

Улаанбаатар Орчмын “Сонгино” Идэвхитэй Хагарал Дээрхи Георадарын Судалгааны Анхан Шатны Үр Дүнгээс

Цэнд-Аюуш Нямбаяр^{1,2}, Maksim Bano¹, Antoine Schlupp¹, Мөнхөө Өлзийбат², Даваасамбуу Баттогтох², Энхээ Баярсайхан², Ганболд Баатарсүрэн², Батцэцэг Бямбахорол²

¹- IPGS, UMR-7516, Université de Strasbourg/EOST, CNRS, Strasbourg, France

²- ШУА, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн

The seismic activity observed in the vicinity of Ulaanbaatar (UB) city not only has been increased since 2005, but it is also organized, at least, on two perpendicular directions which determine two active faults: Emeelt fault (40 km long, situated 15 km NW of UB) and Hustai fault (80 km long, less than 30 km West of UB). The Songino fault (10 km long, situated 20 km West of UB) is located between Emeelt and Hustai fault. Their length and morphology indicate they can produce earthquakes of magnitude 6.5 to 7.5. Most of the Mongolian population (1.5 million over 3 million) is concentrated around UB city which is the main political and economical centre of the country. Hence, the study of seismic hazard is of first importance for the country. Since the last large earthquake, the fault geomorphology has been smoothed due to erosion processes and a low slip rate. The exact location of the fault is thus hidden in a several meter strip.

In such a context, the Ground Penetrating Radar (GPR) method gives good and useful results and can help to characterize faults by identifying offsets of radar reflections and buried fluvial channel deposits. In order to image and characterize these faults, we have conducted many GPR campaigns in 2010, 2012 and 2013 over active areas around UB. In our study we present only some preliminary results of GPR measurements performed along the Songino fault (in 2013). The objective is to understand its geometry (dip, length, orientation) and the type of displacements and amplitude. In this survey we used 250 MHz, 500 MHz shielded antenna and RTA 50 MHz unshielded antenna and also used a differential GPS in order to measure the topography. One trench has been dug in Songino area.

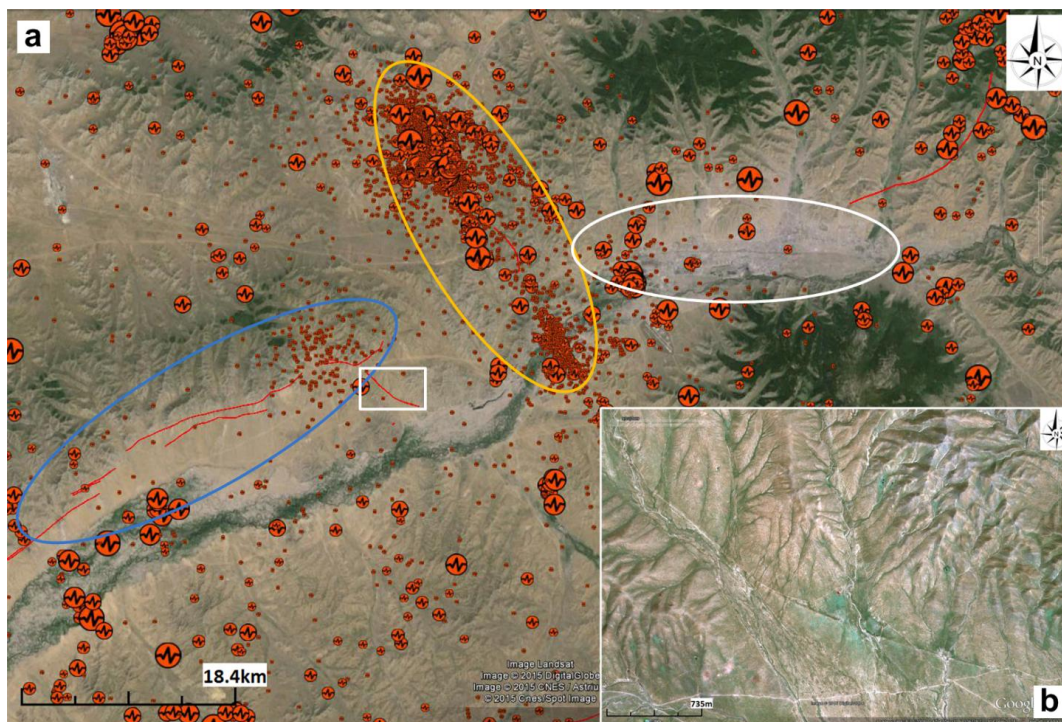
Түлхүүр үгс: Монгол, Хустай болон Эмээлт, Сонгино хагарлууд, GPR буюу Георадар, Дифференциал GPS, Тренч

