

Results from the Georadar sensing at Emeelt fault in 2023

Nyambayar Tsend-Ayush^{1*}, Dorjdavaa Mygmar¹, and Munkhsaikhan Amarsanaa¹

¹Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

*nyambayar@iag.ac.mn,

Received: 2024-10-19, Accepted: 2024-12-22, <https://doi.org/10.5564/mjag.v11i1.4187>

Abstract

The increasing seismic activity around the Mongolian capital Ulaanbaatar city since 2005 year has been identified as occurring along two active faults that extend west and northwest of Ulaanbaatar city and are perpendicular to each other. The Emeelt fault (40 km long, approximately 15 km northwest of Ulaanbaatar city) is located. The length and geomorphology of these faults indicate that an earthquake of magnitude 6.5-7.5 occurred. After the earthquake, the weakened soil around the fault was weathered during a long time period, and the shape, size, and location of the faults on the fault plane have become unknown, and the geomorphology was changed greatly. However, the GPR survey method, one of the advanced technologies in modern geophysics, is an excellent method for identifying faults by mapping radar wave reflections and has been proven to be effective and widely will use in the future. We conducted detailed integrated geological and geophysical surveys on Emeelt active faults in the Ulaanbaatar city region in 2010-2012 to determine their parameters, and in order to confirm some of these results, we present in this article some of the results of additional geophysical surveys conducted on the Emeelt active fault in 2023. In this research, we conducted a survey to determine some geometric parameters such as fault location and dip angle using measurements of 250MHz and 100MHz GPR antennas.

Keywords: Emeelt, Active Faults, GPR, Georadar

1. Удиртгал

Монгол улсын нийслэл Улаанбаатар хот орчмын сейсмик идэвхжил нь баруун Монголын сейсмик идэвхжилтэй харьцуулбал арай бага боловч 2005 оноос эхэлсэн энэхүү идэвхжил нь зөвхөн Улаанбаатарын орчимд биш бөгөөд Улаанбаатараас баруун болон хойд зүгт сунаж тогтсон, хоорондоо перпендикуляр байрлалтай 2 идэвхтэй хагарлын хүрээнд явагдаж байгаа нь тогтоогдсон. Эмээлт хагарлыг 2008 онд илрүүлсэн бөгөөд баруун хойноос зүүн урд чиглэлтэй, хамгийн багадаа 25 км урт УБ аас баруун зүгт ойролцоогоор 10 км-т байрладаг. Харин Хустай хагарал баруун урдаас зүүн хойд

зүгт 80 км гаруй урт УБ аас баруун зүгт 20 км-т оршдог бөгөөд эдгээр хагарлуудын урт болон геоморфологи нь 6.5-7.5 магнитудтай газар хөдлөлт болсныг илтгэдэг (Schlupp et al., 2012). Улаанбаатар хот нь өдгөө Монгол улсын хамгийн их хүн ам буюу 1.7 сая нь төвлөрөн суурьшсан эдийн засаг, улс төрийн гол төв болсон байна. Тиймээс хүчтэй газар хөдлөлт нь ирээдүйд учруулж болзошгүй хөнөөл, хохирлын магадлалын үнэлгээгээр манай орны тэргүүн чухал асуудлуудын нэг болж байна (Dugarmaa et al., 2006). Улаанбаатар хот орчмын газар хөдлөлийн идэвхжилийн нарийвчилсан судалгааг 2008 оноос эхлэн ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг,

Франц улсын Страсбургийн Их Сургууль болон Монтпиллерийн Их Сургуулийн судалгааны баг, Орос улсын ШУА-ийн Эрхүүгийн салбарын судалгааны баг бүрэлдэхүүнтэй хамтран гүйцэтгэж байгаа билээ. Хамгийн сүүлд болсон газар хөдлөлөөс хойш урт удаан хугацааны туршид хагарал орчмын суларсан хөрс элэгдэлд орсноор хагарлын хавтгайн хөрсөн дээрх эвдрэлүүдийн хэлбэр хэмжээ, байрлал мэдэгдэхгүй болж геоморфологи нь маш их өөрчлөгдсөн байдаг. Георадарын судалгааны арга нь радарын долгионы ойлтуудын зураглалаар хагарлыг тодорхойлон дүрслэхэд (Christie et al., 2009; Malik et al., 2007) мөн хөрсөн доор булагдаж далдлагдсан голын суваг, жалгын тандалтад (Ferry et al., 2004) маш сайн арга бөгөөд цаашид өргөн хэрэглэгдэхээр үр дүнтэй болох нь туршигдаж батлагдсан. Олон судалгааны ажилд георадарын 3 хэмжээст зураглал болон судалгаа нь 2 хэмжээст хөндлөн зүсэлтүүдийн судалгаанаас илүү үр дүнтэй бөгөөд илүү үнэн зөв тайлал хийх боломжтойг харуулсан байдаг (Gross et al., 2002, 2004; McClymont et al., 2010). Beaupretre et al. (2012) нар нь далдлагдсан сувгийн сүлжээг сэргээн босгож зураглах 3 хэмжээст Георадарын тандалтын судалгаанд, мөн McClymont et al. (2010) нар нь идэвхтэй хагарлын дүрслэлийг сайжруулах, геометрийн шинж чанарыг тодорхойлоход 3 хэмжээст Георадарын мэдээллийг ашигласан. Харин Dentith et al. (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 et al., 2010). Тиймээс бидний энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь Эмээлт хагарлын үндсэн геологийн шинж чанарыг тодорхойлох өмнө нь хийгдсэн судалгааны ажлуудын үр дүнтэй харьцуулах хагарлын геометрийн шаардлагатай параметруудийг баталгаажуулахад оршино.

