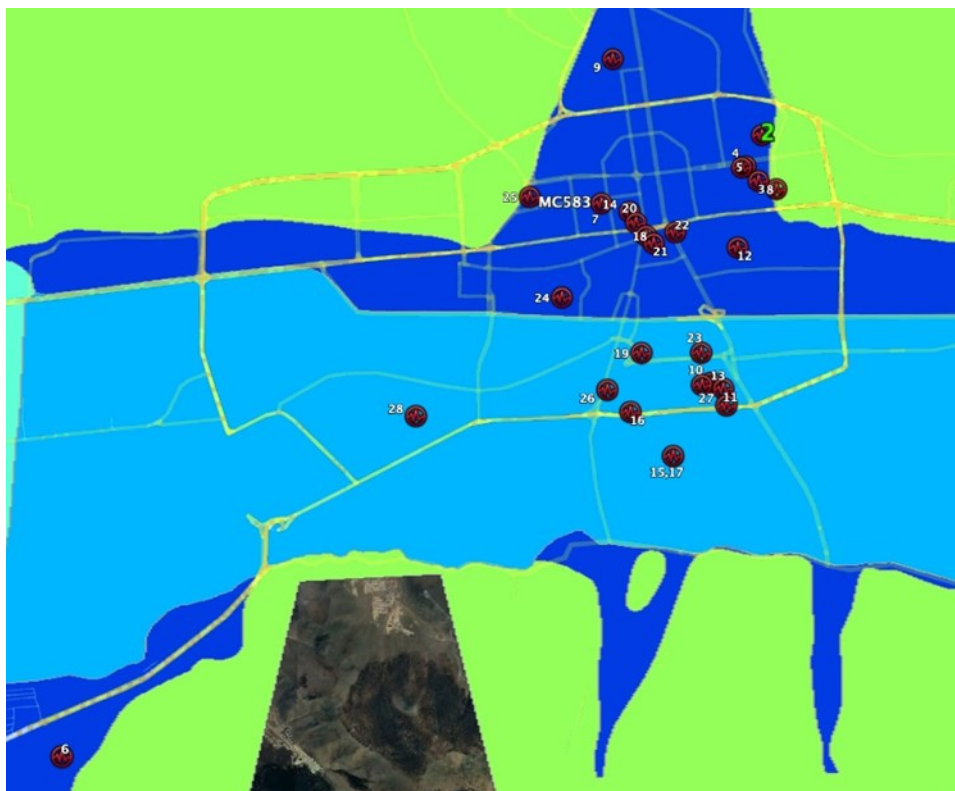
**Keywords:** Seismic hazard, Acceleration, vibration, Seismic survey, S wave velocity



ХАВСРАЛТ

Хүснэгт 2. Өндөр барилгын барилгын судлагдсан талбайн мэдээлэл

д/д	Байршил, хаяг	Vs30, м/с	Зонхилох давтамж, Гц	Оргил хурдатгал хад, см/с <sup>2</sup>	Өсгөлт	ХОХ, см/с <sup>2</sup>
1	ХУД 10 хороо, “Мандах Тауэр” ХХК	>745	8.7-9.3	124-127	1.1	139.7
2	БЗД 1 хороо, “Эс Энд Ви Юу” ХХК	>667	13.6	124-127	1.1	139.7
3	БЗД 1 хороо, “Тайм Консалтинг” ХХК	>553	10.7	119-123	1.2	147.6
4	СБД 8 хороо “Этүгэн” их сургууль	>400	6.6	119-123	1.2	147.6
5	СБД 8 хороо "СН трэйд" ХХК	>400	8.0	119-123	1.2	147.6
6	ХУД 4 хороо, “Хүчит Шонхор” ХХК	>450	1-4	119-123	1.4	172.2
7	ЧД 1 хороо, “Од театр” ХХК	>581	3.6	124-127	1.4	177.8
8	БЗД 1 хороо, “Вишин Девелопмент” ХХК	>456	1.0	124-127	1.4	177.8
9	ЧД 9 хороо "Грин финанс" ХХК	>450	1.0	119-123	1.5	184.5
10	ХУД 15 хороо, “Таймскүэр Девелопмент” ХХК	>470	3.3	119-123	1.5	184.5
11	ХУД 15 хороо, “Эм-Си-Эс” ХХК	>485	3.6	119-123	1.5	184.5
12	СБД 1 хороо, “Алтернатив клин энерги” ХХК	>398	5.6	119-123	1.5	184.5
13	ХУД 15 хороо, “Фор сийз гарден” ХХК	>414	4.4	119-123	1.5	184.5
14	ЧД 1 хороо, “Их Монгол товер” ХХК	>630	5.1	124-127	1.5	186.0
15	ХУД 17 хороо, “Нью капитал” ХХК	>390	1.4	110-118	1.6	188.8
16	ХУД 15 хороо, “Тайм Констракшн” ХХК	>531	3.2	110-118	1.6	188.8
17	ХУД 17 хороо, “Биг тауер констракшн” ХХК	>390	1.4	110-118	1.6	188.8
18	СБД 1 хороо Баттрейд Си ХХК	>543	4.7	124-127	1.5	190.5
19	ХУД 15 хороо, “Мөнх-Сан” ХХК	>417	4.7	124-127	1.5	190.5
20	СБД 1 хороо "Эко тауэр" барилга	>474	5.4	124-127	1.5	190.5
21	СБД 1 хороо "Марко Поло" ХХК	>520	4-6	124-127	1.5	190.5
22	СБД 1 хороо "П.Гэндэнгийн сан"	>518	4.8	124-127	1.5	190.5
23	ХУД 15 хороо, “Суруга Трейдинг” ХХК	>456	4.2	124-127	1.5	190.5
24	СБД 3 хороо, “Нарны зам Энканто” төсөл	>346	5.1	124-127	1.5	190.5
25	ЧД 2 хороо, “Даяр өндөр” ХХК	>360	4-8	124-127	1.5	191
26	ХУД 15 хороо, “Өөжин” ХХК	>487	3.7	119-123	1.6	196.8



Зураг 12. Өндөр барилгын 28 талбайн байршлын бүдүүвч зураг. Ногоон өнгөөр VII, цэнхэр, хөх өнгөөр VIII балын талбайг тус тус тэмдэглэсэн.