PACS number: 91.30.Za

I. УДИРТГАЛ

Монгол улсын нийслэл Улаанбаатар хот орчмын сейсмик идэвхжил нь баруун Монголын сейсмик идэвхжилтэй харьцуулбал арай бага боловч мэдэгдэхүйц нэмэгдэж байгаа нь ажиглагдах болсон. Гэвч 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 ба ХБХ-УЗУ чиглэлтэй, хамгийн багадаа 25 км урт, УБ-аас баруун зүгт ойролцоогоор 10 км-т оршдог. Харин Хустай хагарал нь ББУ-33Х чиглэлтэй 80 км урт, зүүн хойд төгсгөл нь УБ-аас баруун зүгт 20 км-т орших (Зураг 1(а)) бөгөөд эдгээр хагарлуудын урт болон геоморфологи нь 6.5-7.5 магнитудтай газар хөдлөл болсныг илтгэдэг [22]. Улаанбаатар хот нь өдгөө 1.2 сая хүн ам

төвлөрөн суурьшсан, Монгол улсын эдийн засаг, улс төрийн гол төв болсон байна. Тиймээс газар хөдлөлийн аюулын судалгаа болон газар хөдлөлүүдийн ирээдүйд учруулж болзошгүй хөнөөл, хохирлын магадлалын тооцоо нь манай орны тэргүүн чухал асуудлуудын нэг болж байна [5]. Улаанбаатар хот орчмын газар хөдлөлийн идэвхжилийн нарийвчилсан судалгааг 2008 оноос эхлэн ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг, Франц улсын Страсбургийн Их Сургуулийн судалгааны баг, Орос улсын ШУА-ийн Эрхүүгийн салбарын судалгааны баг бүрэлдэхүүнтэй хамтран жил бүр гүйцэтгэж байгаа болно. Сонгино хагарлын хувьд хоорондоо перпендикуляр байрлал бүхий 2 идэвхтэй хагарлын хооронд оршиж байгаа бөгөөд дээрхи 2 хагарлын шинж чанар, механизмийг ойлгох, тайлбарлахад энэхүү судалгаа нь маш их ач холбогдолтой юм.



ЗУРАГ 1 (а). 1995-2014 оны Улаанбаатар хот орчмын газар хөдлөлийн идэвхжилийг улаан тойргуудаар, хагарлын зураглалын муруйг улаан шугамаар дүрсэлсэн (ООГХ, ҮМТ-ийн мэдээллийн сангаас), хөх эллипсээр Хустайн хагарлын зүүн бүсийг, шар эллипсээр Эмээлтийн хагарлын бүсийг, цагаан эллипсээр Улаанбаатар хотын төвлөрлийн бүсийг, харин судалгааны талбай болох Сонгино хагарлын бүсийг цагаан дөрвөлжингөөр тус тус тэмдэглэсэн. (б) цагаан дөрвөлжин доторхи Сонгино хагарлын бүсийг томруулан харуулсан байдал

Сүүлд болсон газар хөдлөлөөс хойш урт удаан хугацааны туршид хагарал орчмын суларсан хөрс элэгдлийн процест орсноор хагарлын хавтгайн хөрсөн дээрхи эвдрэлүүдийн хэлбэр хэмжээ, байрлал мэдэгдэхгүй болж геоморфологи нь маш их өөрчлөгдсөн байдаг.

Георадарын судалгааны арга нь радарын долгионы ойлтуудын зураглалаар хагарлыг тодорхойлон дүрслэхэд [18, 2, 24] мөн хөрсөн доор булагдаж далдлагдсан голын суваг жалгын тандалтад [7] маш сайн арга бөгөөд цаашид өргөн хэрэглэгдэхээр үр дүнтэй болох нь туршигдаж батлагдсан.

Маш олон судалгааны ажилд георадарын 3 хэмжээст зураглал болон судалгаа нь 2 хэмжээст хөндлөн огтлолуудын судалгаанаас илүү үр дүнтэй бөгөөд илүү үнэн зөв тайлал хийх боломжтойг харуулсан байдаг [10-13, 23, 20].