2. Георадарын судалгааны арга зүй

Ground-Penetrating Radar (GPR) буюу Георада-

рын судалгаа нь анх 1930 онд хийгдэж байсан бөгөөд тус багажийг зохион бүтээгчид 1937 онд анхны цахилгаан соронзон долгионоор геофизикийн хайгуул хийх аргыг туршиж тэр цагаас хойш тус багаж нь аажмаар хөгжсөөр, 1992 оноос микроэлектроникийн хөгжлийг дагаж өндөр хурдацтай хөгжиж өнөөдрийн байдлаар маш олон салбарт өргөн хэрэглэгдэж эхэлсэн (Jol, 2008). 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, 2008). Цахилгаан соронзон долгионы тархалт нь тухайн хөрс болон чулуулгийн диэлектрик тогтмол, цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаардаг болохыг (Хүснэгт. 1) харуулсан (Jol, 1995). Георадар нь бага гүний соронзон шинж чанаргүй чулуулгийн өдөөгдөж цахилгаанжсан болон цахилгаанжаагүй ялгарлуудыг зураглах боломж олгодог (Jol, 1995). Георадарын судалгааны арга нь бага гүний хайгуулын аргад ордог бөгөөд тандалтын гүн нь ашиглагдаж буй давтамжийн цахилгаан соронзон долгионы замхралаас шалтгаалдгийг (Хүснэгт. 2) үзүүлээ (Jol, 2008). Хамгийн бага давтамж нь хамгийн их гүнд нэвтрэх бөгөөд энэ нь 1 мсек/м – ээс доош бага цахилгаан дамжуулалт бүхий орчинд 5 см – ээс 50 м хүртэл байдаг (Jol, 2008). Нэвтрэх гүн болон зураглалын нарийвчлал нь дамжуулагчаас цацаж буй радио долгионы давтамж болон тус хэмжилтийн орчны геологийн бүтэц, шинж чанар, цахилгаан эсэргүүцэл зэргээс хамаардаг (Тэг. 1), (Jol, 2008).

$$\lambda = c/v \quad (1)$$

Энд долгионы урт нь давтамжаас урвуу хамааралтай ба вакуум дахь гэрэл тархах хурдтай шууд хамааралтай.

Гүн рүү чиглэсэн босоо тэнхлэгийн нарийвчлал нь ашиглагдаж буй антены давтамж ба цахилгаан соронзон долгионы хурдаас хамаардаг. λ/c хэмжээ нь 50 – 500 МГц давтамжууд ба 0.1 – 0.14 м/наносек хурднуудад 5 – 70 см хүртэл

Хүснэгт 1. Цахилгаан соронзон долгионы тархалт хөрс болон чулуулгийн диэлектрик тогтмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаарсан хурдны харьцуулалт

Орчин	Хувийн хүчлэг ϵ_r	Хурд / μ
Агаар	1	300
Цэвэр ус	81	33
Шохойн чулуу	7-16	75-113
Анар	5-7	113-134
Занар	5-15	77-134
Шавар	4-16	74-150
Бетон	4-10	95-150
Лаг шавар	9-23	63-100
Элс	4-30	55-150
Мөсөн хурдас	9-25	60-100
Мөс	3-4	150-173
Цэвдэг	4-8	106-150

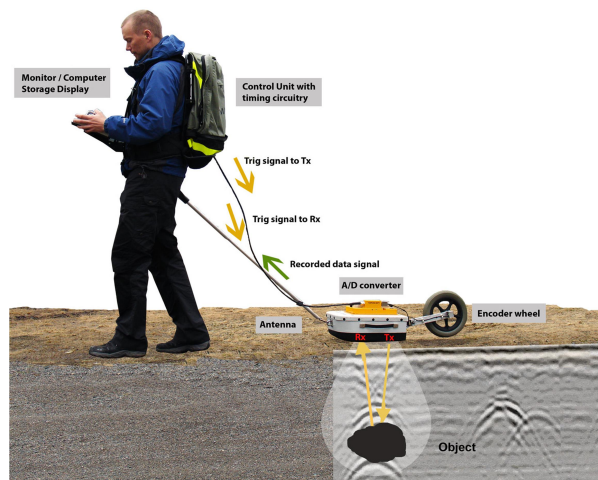
өөрчлөгддөг (Jol, 1995).