## ЦЭНХЭРИЙН ХАЛУУН РАШААНЫ БҮСЭД ХИЙСЭН ГРАВИМЕТРИЙН СУДАЛГАА

Б.Буянтогтох<sup>1\*</sup>, Э.Батмагнай<sup>2</sup>, М.Дорждаваа<sup>1</sup>, Х.Ундармаа<sup>3</sup>, Э.Батням<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Газар хөдлөл салбар

<sup>2</sup> ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Соронзон судлалын салбар

<sup>3</sup> ШУТИС, ГУУС

\*Зохиогчийн цахим хаяг: [buyantogtokh@iag.ac.mn](mailto:buyantogtokh@iag.ac.mn)

Өгүүллийг хүлээж авсан: 2023 оны 12 дугаар сарын 10

**Хураангуй.** Бид халуун рашааны бүс нутгийн литологийн өөрчлөлтийг ойлгох геологийн зурагтай нэгтгэн тайлал хийх зорилгоор 2020 онд Архангайн аймгийн Цэнхэр сум дахь Цэнхэр, Гялгар Бор тал халуун рашааны бүс нутагт гравиметрийн хэмжилт хийсэн. Бүртгэн авсан хүндийн хүчний хурдатгалын утгад засварууд хийж Буге гажлыг ялган авсан. Уг судалгааны үр дүнд гарган авсан Буге гажлын зураг нь литологи ба геологийн тогтцын хил хязгаарыг сайтар илэрхийлж чадсан. Буге гажлын сөрөг утга халуун рашаануудын гадарга дээрх илрэлд ойрхон ажиглагдаж буйг бид ус агуулагч хөндий орчин буюу агуйтай холбон тайлбарласан. Цаашид Цэнхэрийн талбайд нарийвчилсан гравиметрийн судалгаа хийснээр орчны чулуулаг, ус агуулагч резервоарын шинж чанарыг нарийвчлан ойлгох боломжтой.

**Түлхүүр үг:** Гравиметрийн судалгаа, Буге гажил, Дайк, геотермаль энерги, геотермийн систем

### УДИРТГАЛ

Геотермаль энерги бол нэгэн төрлийн сэргээгдэх эрчим хүчний үүсгүүр юм (Rohit, 2023). Дэлхийн бохирдлыг бууруулах, ногоон энергийн шилжилттэй уялдан геотермаль энергийн эрэл хайгуул ба түүний хэрэглээг эрчимжүүлэх шаардлагатай болохыг 2017 оны Парисын хэлэлцээрээр баталсан байдаг (Brundtland, et al., 2012). Ихэвчлэн галт уулын гаралтай геотермаль систем бүхий бүс нутгуудад тухайн энергийн хэрэглээ илүү түлхүү хөгжсөн байдаг. Гэсэн хэдий ч (Younger, 2014) галт уулын бус бүс нутгийн халуун рашаанд суурилсан геотермаль энергийн нөөцийн зүй тогтлыг ойлгох нь шинжлэх ухааны өндөр ач холбогдолтой гэж үзсэн. Иймд галт уулын бус идэвхтэй тектоник хавтангийн захаас хол Монгол оронд хэд хэдэн халуун рашаанууд оршин байдаг нь геотермаль энергийн өндөр нөөцтэй байх боломжтой юм.

Халуун рашаануудын температурын хувьд авч үзвэл (Tseesuren, 2001) манай орны геотермаль систем нь бага-дунд температурын геотермаль системд ангилагдана.

Сүүлийн үеийн судалгааны ажлуудаар бага температур бүхий геотермийн системүүдийн хувьд резервоарын температур нь 125 бага байх бөгөөд дунд температур бүхий геотермийн хувьд 125-225°C температуртай байх ёстой гэж үзэх болсон (Jolie, et al., 2021). Ер нь бага болон дунд температурын геотермийн систем үүсэх үндсэн нөхцөл бол дунджаас өндөр дулааны урсгал мөн өндөр нэвчилт бүхий геологийн тогтоц бүхий орчин бөгөөд энэ нь гүнээс дулааны энергийг зөөвөрлөхөд маш чухал үүрэг гүйцэтгэдэг.

Эдгээр далд геотермийн системүүдийн нөөц нь дээд царцдасын магмын дулааны үүсгүүрээр бус хагарлын үйлчлэлээр зохицуулагдах тул Дэлхий дээр

маш ихээр орших магадлалтай. Ихэнх бага ба дунд температурын геотермийн системийн судалгаа нь түүний гарал үүслийг бүрэн тодорхойлох илрүүлэх хайгуулаас эхэлдэг бөгөөд АНУ-ын баруун хэсэгт орших Их хотгорт уг төрлийн системүүдийг хайх байгалийн гарал үүслийг ойлгох зарим судалгааны ажлууд хийгдсэн байдаг (Peacock & Siler, 2021).

Мөн Швейцарын Гримсель давааны бүсэд хийсэн судалгаагаар өндөр ус нэвчүүлэх чадвартай хагарал нь өндөр гидравлик градиент бүхий шингэний 9-10 км-ийн гүнд хүртэл эргэлдүүлэх боломжийг олгох, энд уулархаг газрын геоморфологи нь гүний шингэний эргэлтийг дэмждэг болохыг тогтоосон (Diamond, Wanner, & Waber, 2018).