Beaurêtre ба бусад [1] нар нь далдлагдсан сувгын сүлжээг сэргээн босгож зураглах 3 хэмжээст Георадарын тандалтын судалгаанд, мөн McClumont ба бусад [19] нар нь идэвхтэй хагарлын дүрслэлийг сайжруулах, геометрийн шинж чанарыг тодорхойлоход 3 хэмжээст

Георадарын мэдээллийг ашигласан. Харин Dentith ба бусад [4] 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 [19, 21].

Тиймээс бидний энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь Сонгино хагарлын үндсэн геологийн шинж чанрыг тодорхойлох бөгөөд үүний тулд хагарлын геометрийн шаардлагатай параметруудийг георадарын аргачлал болон тренчийн хосолсон судалгааны тусламжтайгаар тодорхойлоход оршино.

II. ГЕОРАДАРЫН СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Ground-Penetrating Radar (GPR) буюу Георадарын 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 [16].

Георадарын судалгаа нь геологи, байгаль орчин, археологи, уул уурхай, барилга байгууламж, инженерийн шугам сүлжээ, гүний ус, цас мөс, агуй хонгилийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг [16] 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 ба хэвтээ тэнхлэгийн дагуу хийх боломжтойгоор онцлог юм [16].

Георадар нь 10 МГц – 2 ГГц –ийн өндөр давтамж бүхий цахилгаан соронзон долгионы тархалт, ойлт, сарнил гэх мэт физикийн хуулинд тулгуурласан геофизикийн судалгааны нэг гол аргачлал юм [16]. Цахилгаан соронзон долгионы тархалт нь тухайн хөрс болон чулуулгын диэлектрик тогтмол болон цахилгаан дамжуулалт зэрэг геологийн шинж чанараас хамаардаг болохыг Хүснэгт 1 харуулсан ба тархалтын хурд нь 50 – 100 наносек байдаг [15]. Георадар нь бага гүний соронзон шинж чанаргүй чулуулгийн өдөөгдөж цахилгаанжсан болон цахилгаанжаагүй ялгаралуудыг зураглах боломж олгодог [16].

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 (м/мүсек)
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

Георадарын судалгааны арга нь бага гүний хайгуулын аргад ордог бөгөөд тандалтын гүн нь ашиглагдаж буй тодорхой давтамжийн цахилгаан соронзон долгионы замхралаас шалтгаалдагийг Хүснэгт 2-г үзүүлээ [16]. 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 [15]. Нэвтрэх гүн болон зураглалын нарийвчлал нь дамжуулагчаас цацаж буй радио долгионы давтамж болон тус хэмжилтийн орчны геологийн бүтэц, шинж чанар, цахилгаан эсэргүүцэл зэргээс хамаардаг [16].

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (1)$$

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

Хүснэгт 2. Георадарын антений давтамж, нэвтрэх гүний хамаарал

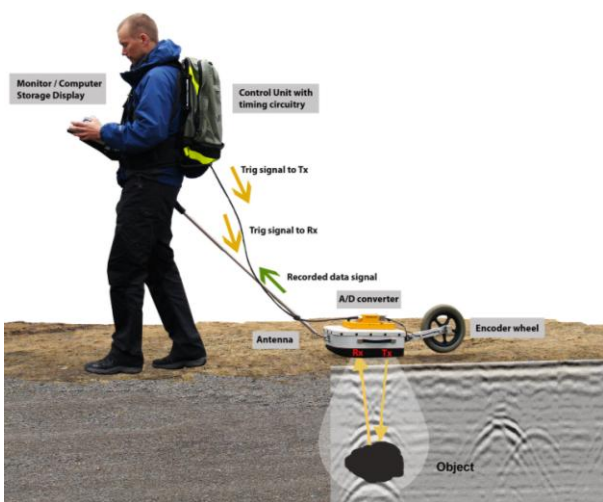
Антенy давтамж (МГц)	Долгионы тархалтын нягтрал ($m/\mu s$), $\lambda_c/4$, (см)	Нэвтэрч чадах дээд гүн (м)
25	100	50
50	50	40
100	25	25
250	10	8
500	5	6
800	3	2.5
1200	2.1	1
1600	1.6	0.5
2300	1.3	0.4

Гүн рүү чиглэсэн босоо тэнхлэгийн нарийвчлал нь ашиглагдаж буй антений 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 [15].