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. Хамгаалагдсан антен (Shielded antenna) 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. Тус зурагт георадарын хэмжилт хийх зарчмыг нарийн харж болно. Явсан нийт замыг антенны ард байрлах дугуйгаар хэмжинэ (Jol, 2008)). Бидний хийсэн геоморфологи, сансрын зургийн тандан судалгаа, хагарлын механизм, хагарлын геометр бүтцийн судалгаа, хээрийн судалгаа, станцуудад бичигдэж байгаа орчин үеийн идэвхжил зэрэгт

Хүснэгт 2. Георадарын антенны давтамж, нэвтэрэх гүний хамаарал

Антенны давтамж (МГц)	Долгионы тархалтын нягтрал ($/\mu$), $lc/4$, ()	Нэвтэрч чадах дээд гүн
25	100	50
50	50	40
100	25	25
250	10	8
500	5	6
800	3	2.5
1200	2.1	1
1600	1.6	0.5
1800	1.3	0.4

үндэслэн Хустай болон Эмээлтийн хагарлыг Улаанбаатар хотын газар хөдлөлийн болзошгүй аюулт бүсүүдийн нэгэнд тооцож байна (Ferry et al., 2004).



Зураг 1. Георадарын хамгаалагдсан антенны цахилгаан соронзон долгионы тархалт, ажиллах зарчим.

3. Судалгааны талбай, түүний геологийн орчин

Эмээлт хагарал нь Хустайн нурууны зүүн үзүүрт перпендикуляр байдалтай байрладаг бөгөөд зүүн урдаас баруун хойш чиглэлд суналтай Зураг. 2 ба газар хөдлөлийн сейсмик идэвхжилийн тархалтаар параллель 3 бүтэц байна гэж тогтоогдсон байдаг. Гэвч эдгээрээс нэг бүтэц л сансрын зураг дээр илт танигдахаар байдаг Зураг. 2 хэдий ч газар дээрээ хагарлын мөргөцөг нь урт хугацааны хувирлын явцад их хэмжээгээр хувиралд орж танигдахааргүй болсон байдаг. Эмээлт хагарал нь баруун гарын шилжилттэй огшил хэлбэрийн хагарал бөгөөд хэвтээ шилжилт нь хоёр метр орчим гэж тодорхойлсон байдаг (Ferry et al., 2004; Schlupp et al., 2012). Хагарлын сансрын зураг дээрээс тодорхойлсон урт ойролцоогоор 35 орчим км гэж тогтоосон. Эмээлтийн хагарал дээр Магнитуд нь 7.1 хүчтэй газар хөдлөлт болох боломжтой гэж тодорхойлсон (Ferry et al., 2004; Schlupp et al., 2012).

4. Судалгааны талбай, түүний геологийн орчин

4.1. Георадарын хэмжилт

Бид 2008-2012 оны хооронд Хустай, Эмээлт болон Гүнж, Авдар, Шархай зэрэг хагарлууд дээр нарийвчилсан судалгааны ажлууд гүйцэтгэсэн бөгөөд Эмээлт хагарлын параметруудийг эцэслэн шийдээгүй байсан болно. Иймээс бид Страсбургийн Их Сургуулийн эрдэмтэн судлаачидтай хамтран 2023 онд нэмэлт судалгааны ажлуудыг хийж гүйцэтгэсэн (Зураг. 2). Энэхүү судалгааны хэмжилтийн ажлыг 06 дугаар сард Страсбургийн Их Сургуулийн эрдэмтэн судлаачидтай хамтран хийсэн бөгөөд харин 08 дугаар сард ООГХүрээлэнгийн судлаачид дангаараа гэсэн байдлаар хоёр шаттайгаар хийж гүйцэтгэсэн (Зураг. 2). Мөн Георадарын хэмжилтийг зарим хөндлөн зүсэлт дээр дангаар нь хийсэн ба зарим хөдлөн зүсэлт дээр нь сейсмик хайгуулын хэмжилттэй давхцуулан хийсэн болно. (Зураг. 2) дээр шар шугамаар дүрсэлсэн нь 06 дугаар сард хийгдсэн ба улаан шугамаар дүрсэлсэн нь 08 дугаар сард хийж гүйцэтгэсэн хэмжилтийн хөдлөн