Өнөөдөр тогтоогдсон хамгийн өндөр температур бүхий температурын градиент нь Альпийн хагарлын бүсийн дагуу орших Шинэ Зеландын ороген бүсийн геотермийн системүүд юм. Энд хур тундасын ус топографикаар удирдуулан хөдлөх бөгөөд  $125\pm 55^\circ\text{C}/\text{км}$  хүртэлх температурын градиент бүхий орчноор халж хагарлуудын хөндлөн огтлолоор дамжин гадаргад

## СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ

### *Геологи*

Цэнхэрийн халуун рашаан Архангай аймгийн Цэнхэр сумын нутагт Цэцэрлэг хотоос зүүн урагш 25 км, Халууны голын өмнөд модтой өндөрлөгийн налуу хажууд, далайн түвшнээс 1721 м зайд байрлана.

Судалгааны талбайн дунд хэсэг, Цэнхэр голын хойд өндөрлөгүүдэд пермийн хожуу цаг үеийн Ширдэг формацийн жижиг, дунд ширхэгтэй элсэн чулуу, аргиллит, алевролит, конгломерат, гравелитийн ээлжлэн дараалсан үелэл, төмөр, мангааны хувиралтай, брахисинклиналь структуртэй, девон, карбоны том хэмхдэст чулуулаг дээр үл нийцлэгээр байрлана.

Карбоны Жаргалант формаци дунд, том ширхэгт элсэн чулуу, гравелит, конгломератаас бүрэлдэн тогтох ба баруун,

хүрдэг байна (Sutherland, et al., 2017). Дунд-бага температурын геотермийн системийн ажиллах механизмын талаар дээрх тайлбарууд нь гадаргын геологи ба геохимийн судалгааны үр дүнгээр тодорхойлогдсон (Jolie, et al., 2021). Харин геотермаль усны цикл явагдах бүс нутгийн гүний зураглалын ажил нь геофизикийн судалгааны ажлын нэгэн даалгавар юм.

Геофизикийн магнетотеллурикийн арга нь геотермаль энергийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг нэгэн арга бөгөөд 2019-2020 онд Архангай аймгийн Цэнхэрийн халуун рашааны бүс нутагт бүрэн судалгаа хийгдсэн.

Энэ судалгааны ажлын хүрээнд бид 2020 онд Цэнхэрийн талбайн 3 хэсэгт гравиметрийн судалгааг халуун рашааны байрлалын зүй тогтлыг ойлгох, халуун рашаан хооронд тогтцын хувьд холбоотой болохыг илрүүлэх зорилгоор хийсэн.

Энэ өгүүлэлд судалгааны ажлын үр дүнд гарган авсан Буге гажлын зураглалыг орчны геологийн зураглалтай нэгтгэн тайлбарласан нь геотермийн системийг ойлгох зарим ерөнхий мэдлэг олж авсан.

зүүн суналын дагуу 400 харилцан өөд өөдөөсөө налж унасан синклиналь маягийн структур үүсгэсэн бол Цэнхэрийн голын өмнөд хэсэгт тархсан корбоны хурдас мөн синклиналь структуртэй зураглагдана.

Девоны дунд цаг үеийн Цэцэрлэг формаци хар саарал, бараан өнгийн элсэн чулуу, алевролитаас бүрдэх ба чулуулаг нийлмэл микроатриат антиклиналь структуртэй байна (Зураг 1).

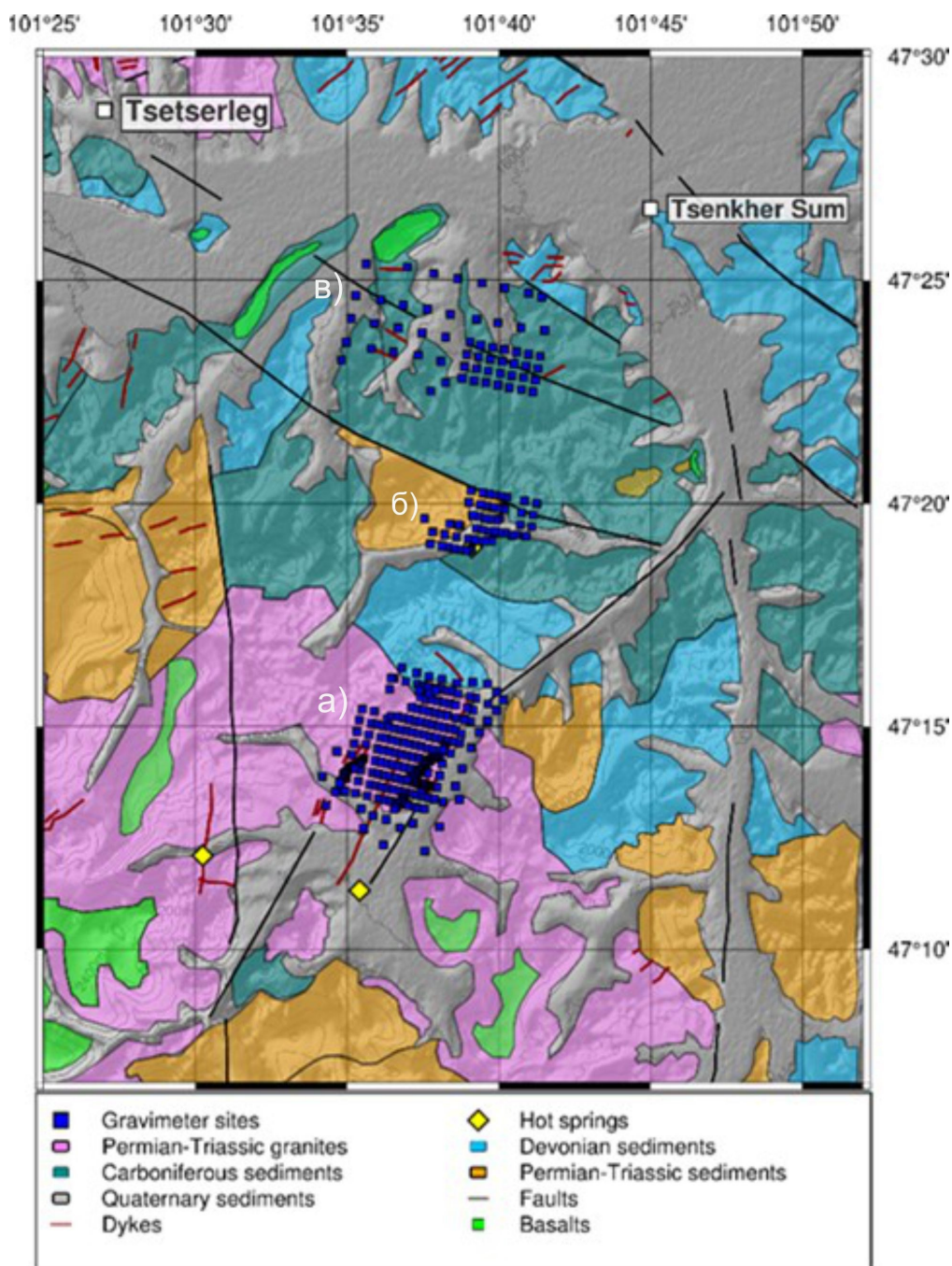
Талбайн баруун өмнөд өнцөг Ханан уул, түүний зэргэлдээ нутгаар пермийн дунд цаг үеийн Хангай бүрдлийн дунд, том мөхлөгтэй биотит, биотит-эвэр хуурмагтай боржин, боржин-порфир, кварцтай диорит, боржин-диорит тархсан байна. Чулуулгууд боржин-диоритын дэл судлаар зүсэгдэнэ. Девоны дунд цаг үеийн Цэцэрлэг формацийн хар саарал, бараан өнгийн