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. Бидний хэмжилт хийсэн аргачлал нь дотроо дамжуулагч болон

хүлээн авагч антений хувьд хамгаалагдсан ба хамгаалагдаагүй антентай гэж 2 ангилагддаг бөгөөд бид хамгаалагдсан антенүүдээр тухайн хэмжилтийг гүйцэтгэсэн.

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 ойлг нь радарграм дээр ямар байдалтай харагдахыг харж болно. Тус зурганд георадарын хэмжилт хийх зарчмыг нарийн харж болно. Явсан нийт замыг антены ард байрлах дугуйгаар хэмжинэ [16]



Зураг 2. Георадарын хамгаалагдсан антений цахилгаан соронзон долгионы тархалт, ажиллах зарчим

III. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙ, ТҮҮНИЙ ГЕОЛОГИЙН ОРЧИН

Сонгино хагарал нь Хустайн нурууны зүүн үзүүрт байрлана (Зураг 1(a)). Хэлбэрийн хувьд жигд нумарсан хэлбэртэй бөгөөд баруун хойд төгсгөл нь Хустай хагарлын зүүн төгсгөл рүү перпендикуляр чиглэлтэй байрлах ба хэвтээ шилжилтийн ул мөрүүд зарим жалга дээр ажиглагддаг (Зураг 1(b)). Харин хагарлын нумарсан дунд хэсэгт босоо шилжилтийн мөргөцөг тод ажиглагддаг ба эдгээр шинж тэмдгүүд нь сансрын зураг дээр илт танигдахаар байдаг хэдий ч газар дээрээ хагарлын мөргөцөг нь урт хугацааны хувирлын явцад их хэмжээгээр хувиралд орж тэгшрэх хандлагатай болсон байдаг.

Хустайн нуруу нь Улаанбаатар хотын баруун хажууд оршдог бөгөөд Туул голын сав газрын дагуу 110 км орчим урт, 55 км өргөн талбайг хамарна. Хэнтийн нуруунаас Туул

голын сав газар руу зөөгдөж буй хэмхдэст материалууд 1.5-6.5 км өргөнтэй аллювийн хурдасуудыг бүрдүүлэх ба хэмжээний хувьд уртавтар аллювийн хурдасуудад Улаанбаатар хотоос баруун тийш чиглэлтэй урсах Туул голын голдирол, тохойрлын өнөө цагийн нөлөө орсон байдаг [8].

Бидний хийсэн геоморфологи, сансрын зургийн тандан судалгаа, хагарлын механизм, хагарлын геометр бүтцийн судалгаа, хээрийн судалгаа, станцуудад бичигдэж байгаа орчин үеийн идэвхжил зэрэгт үндэслэн Хустай болон Эмээлтийн хагарлыг Улаанбаатар хотын газар хөдлөлийн болзошгүй аюулт бүсүүдийн нэгд тооцож байна [8].

Хустайн хагарлын хамгийн зүүн хойд талын хэсгийг Хойд Сегмент гэж нэрлэж байгаа бөгөөд энэ сегмент нь Улаанбаатар хоттой хамгийн ойр байрладаг юм. Хагарлын ул мөр “ASTER” зурганд харагдац муутай байдаг боловч орчны байрзүйн нөхцөлд илэрхий нөлөө үзүүлдэг төдийгүй суналынхаа дагуу хэд хэдэн уулын хярыг огтолсон байдаг. Хустайн-Гол-Хагарал (ХГХ, Хойд, Хойд-Төв болон Өмнөд-Төв сегментүүд) бол ерөнхийдөө тэлэлтийн механизмаас үүдэлтэйгээр хагарлын хавтгайн дагуу босоо хөдөлгөөн буюу зөрөг төрлийн хэв шинж зонхилсон, зүүн хойшоо 60°-ын суналтай, зүүн-талын-хэвтээ шилжилттэй хагарал юм [8]. Хустайн-Нуруу-Хагарлын системн зүүн жигүүр нь Монгол улсын нийслэл Улаанбаатар хотын баруун талд 10 орчим километр оршино. 1974 оноос хойш тухайн хагарлын орчимд магнитуд 4-тэй таван удаагийн, магнитуд 5.4-тэй нэг удаагийн хөдлөлүүд ООГХ-ын станцуудад бичигдсэн байдаг. Өндөр нарийвчлалтай сансрын зургууд, соронзон зураглал, геоморфологи болон трэнчийн судалгаа зэргийг хослуулан судалсны үндсэн дээр хагарлын дагууд нарийвчилсан морфотектоник зураглал хийгдсэн [22, 7-8].