зүсэлтүүд болно. 08 дугаар сард хийж гүйцэтгэсэн хөдлөн зүсэлтүүдийн p7-p8 ба p10-p13 дээр георадар болон сейсмик судалгааны хэмжилтүүдийг давхцуулан хийсэн. (Зураг. 2) дээрх улбар шар дөрвөлжингөөр (Зураг. 3) дээрх томруулж харуулсан хөндлөн зүсэлтүүдийн ерөнхий байрлалыг зааж харуулсан байна.

Энэхүү георадарын хэмжилтийг бид 250 МГц болон 100 МГц –ийн хамгаалагдсан антенүүдээр хийж гүйцэтгэсэн. Хагарлын геометрийг тодорхойлох улмаар тренч ухах оновчтой байрлалыг тогтоох үүднээс хагарлын суналд перпендикуляр чиглэлээр хөндлөн зүсэлтүүдээ сонгосон.

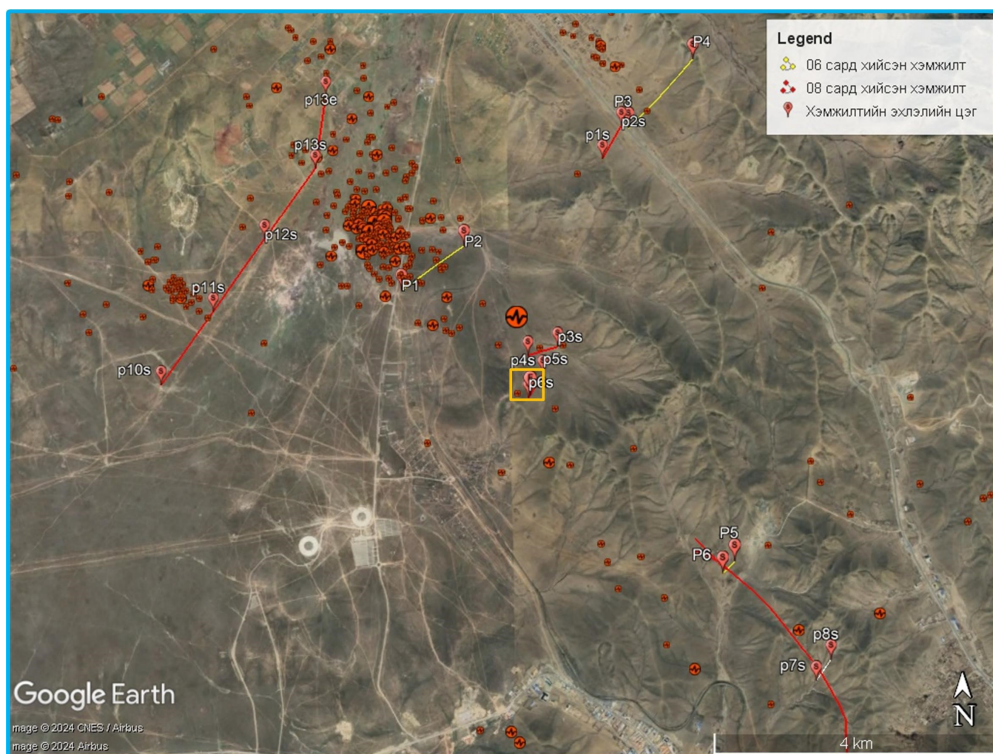
Георадарын хээрийн хэмжилтийн мэдээлэл цуглуулалтыг MALA брэндийн иж бүрэн төхөөрөмжүүдийг өөрийнх нь программ хангамж болох RAMAC Groundvision2 программ хангамжийн хамтаар ашиглан гүйцэтгэдэг. Хэмжилт хийхэд хамгийн чухал параметрийн нэг нь триггер интервал буюу хэмжилтийг гүйцэтгэх алхам бөгөөд үүнийг 250 МГц антены хувьд 10 см, 100 МГц антены хувьд мөн адил 10 см –ээр сонгож хэмжилтээ гүйцэтгэсэн. Георадарын мэдээлэл цуглуулалтад шаардлагатай орчны хүчин зүйлүүд нь хөрсний чийгшил харьцангуй бага, орчны температур $-200^{\circ} - +500^{\circ}$ ($-40^{\circ}F - +1220^{\circ}F$) байх шаардлагатай (Jol, 2008) боловч 06 сард хийгдсэн хэмжилтийн үед олон өдөр дараалан их хэмжээний бороо орсон тул төлөвлөсөн хэмжилтүүдээ хойшлуулан 08 сард хийж дуусгасан.