элсэн чулуу, алевролит, кварцын нарийн судал, линзээр зүсэгдсэн, хагарал, ан цав, бутралын бүстэй.

Цэнхэрийн халуун рашааны орчим карбоны эхэн цаг үеийн Жаргалантын формацийн элсэн чулуу-алевролит голчлон тархсан, халуун рашаан карбоны эхэн цаг үеийн жижиг ширхэгтэй алевролит, элсэн чулуу хагарал, ан цавшилд эрчимтэй автагдаж, брекчлэгдсэн, цахиурлаг

чулуулгийн ан цаваар ундардаг. Рашааны ундарга болон ойр орчмын чулуулагт кварцжих, аргиллитжих хувирал ажиглагдана. Рашааны ундарга орчимд мөлгөржөөгүй хэмхдэс чулуулгууд элсэн чулуу, занарлаг чулуу хаяа жижиг мөхлөгтэй боржин байна. Рашааны ундарга дээр хэмхдэс чулуулгууд жижгэрч, карбонатлаг эрдэс буюу травертинаар бүрхэгдсэн байдал харагдана.



Зураг 1. Гравиметрийн хэмжилтийн цэгүүд, УГЗ-200 геологийн зураг (хялбарчилсан)

### *Геохими*

Халуун усны бүх дээжид цахиурын исэл 66.0-77.0% агуулагдах бөгөөд давамгайлж байна. Харин хөнгөн цагааны оксид 14.0-17.0%, калийн оксид 4.0-5.0%, төмрийн оксид 1.0-6.0%, кальцийн оксид 1.0%, натрийн оксид 3.0-4.0%, магнийн оксид 1.0-2.0% хүртэл тус тус агуулагдаж байна. Чулуулагт агуулагдаж буй макро элементүүдийн агуулга нь эрдсийн найрлагаас шууд хамааралтай бөгөөд  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  зэрэг элементүүд зонхилж байгаа нь тухайн чулуулаг кварц ( $\text{SiO}_2$ ), альбит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), хээрийн жонш ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), доломит ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), кальцит, арагонит ( $\text{CaCO}_3$ ) зэрэг анхдагч эрдсүүдийг

агуулсан байх боломжтой.

Гидрогеологийн хувьд Рашаан ундарч байгаа газрын геоморфологи, хотгор, гүдгэрийн хэв шинжийн хувьд дунд зэргийн хэрчигдэлтэй, эгц налуу хажуутай, дунд зэргийн өндөртэй, шинэс, хус модон ойгоор бүрхэгдсэн уулс хоорондын голын хөндий газар бөгөөд рашаан нь уулын ар хормойгоос ундарч байна.

Геологийн нөхцөлийн хувьд Пермийн настай алевролит, аргиллит, дунд-дээд Девоны настай занар, элсэн чулуу, гравелит зэрэг чулуулаг тархсан байна.

Гидрогеологийн нөхцөлийн хувьд үндсэн чулуулаг дахь ан цав, судлын ус юм. Рашаан нь эх ундарга нь цэгэн төрх шинжтэй, ундармал рашаан юм.

## **ГРАВИМЕТРИЙН ХЭМЖИЛТ БА ӨГӨГДӨЛ**

ШУА-ын Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн судалгааны баг 2020 оны 9-р сарын 10-наас 10-р сарын 2-ны хооронд Цэнхэрийн геотермаль бүсэд хүндийн хүчний судалгааг хийж гүйцэтгэсэн. Гравиметрийн хэмжилтийг Scintrex CG-5 гравиметр багажаар хийсэн ба цэгийн өндрийг Trimble GPS 5700 ашиглан тодорхойлсон.