IV. ГЕОРАДАРЫН ХЭМЖИЛТ, МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

А. Георадарын хэмжилт

Бид 2008-2012 оны хооронд Хустай, Эмээлт болон Гүнж, Авдар, Шархай зэрэг хагарлууд дээр нарийвчилсан судалгааны

ажлууд гүйцэтгэсэн бөгөөд Сонгино хагарлыг 2012 онд илрүүлэн 2013 онд нарийвчилсан судалгааны ажил хийж гүйцэтгэсэн.



Зураг 3. Сонгино хагарал орчмын 2009 оны сансрын зураг (улаан шугам – 2013 оны 06 сард георадарын 250 МГц болон 500 МГц антенүүдээр гүйцэтгэсэн хэмжилтийн зарим хөндлөн огтлолуудын байрлал, цагаан дөрвөлжин нь 2013 оны 08 сард ухсан тренчийн байрлал, цэнхэр шулуун нь тренч ухах үед 500 МГц антенаар тренчийн хананд хамгийн ойр хийгдсэн хөндлөн огтлолын байрлал)

2013 оны 6 сард ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг, Франц улсын Страсбургийн Их Сургуулийн судалгааны баг бүрэлдэхүүнтэй хамтран Сонгино хагарал дээр геологийн маршрутын судалгаа хийж георадарын хэмжилт хийх цэгүүдийг тодорхойлсон бөгөөд улмаар хагарлын геометрийг тодорхойлж болохуйц 3 хэсэг дээр георадарын хэмжилтүүдийг хийж гүйцэтгэсэн. Энэхүү георадарын хэмжилтийг бид 250 МГц болон 500 МГц –ийн хамгаалагдсан антенүүдээр гүйцэтгэсэн ба мөн 50 МГц – ийн хамгаалагдаагүй антенаар зарим хэмжилтийг хийж гүйцэтгэсэн. Хагарлын геометрийг тодорхойлох улмаар тренч ухах оновчтой байрлалыг тогтоох үүднээс хагарлын мөргөцөгт перпендикуляр болон параллель чиглэлүүдээр хөндлөн огтлолуудаа сонгосон.

Георадарын хээрийн хэмжилтийн мэдээлэл цуглуулалтыг MALA брендийн иж бүрэн төхөөрөмжүүдийг өөрийнх нь программ хангамж болох RAMAC Groundvision2 программ хангамжийн хамтаар ашиглан гүйцэтгэдэг. Энэ программ нь RAMAC Groundvision прорамм хангамжийн сүүлийн хувилбар бөгөөд параллель портуудаар холбогддог контроллерийн дараачийн дэвшилтэт технологи болох өндөр хурдтай

сүлжээний интерфейст (LAN) зориулагдсан программ хангамж юм. 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 2 см – ээр сонгож хэмжилтээ гүйцэтгэсэн. Георадарын мэдээлэл цуглуулалтад шаардлагатай орчний хүчин зүйлүүд нь хөрсний чийгшил харьцангуй бага, орчны температур -20°C - ээс $+50^{\circ}\text{C}$ (-4°F -ээс $+122^{\circ}\text{F}$) байх шаардлагатай [16] боловч бидний хэмжилт хийх хугацаанд зарим өдөр нь бороотой байсан ба бидний төлөвлөсөн хугацаа давчуу байсан учир зарим хэмжилтийг бороо орсны дараа өдөр нь хийсэн.

Георадарын хөндлөн огтлолууд тус бүр дээр өндөр нарийвчлал бүхий дифференциал GPS систем ашиглан топографыг хэмжиж зохих боловсруулалтан дээр нь оруулан нэгтгэж өгдөг.

В. Георадарын мэдээлэл боловсруулалт

Георадарын зураглалын мэдээллийн анхан шатны боловсруулалтыг RAMAC Groundvision2 программ хангамж дээр хийж болдог бөгөөд уг программ дээр AGC фильтр, DC фильтр, FIR фильтр, HFIR фильтр, Time Gain фильтр зэрэг стандарт филтэрүүдийн сан байдаг. Энэ нь зөвхөн хэмжилт хийх явцын зураглалыг тодотгон харах зориулалттай болно. Иймээс бид Георадарын бүх хэмжилтийн мэдээллийг MATLAB дээр бичигдсэн хэсэгчилсэн программ хангамжыг ашиглан гүйцэтгэдэг [9] RadLab гэдэг программ хангамжаар боловсруулсан. Уг программ хангамжийг Франц улсын Страсбург хотын Их Сургуулийн (EOST) хамт олон боловсруулсан бөгөөд бид хамтын ажиллагааныхаа хүрээнд уг программ хангамжийг чөлөөтэй ашиглаж байгаа болно. RadLab программ нь Георадарын RD3, CGG, SEG Y, DT1, DZT зэрэг бүх төрлийн мэдээллийг уншиж оруулах боломжтой бөгөөд бүх төрлийн филтэр хийж, хурд болон давхаргыг загварчилах топографын мэдээллийг оруулан засвар хийх, мөн 3 хэмжээст зураглал хийх зэрэг олон функцуудтай юм.