Георадарын хөндлөн зүсэлтүүд тус бүр дээр өндөр нарийвчлал бүхий дифференциал GPS систем ашиглан топографыг хэмжиж зохих боловсруулалтад оруулан нэгтгэж өгдөг.

4.2. Георадарын мэдээлэл боловсруулалт

Георадарын зураглалын мэдээллийн анхан шатны боловсруулалтыг MATLAB дээр бичигдсэн хэсэгчилсэн программ хангамжийг (Girard, 2002) нэгтгэн Франц улсын Страсбург хотын Их Сургуулийн (EOST) хамт олон боловсруулсан RadLab гэдэг программ хангамжаар боловсруулсан.

RadLab программ нь Георадарын RD3, CGG, SEGY, DT1, DZT зэрэг бүх төрлийн мэдээллийг



Зураг 2. Эмээлт орчмын 2023 оны Google Earth – ийн сансрын зураг, улаан шугам – 2023 оны 08 сард георадарын 250 МГц болон 100 МГц антенүүдээр гүйцэтгэсэн хэмжилтийн хөндлөн зүсэлтүүдийн байрлал, шар шугамууд нь 2023 оны 06 сард георадарын 250 МГц болон 100 МГц антенүүдээр гүйцэтгэсэн хэмжилтийн хөндлөн зүсэлтүүдийн байрлал, улаан цэгүүд нь Хэмжилтийн эхлэлийн цэг ба улбар шар дөрвөлжин нь 6 дугаар хөндлөн зүсэлтийг томруулж харуулсан (Зураг. 3) -ын байрлал юм.

уншиж оруулах боломжтой бөгөөд бүх төрлийн фильтр хийж, хурд болон давхаргыг загварчлах топографын мэдээллийг оруулан засвар хийх, мөн 3 хэмжээст зураглал хийх зэрэг олон функцүүдтэй юм.

Ингээд бид Георадарын хэмжилтийн мэдээлэлдээ дараах боловсруулалтуудыг хийж үр дүнгийн зураглалаа гаргаж авцгаасан. Үүнд бид холбогдох нийтлэг боловсруулалтын арга техникийг ашигласан ба боловсруулалтын дарааллын хувьд эхлээд хугацааны эхний түвшнийг тохируулах тогтмол шилжилт (constant shift), маш бага давтамжуудын гажлыг арилгах DC фильтр, газрын гадаргуу болон хамгаалагдсан антены хамгаалалт хоёрын хооронд үүсэх эмх замбараагүй олон давталтад ойлтын шуугианыг арилгах давхар ойлтуудын фильтр (flat reflections filter), хугацаанаас хамаарсан өсгөлтийн функц (time varying gain function) ба давтамжийн филтэрууд

(bandpass filter) зэрэг орно.

Тофографикийн хэмжилтийн мэдээллийг боловсруулан хөндлөн зүсэлт тус бүр дээр тофографикийн файлуудыг бэлдсэний дараа боловсруулалтын эцсийн шат болох тофографик засварыг хийж улмаар Kirchhoff migration (Lehmann & Green, 2000; Heincke et al., 2005; Dujardin & Bano, 2013) анализыг хийдэг.

5. Георадарын зураглалын үр дүн, тайлал

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). Георадарын судалгааны арга нь хагарлын шилжилт ба бусад параметруудийг тодорхойлох, далдлагдсан хуучин суваг, жалгыг зураглах зэрэгт маш сайн үр