Талбайд хэмжээнд гравиметрийн хэмжилтийг өмнөд (а) дунд (б) болон хойд (в) талын дэд талбайнуудад хийсэн. Мөн тухайн дэд талбайнуудад соронзонгийн хэмжилт хийгдсэн.

Хээрийн ажлын үр дүнд Цэнхэрийн газрын гүний дулааны бүсийн гурван хэсэгт орших 378 физик цэгт хүндийн хүчний утгыг тодорхойлсон. Зураг 1-т хүндийн хүчний хэмжилтийн цэгүүдийн байршлыг үзүүлэв. Хэмжилтийн явцад бүх цэгүүдийг Цэцэрлэгт байрлах Улсын гравиметрийн сүлжээний нэгдүгээр ангийн тулгуур цэгтэй (№0012) холбосон.

Өмнөд (а) талбайд хүндийн хүчний хурдатгалыг 250 м-ийн зайтай 267 цэгт хэмжсэн. Цаашилбал, хагарлын дагуу ба

геологийн контактын бүсүүдэд 50 м-ийн зайтай бага алхамтай торлол үүсгэн хэмжсэн ба дунд (б) талбай нь 250 м-ийн зайтай 53 цэгээс бүрдэх ба ажиглалтын цэгүүд гол төлөв Цэнхэрийн халуун рашаантай хөндийн дагуу тархсан байв.

Хойд талбайд (в) хүндийн хүчний хурдатгалыг 250-500 м-ийн зайтай 58 цэгт хэмжсэн. Бүгд гажлыг утгыг тооцоолохын тулд хүндийн хүчний стандарт засварын аргуудыг дараах байдлаар ашигласан. Өргөргийн засвар нь дэлхийн геоид хэлбэр ба эргэлтийн улмаас бий болох хүндийн хүчний нөлөөг багасгахын тулд хийгдсэн.

Өндрийн болон бусад засварт олон улсын хүндийн хүчний томъёо (IGF67) нь чөлөөт агаар ба төгсгөлөг хавтангийн загварын ажиглалтын талбайн эргэн тойрон дахь топографаас үүдэлтэй массын нөлөөллийг багасгасан.

Цэг тус бүрээс 2 - 167 км орчим зай дахь региональ засварыг ASTER 1.5 нуман секундний, дижитал загвар ашиглан тооцоолсон.

## ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

### Буге гажлын зураг

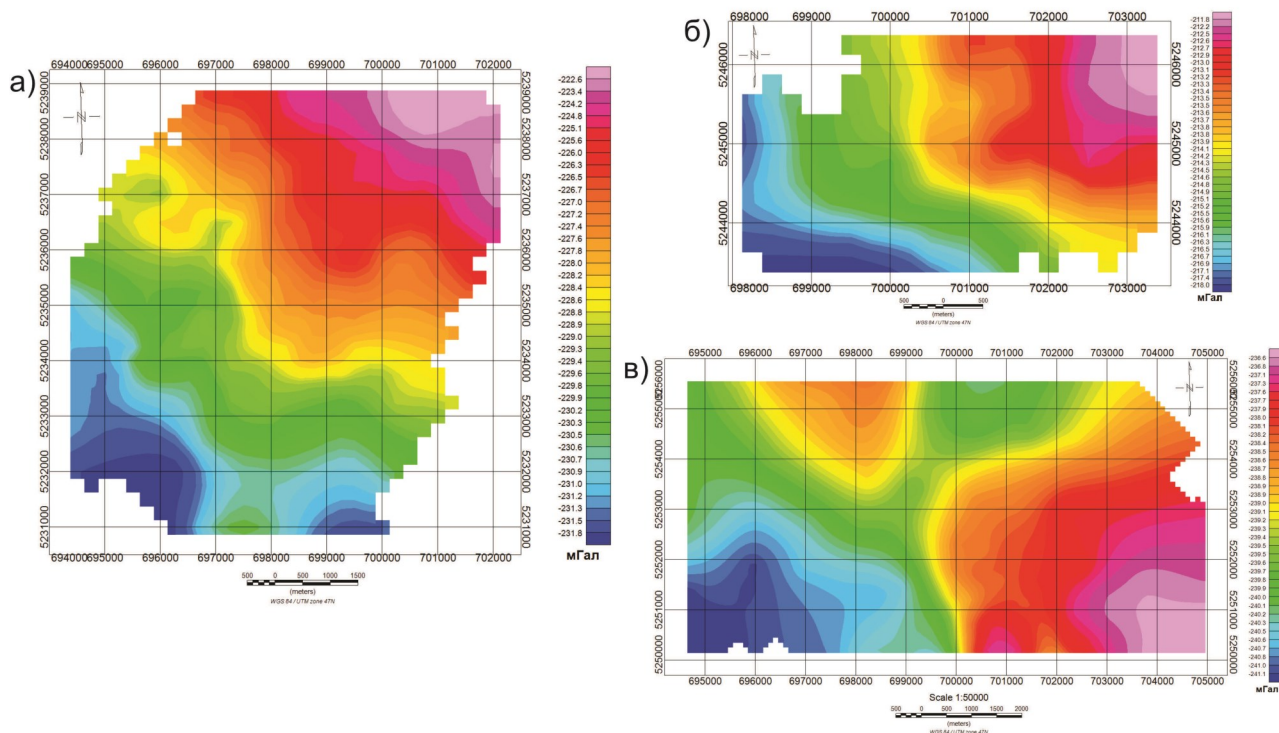
Цэнхэрийн талбайд хэмжсэн гравиметрийн хэмжилтийн утгад өмнөх хэсэгт дурдсан стандарт засваруудыг хийж талбай тус бүрийн хүндийн хүчний зургийг гарган (Зураг 2). Хүндийн хүчний Буге гажлын утга нь гурван талбайн хувьд -210 – 240 мГал -ын хооронд өөрчлөгдөх буюу сөрөг утгатай байна.