Георадарын хэмжилтийн мэдээлэлдээ дараахи боловсруулалтуудыг хийж үр дүнгийн зураглалаа гаргаж авлаа. Үүнд бид холбогдох

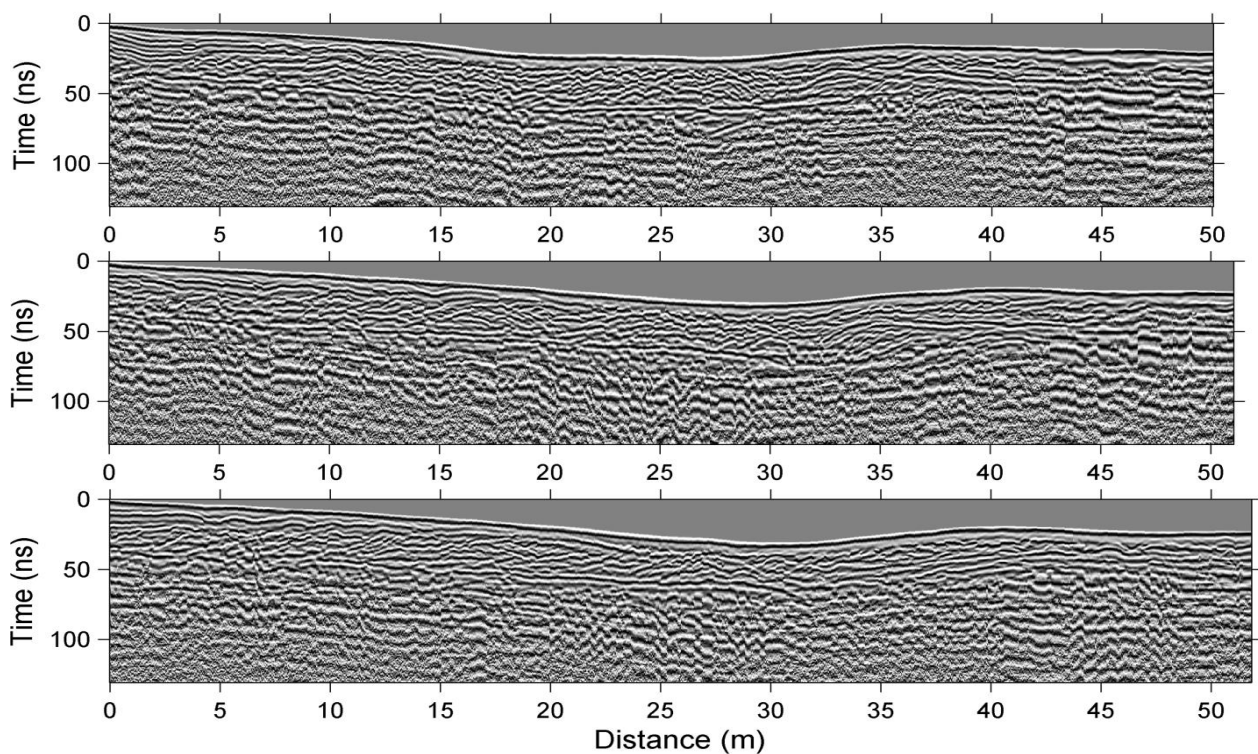
нийтлэг боловсруулалтын арга техникийг ашигласан ба боловсруулалтын дарааллын хувьд эхлээд хугацааны эхний түвшинг тохируулах тогтмол шилжилт (constant shift), маш бага давтамжуудын гажлыг арилгах DC фильтр, газрын гадаргуу болон хамгаалагдсан антенний хамгаалалт хоёрын хооронд үүсэх эмх замбараагүй олон давталтат ойлтын шуугианыг арилгах давхар ойлтуудын фильтр (flat reflections filter), хугацаанаас хамаарсан өсгөлтийн функц (time varying gain function) ба давтамжийн филтэрүүд (bandpass filter) зэрэг орно.