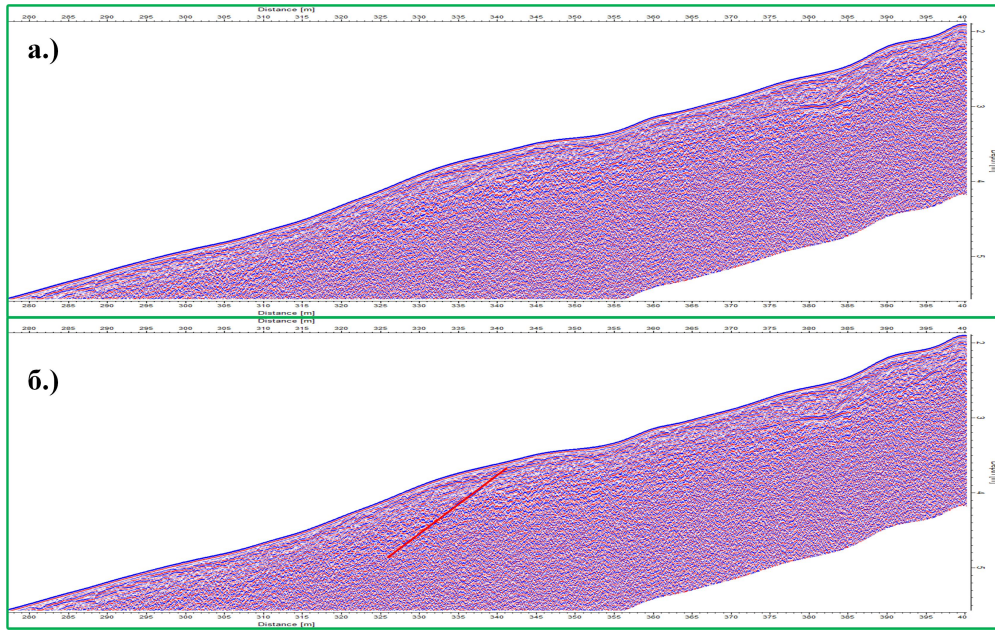
Зураг 3. Эмээлт орчмын 2023 оны 08 сард георадарын 250 МГц болон 100 МГц антенүүдээр гүйцэтгэсэн хэмжилтийн 5 ба 6 дугаар хөндлөн зүсэлтийн байрлал Google Earth – ийн 2023 оны сансрын зураг, S гэсэн тэмдэглэгээтэй улаан цэг нь Хэмжилтийн эхлэлийн цэг ба F гэсэн тэмдэглэгээтэй улаан цэг нь хагарлын ул мөрийн байрлалыг заасан цэг болно. Энэ хөндлөн зүсэлтийн ерөнхий байрлалыг (Зураг. 2) дээр харуулсан болно.

дүнтэй арга юм (Nyambayar et al., 2018).

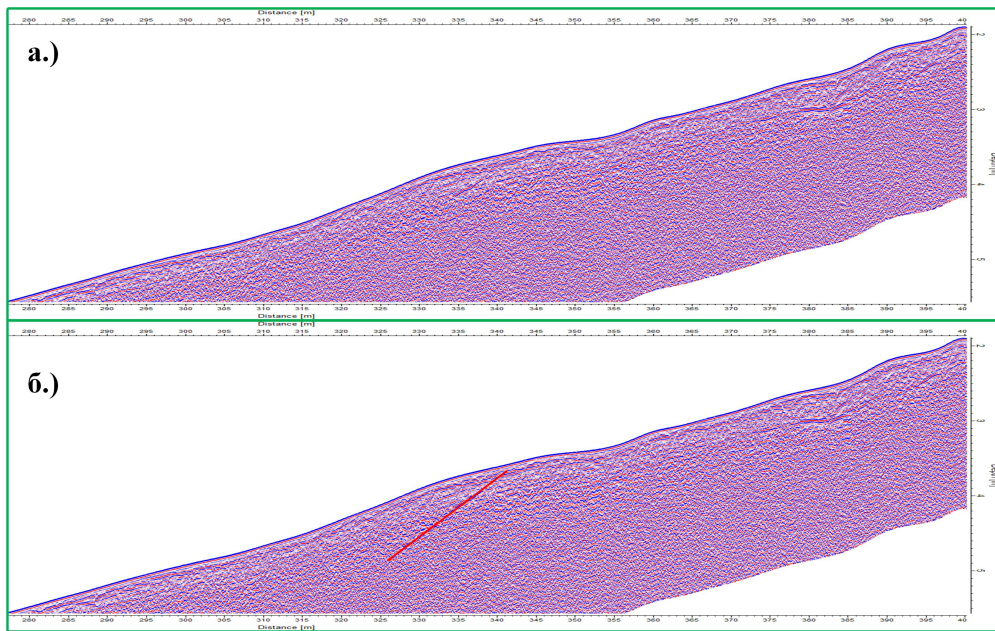
Хөндлөн зүсэлт 5 болон хөндлөн зүсэлт 6 нь эсрэг чиглэлд, хоорондоо 2м зайтай хийгдсэн хөндлөн зүсэлтүүд бөгөөд хөндлөн зүсэлт 5-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.4) нь уулын бэлээс эхлэн хэмжиж дээр дууссан. Харин хөндлөн зүсэлт 6-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.5) нь уулын өндөр талаасаа эхэлж бэлд дууссан болно. Хөндлөн зүсэлт 5-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.4а) болон хөндлөн зүсэлт 6-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.5а) хоорондоо төстэй боловч хагарлын зарим илрэлүүд ялгаатай харагдаж байна. Хөндлөн зүсэлт 5-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.4а) дээр хагарлын ан цав эвдрэлийн хил зааг бүдэг байгаа бөгөөд хамгийн сайн тод ялгарал бүхий хэсгийг улаан шугамаар тодруулан зааж өгсөн байгаа болно (Зураг.4б). Харин хөндлөн зүсэлт