Энэ нь хэмжилтийн талбай тус бүр нь бага нягттай биетүүдээс бүрдэж буйг илэрхийлнэ. Зураг 3– т Буге гажлын утгыг бага утгаас их утга хүртэл цэнхэрээс улаан өнгөөр ялган үзүүлсэн. Хойд талбайн хувьд баруун хойноос зүүн урд зүгт чиглэсэн хагарлыг бүрхсэн байх ба Буге гажлын өндөр утга нь талбайн зүүн урд хэсэгт нам утга нь талбайн баруун урд хэсэгт ажиглагдаж байна.

Геологийн зурагтай харьцуулан авч үзэхэд нь талбайг бүрдүүлж буй чулуулаг нь Карбоны настай тунамал чулуулаг бөгөөд бага утга нь интрузив дайк илэрсэн бүс нутагтай давхцаж байна. Мөн Буге

гажлын дунд утга нь нүх сүвэрхэг хурдас болон тунамал чулуулгийн зах хязгаарыг илэрхийлж байх магадлалтай байна.

Харин дунд талбайн Цэнхэрийн халуун рашаан байрлах хөндийг бүрхсэн байна. Энд Буге гажлын өндөр утга талбайн зүүн хойд хэсэгт ажиглагдах бол бага утга нь талбайн баруун урд хэсэгт ажиглагдана. Энэ талбайн хувьд Буге гажлын утга нь ерөнхийдөө зүүн урдаас баруун хойш чигт жигд баруун хойноос зүүн урд чиглэсэн шугаман хэлбэрээр жигд өссөн байна. Энэ нь хөндийн урд хэсэг нь харьцангуй нүх сүвэрхэг буюу бага нягт бүхий материалаас бүрдэж буйг илтгэж болох юм. Урд талбай нь Цэнхэр ба Бор талын халуун рашаануудын хоорондох бүсэд хийгдсэн бөгөөд талбайн төв ба баруун урд хэсэг нь интрузив чулуулгаас тогтсон байна. Буге гажлын хувьд дунд талбайн адил зүүн урдаас баруун хойш чигт жигд баруун хойноос зүүн урд чиглэсэн шугаман хэлбэрээр жигд өссөн байна.



Зураг 2. Хүндийн хүчний Буге гажлын зураг: а) өмнөд талбай, б) дунд талбай, в) хойд талбай