Байр зүйн хэмжилтийн мэдээллийг боловсруулан хөндлөн огтлол тус бүр дээр байр

зүйн файлуудыг бэлдсэний дараа боловсруулалтын эцсийн шат болох тофо завсарыг хийж улмаар Kirchhoff migration [17, 14, 6] анализыг хийдэг бөгөөд хөндлөн огтлол бүрийн байр зүйн шилжилтийн тооцоонд тогтмол хурд хэрэглэсэн.

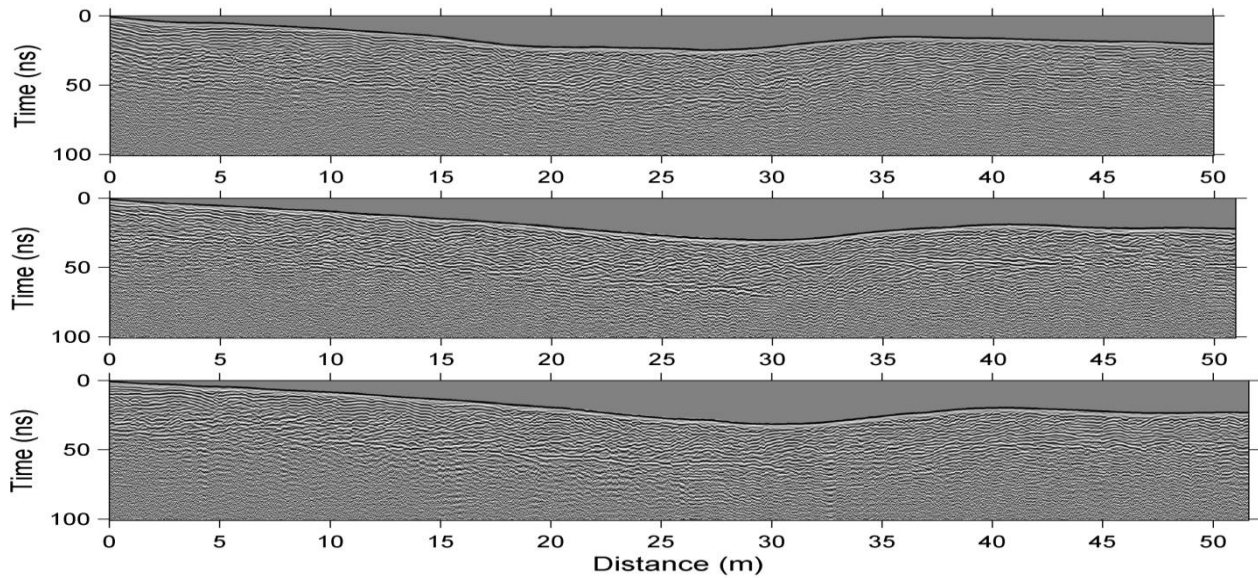
V. ГЕОРАДАРЫН ЗУРАГЛАЛЫН ҮР ДҮН, ТАЙЛАЛ

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 [3].