6-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.5а) дээр радарын сигналын хүчтэй ойлт бүхий хагарлын эвдрэлийн хил зааг тод ялгаран гарсан бөгөөд илүү ялгарал бүхий хоёр хэсэгт эвдрэлийн заагийг улаан шугамаар мөн адил тодруулан зааж зурагласан байгаа болно (Зураг.4б). Эдгээр хоёр хөндлөн зүсэлтийн үр дүнгээс харвал хөндлөн зүсэлт 5-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.4б) дээр хагарлын уналын өнцөг 36° ба хөндлөн зүсэлт 6-ийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал (Зураг.5б) дээр хагарлын хоёр хэсгийн уналын өнцөг 32° болон 39° байна. Эдгээр хоёр шаталсан эвдрэл болон гадаргуугийн топографын өнцгийн шилжилтүүдийг харвал хагарлын эвдрэл нь 4м орчмын гүнээс хоёр салбарлан газрын гадаргууд 20м гаруй зайтай эвдрэл үүсгэсэн байна.

6. Дүгнэлт



Зураг 4. P5 хөндлөн зүсэлтийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал. Байрлалыг Зураг 3 дээр харуулсан. (a) Георадарын үр дүнгийн зураглал, (b) Георадарын тайлал хийсэн зураглал, улаан шугамуудаар георадарын хүчтэй ойлт бүхий зурвасын хил заагийг тодруулан харуулсан. Харин S тэмдэгтээр хөндлөн зүсэлтийн эхлэлийн цэг, F тэмдэгтээр хагарлын ул мөрийн гадаргуу дээрх илрэлийг тэмдэглэсэн.



Зураг 5. P6 хөндлөн зүсэлтийн 250 МГц антены үр дүнгийн зураглал. Байрлалыг Зураг 3 дээр харуулсан. (a) Георадарын үр дүнгийн зураглал, (b) Георадарын тайлал хийсэн зураглал, улаан шугамуудаар георадарын хүчтэй ойлт бүхий зурвасын хил заагийг тодруулан харуулсан. Харин S тэмдэгтээр хөндлөн зүсэлтийн эхлэлийн цэг, F тэмдэгтээр хагарлын ул мөрийн гадаргуу дээрх илрэлийг тэмдэглэсэн.

Хүчтэй газар хөдлөлийн дараа удаан хугацааны геологийн элэгдэл, хувирлын явцад идэвхтэй хагарлын хөрсөн дээрх ул мөр, эвдрэл цуурлууд нь аажмаар хувиран арилж ялгаж танихад хэцүү болсон байдаг. Иймэрхүү далд нуугдмал бүтцийг илрүүлж тодруулах, нарийвчлан судалж зураглахад орчин үеийн өндөр, дэвшилтэт электрон техникийн эрчимтэй хөгжил бидэнд санаанд оромгүй шинэ боломж бололцоонуудыг нээн гаргаж өгсөөр байна. Эмээлт хагарал дээр хийгдсэн дээрх судалгааны ажил нь орчин үеийн геологи, геофизикийн судалгааны дэвшилтэт технологи болох хиймэл дагуулын зураглал, георадарын зураглал, дифференциал GPS систем, компьютерт суурилсан тоон боловсруулалт зэрэг дэвшилтэт технологиудыг ашигласан.

Энэ судалгааны ажлын үр дүнгээс дүгнэхэд георадарын тандалт судалгаа нь идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлоход өндөр үр дүнтэй болох нь батлагдаж байна.

Мөн георадарын судалгааны аргачлал нь палеосейсмологийн шинжилгээ судалгаанд илүү өргөн дэлгэр хэрэглэгдэх бололцоотойг нотлон харуулсан.

Георадарын 250 МГц болон 100 МГц антены Эмээлт хагарал дээрх 2023 оны хэмжилтийн үр дүнгээр тодорхойлсноор хагарлын геометрийн үндсэн гол параметр болох уналын өнцөг нь баруун урдаас зүүн хойш $32 - 39^\circ$ байгаа нь тус хагарал дээр өмнө нь 2010-2012 онуудад хийгдсэн геологи, геофизикийн нэгдсэн судалгааны ажлын үр дүнтэй тохирч байна.

Талархал

Эмээлт хагарлын нарийвчилсан нэмэлт судалгааны ажлыг санхүүжүүлсэн Шинжлэх Ухаан Технологийн Сангийн “Газрын гадаргууд илэрцгүй идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлох арга зүй” сэдэвт суурь судалгааны төсөл болон ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн захиргаанд чин сэтгэлийн талархал илэрхийлье. Энэхүү судалгааны ажлыг ШУТС-ийн 2022/145 (ШУТБИХХЗГ-2022/147) төслийн санхүүжилтээр хийж гүйцэтгэсэн болно.