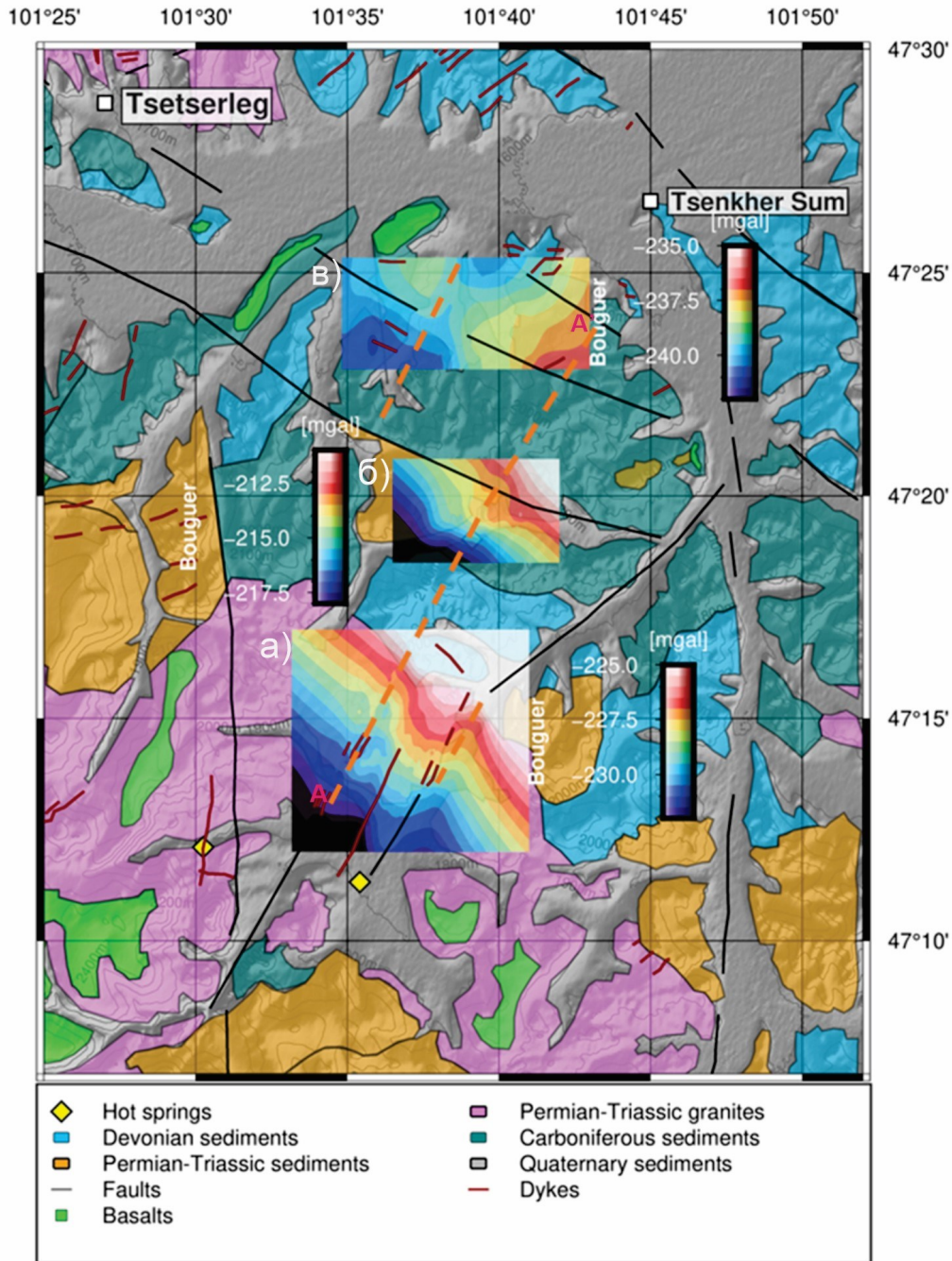


Халуун рашааны байрлал ба Хагарал

Цэнхэрийн геотермаль судалгааны талбай нь геологийн гурван хагарлаар хүрээлэгдсэн хожуу-Палеозойн интрузив болон тунамал чулуулгаас бүрдсэн байна (Зураг 1). Буге гажлын физик шинж чанарыг авч үзвэл бага утга нь нягт багатай буюу нүх сүвэрхэг орчныг илэрхийлнэ. Цэнхэр ба Бор талын халуун рашааны

орчим маш бага нягтын түгэлт ажиглагдаж байгаа нь тухайн орчин нүх сүвэрхэг орчин болохыг илэрхийлж байна.

Буге гажлын зураг ба рашаануудын байрлалыг авч үзэхэд, халуун рашаануудын гадаргын илрэл нь дайк болон литологийн өөр нэгжүүдийн хил зааг дээр гарч ирсэн байна. Зураг 3-т Цэнхэрийн халуун рашаан нь их ба бага нягт бүхий



Зураг 3. Цэнхэр геотермаль талбайн геологийн зураг ба хүндийн хүчний Буге гажлын зураг: цэнхэр өнгө - бага, улаан өнгө - өндөр нягт бүхий утгыг илэрхийлнэ, тасархай шугам - судалгааны ажлын хүрээнд таамаглаж буй хагарал



чулуулгийн зааг дээр илэрсэн байна. Харин бусад халуун рашаануудын хувьд нарийвчлан гравиметрийн судалгаа хийх шаардлагатай. Гэвч энэ ажлын хувьд бид дайк эсвэл хагарлын уулзварт сулран гарсан халсан усны цикл гэж үзэж байна.

Геологийн зурагт үзүүлснээр Цэнхэр халуун рашааны орчмыг бүрхэх тунамал чулуулаг нь боржин чулуулгаас харьцангуй өндөр нүх сүвэрхэг шинж чанартай байдаг.

Гэсэн хэдий ч урд талбайн хувьд авч үзэхэд мөн боржин чулуулгийн хувьд бага Буге гажил өгсөн байгаа нь ихээхэн сонирхолтой юм. Иймд бид халуун рашаануудыг холбосон сул орчин оршин байна гэсэн ойлголтод хүрсэн.

Талбайн урд хэсэгт орших геологийн хагарлуудын Буге гажлын шинж чанарыг авч үзвэл баруун урдаас зүүн хойш чиглэсэн хэд хэдэн хагарал судалгааны талбайд байрлаж болох юм. Зураг 2-т улбар тасралттай шулуунаар уг судалгааны ажлын хүрээнд таамаглаж буй хагарлын системийг үзүүлсэн.

Өмнө дурдсанаар хагарал нь багадунд температурын геотермийн систем орших үндсэн үзүүлэлт болох бөгөөд Цэнхэрийн геотермийн системийн хувьд

## **ДҮГНЭЛТ**

Цэнхэрийн халуун рашаанд хийсэн гравиметрийн хээрийн судалгааны ажлын хүрээнд бүртгэн авсан хүндийн хүчний хурдатгалын өгөгдлийн чанар ба түүний мэдээлэл боловсруулалтын үр дүнд гарган авсан Буге гажлын зураг нь Цэнхэрийн геотермийн системийн зарим чухал мэдээллүүдийг агуулж байгаа нь уг судалгаа амжилттай хэрэгжсэнийг илэрхийлж байна.

Энэ судалгаагаар хүндийн хүчний аргыг геотермаль энергийн хайгуулд ашиглах нь геотермийн систем резерваорын байрлал түүний гадарга дээр илрэх шинж чанарыг тодорхойлж чадсан. Энэ нь цаашид гравиметрийн судалгааг геотермийн судалгаанд бүрэн ашиглах

хагарал нь геотермаль шингэнийг дэлхийн гүнээс гадаргад дамжуулах үүрэг гүйцэтгэж байна гэж бид үзсэн.

### *Цэнхэр геотермийн систем*

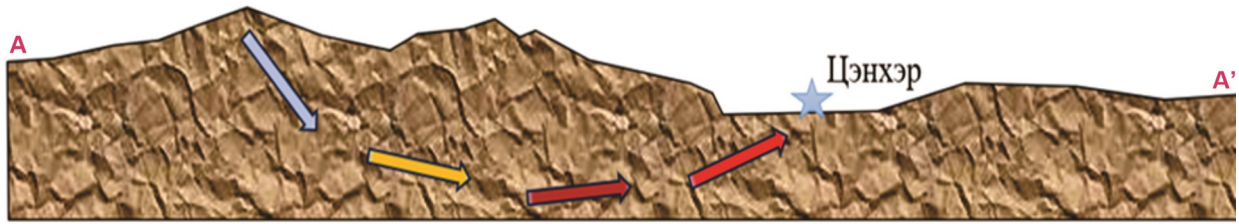
Цэнхэрийн халуун рашааны геохимийн анализын үр дүнг авч үзвэл (Оуунтсетсег, 2014), халуун усны гарал үүсэл нь хур тунадасны гаралтай гэж үзсэн байдаг бөгөөд РН -ийн агууламж нь 9.5 буюу цэнгэг ус юм. РН -ийн өндөр агууламж нь усны цикл дээд-доод царцдасын зааг хүртэлх эргэлтийн ул мөрийг агуулдаг гэж үздэг.

Зураг 4 -т Цэнхэрийн халуун рашааны концепцийн загварыг үзүүлсэн. Цэнхэрийн геотермийн системийн загварыг энэ судалгааны ажлын хүрээнд бид орчны өндөрлөг газар хуримтлагдах хур тундасын ус нь топографикаар удирдуулсан шингэний хөдөлгөөний улмаар хагарлын дагуу эргэлдэхдээ гүний температурын градиент ба магмын чулуулгийн үлдэгдэл дулааны нөлөөгөөр халж, дайк эсвэл 2 өөр литологийн үе заагийн дагуу дээш чиглэсэн хөдөлгөөнд орж нам өндөрлөг бүхий хөндийд сулрах үзэгдлээр тайлбарлаж байна.

боломжтойг илэрхийлж байна.

Гравиметрийн судалгааны үр дүн нь Цэнхэрийн халуун рашаан ба бусад Гялгар, Бор талын халуун рашаануудыг холбосон хагарлын систем оршиж байгааг тогтоосон ба уг хагарал нь халуун усны эргэлт явагдах үндсэн орчин гэж дүгнэсэн. Мөн цаашлаад Буге гажлын бага ба их утгын зах дээр Цэнхэрийн халуун рашаан гадарга дээр гарч ирсэн байгааг нотолсон бөгөөд энэ нь литологийн 2 өөр нэгжийн хил заагтай тохирч байсан.

Цаашид Цэнхэрийн геотермаль талбайд гравиметрийн судалгааны ажлыг бүрэн хийснээр резерваорын тогтцын тухай илүү дэлгэрэнгүй мэдээлэл гарган авах боломжтой юм.



Зураг 4. Цэнхэрийн халуун рашааны геотермаль концепцийн загвар: загварт баруун урдаас зүүн хойш чиглэсэн хагарлын дагуух зүсэлт

## ТАЛАРХАЛ

Энэ судалгааны ажлыг амжилттай хэрэгжүүлэхэд туслалцаа үзүүлсэн ШУА-ын Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн удирдлага болон инженер техникийн

ажилчдад талархал илэрхийлье.

Судалгааны ажил нь Швейцарын судалгаа хөгжлийн SNF-R4D, 177474 грантаар санхүүжигдсэн болно.

## НОМ ЗҮЙ

Brundtland, G. H., Ehrlich, P., Goldemberg, J., Hansen, J., Lovins, A., Likens, G., . . . others. (2012). Environment and development challenges: the imperative to act. *The Asahi Glass Foundation, Tokyo*.

Diamond, L. W., Wanner, C., & Waber, H. N. (2018). Penetration depth of meteoric water in orogenic geothermal systems. *Geology*, 46, 1063–1066.

Jolie, E., Scott, S., Faults, J., Chambefort, I., Axelsson, G., Gutiérrez-Negrín, L. C., . . . others. (2021). Geological controls on geothermal resources for power generation. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2, 324–339.

Oyuntsetseg, D. (2014). *Isotopic and geochemical study of geothermal fluids in Mongolia for geothermal exploration*. Ph.D. dissertation, University of Toyama.

Peacock, J. R., & Siler, D. L. (2021). Bottom-Up and Top-Down Control on Hydrothermal Resources in the Great Basin: An Example From Gabbs Valley, Nevada. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095009.

Rohit, R. V. (2023). Tracing the evolution and charting the future of geothermal energy research and development.

*Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113531.

Sutherland, R., Townend, J., Toy, V., Upton, P., Coussens, J., Allen, M., . . . others. (2017). Extreme hydrothermal conditions at an active plate-bounding fault. *Nature*, 546, 137–140.

Tseesuren, B. (2001). Geothermal resources in Mongolia and potential uses. *United Nations University, Reports 2001, 15*. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10802/7269>

Younger, P. L. (2014). Missing a trick in geothermal exploration. *Nature Geoscience*, 7, 479.

Younger, P. L., & Manning, D. A. (2010). Hyper-permeable granite: lessons from test-pumping in the Eastgate Geothermal Borehole, Weardale, UK. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43, 5–10.

## GRAVITY INVESTIGATION AT THE TSENKHER GEOTHERMAL REGION

Buyantogtokh Bazar<sup>1\*</sup>, Batmagnai Erdenechimeg<sup>2</sup>, Dorjdavaa Myagmar<sup>1</sup>,  
Undarmaa Khadbaatar<sup>3</sup>, Batnyam Enkhbaatar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Seismology, Institute of Astronomy and Geophysics, MAS

<sup>2</sup> Department of Geomagnetism, Institute of Astronomy and Geophysics, MAS

<sup>3</sup> MUST

\*Corresponding author: [buyantogtokh@iag.ac.mn](mailto:buyantogtokh@iag.ac.mn)

Article info: Accepted 10 December 2023

**Abstract:** In 2020, we conducted gravimetric measurements in the Tsenkher and Gyalgar and Bortal hot springs areas in Tsenkher Sum, Arkhangai Province, in order to make clear interpretations together with geological maps to understand the lithological changes in the hot spring region. Bouguer anomalies were computed by correcting the recorded gravitational acceleration values. As a result of this study, the Bouguer deformation map could accurately represent the boundaries of the lithology and geological formations. We have explained that the negative value of Bouguer deviation is observed close to the surface of hot springs, as it is a hollow environment or cave containing water. In the future, a detailed gravimetric study of the Blue field will allow a detailed understanding of the surrounding rock and reservoir characteristics.

**Keywords:** Gravity, Bouguer anomaly, Dyke, geothermal energy, geothermal reservoir