Мөн тус судалгааны ажлыг хамтран гүйцэтгэсэн Франц улсын Страсбургийн Их Сургуулийн

баг бүрэлдэхүүнд, ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг бүрэлдэхүүнд гүнээ талархаж, цаашдын ажил хөдөлмөрт нь өндөр амжилт хүсье.

Ашигласан номзүй

- Beaupretre, S., Garambois, S., Manighetti, I., Malavieille, J., S en echal, G., Chatton, M., Davies, T., Larroque, C., Rousset, D., Cotte, N., et al., 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**(1), 73–100.
- Christie, M., Tsoflias, G., Stockli, D., & Black, R., 2009. Assessing fault displacement and off-fault deformation in an extensional tectonic setting using 3-d ground-penetrating radar imaging, *Journal of applied geophysics*, **68**(1), 9–16.
- Davis, J. L. & ANNAN, A. P., 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy 1, *Geophysical prospecting*, **37**(5), 531–551.
- Dentith, M., O’Neil, A., & Clark, D., 2010. Ground penetrating radar as a means of studying palaeofault scarps in a deeply weathered terrain, southwestern western australia, *Applied Geophysics*, **72**, 92–101.
- Dugarmaa, T., A. S., Bayasgalan, A., Ulziibat, M., Odonbaatar, C., Ankhtsetseg, D., Munkhsaikhan, A., Mungunsuren, D., Baasanbat, T., Bayaraa, G., Munkhuu, D., Selenge, L., Tsembe, B., Narantsetseg, R., Urtnasan, K., & Bayarsaikhan, C., 2006. Ground penetrating radar as a means of studying palaeofault scarps in a deeply weathered terrain, southwestern western australia, *Astronomy and Geophysics*, **1**.
- Dujardin, J.-R. & Bano, M., 2013. Topographic migration of gpr data: Examples from chad and mongolia, *Comptes Rendus. G eoscience*, **345**(2), 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: Constraints on the right-lateral movement and slip history, *Geology*, **32**(1), 85–88.
- Girard, J. F., 2002. Imagerie g eoradar et mod elisation des diffractions multiples, *Strasbourg: Universit e Louis Pasteur*.
- Gross, R., Green, A. G., Holliger, K., Horstmeyer, H., & Baldwin, J., 2002. Shallow geometry and displacements on the san andreas fault near point arena based on trenching and 3d georadar surveying, *Geophysical Research Letters*.

- Gross, R., Green, A. G., Horstmeyer, H., & Begg, J. H., 2004. Location and geometry of the wellington fault (new zealand) defined by detailed three-dimensional georadar data, *Journal of Geophysical Research*.
- Heincke, B., Green, A. G., Kruk, J. v. d., & Horstmeyer, H., 2005. Acquisition and processing strategies for 3d georadar surveying a region characterized by rugged topography, *Geophysics*, **70**(6), K53–K61.
- Jol, H. M., 1995. Ground penetrating radar antennae frequencies and transmitter powers compared for penetration depth, resolution and reflection continuity1, *Geophysical prospecting*, **43**(5), 693–709.
- Jol, H. M., 2008. *Ground penetrating radar theory and applications*, elsevier.
- Lehmann, F. & Green, A. G., 2000. Topographic migration of georadar data: Implications for acquisition and processing, *Geophysics*, **65**(3), 836–848.
- Malik, J., Sahoo, A., & Shah, A., 2007. Ground-penetrating radar investigation along pinjore garden fault: implication toward identification of shallow subsurface deformation along active fault, nw himalaya, *Current Science*, pp. 1422–1427.
- McClymont, A. F., Green, A. G., Kaiser, A., Horstmeyer, H., & Langridge, R., 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.
- Nyambayar, T., Bano, M., Schlupp, A., Ulziibat, M., & Tseedulam, K., 2018. The results of the work determined the type of the active fault by gpr sensing, *Geophysics and Astronomy*.
- Schlupp, A., Ferry, M., Ulziibat, M., Baatarsuren, G., Munkhsaikhan, A., Bano, M., Dujardin, J.-R., Nyambayar, T., Sarantsetseg, L., Marc, M., Simon, F., Mungunshagai, M., Tserendug, S., Nasan-Ochir, T., Erdenezul, D., Bayarsaikhan, E., Batsaikhan, T., & Demberel, S., 2012. Investigation of active faults near ulaanbaataar. implication for seismic hazard assesment, *The 9th General Assembly of Asian Seismological Commission*.