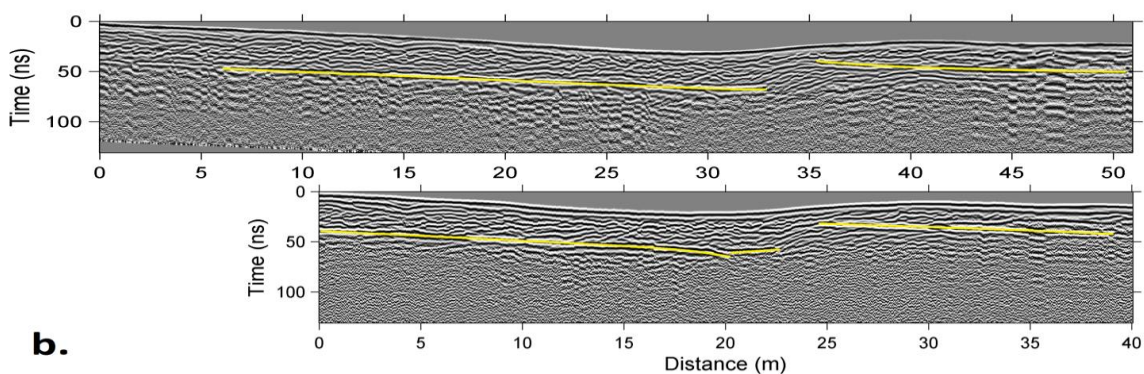
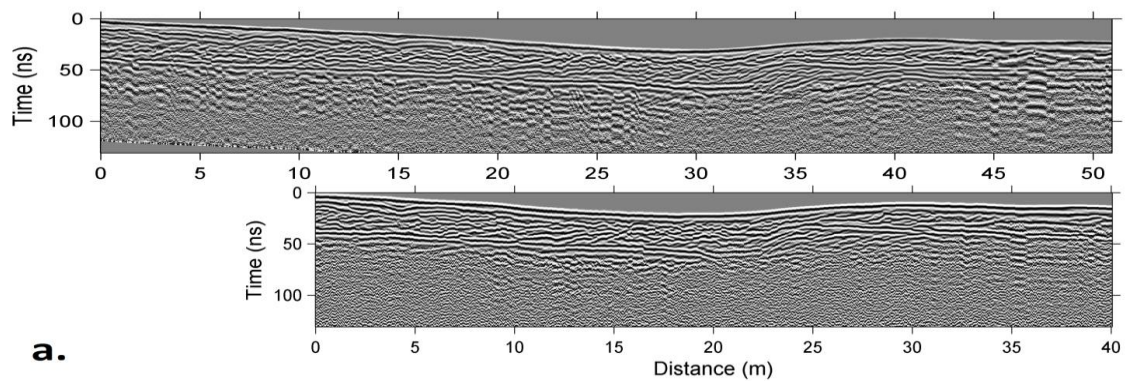
Зураг 4. Хоорондоо 2 м-ийн зайтай 3 параллель хөндлөн огтлолууд дээр хийгдсэн георадарын 250 МГц-ийн антенний зураглал.

Дээд тал P2-хөндлөн огтлол, дунд талд P3-хөндлөн огтлол, доод талд P4-хөндлөн огтлолууд тус тус байна. Байрлалыг Зураг 3 дээр харуулсан. Энэ хэмжилтүүд нь бороо орсны дараа өдөр нь хийгдсэн учир зураглалын чанар, нарийвчлал муу байгаа болно.



Зураг 5. Зураг 4-д үзүүлсэн 3 параллель хөндлөн огтлолын дагуу хийгдсэн георадарын 500 МГц-ийн антений зураглал

Дээд тал Р2-хөндлөн огтлол, дунд талд Р3-хөндлөн огтлол, доод талд Р4-хөндлөн огтлолууд тус тус байна. Байрлалыг Зураг 3 дээр харуулсан.



Зураг 6. Р3 болон Р4 хөндлөн огтлолуудын 250 МГц антений зураглал. (Байрлалыг Зураг 3-д харуулсан. (a) Георадарын үр дүнгийн зураглал, (b) Георадарын тайлал хийсэн зураглал, шар шугамуудаар үе давхаргуудын хил заагыг тодруулан харуулсан)

Георадарын судалгааны арга нь хагарлын шилжилт ба бусад параметруудийг тодорхойлох, далдлагдсан хуучин суваг, жалгыг зураглах зэрэгт маш сайн үр дүнтэй арга юм. Зураг 4-6 дээр үзүүлсэн бүх хэмжилтүүд нь 2013 оны 6 сард хийж гүйцэтгэсэн хээрийн ажлын үр дүн бөгөөд Зураг 4 дээр үзүүлсэн 250 МГц антений 3 хөндлөн огтлолуудын хэмжилтийг бороо орсны дараа өдөр хийсэн. Харин Зураг 5 дээр үзүүлсэн 500 МГц антений 3 хөндлөн огтлолууд болон Зураг 6 дээр үзүүлсэн 250 МГц антений 2 огтлолын доод талынх нь буюу богино хөндлөн огтлолын хэмжилтүүдийг бороо орохоос өмнөх өдөр хийж гүйцэтгэсэн. Мөн Зураг 6 дээр үзүүлсэн 250 МГц антений 2 огтлолын дээд талынх нь буюу урт хөндлөн огтлолын хэмжилтийг бороо орсноос хойш 2 өдрийн дараа хийж гүйцэтгэсэн. Эдгээр үр дүнгийн зураглалуудаас бороо орхоос өмнө хийгдсэн хэмжилтийн зураглалууд илүү чанартай тод ялгаралтай харин бороо орсноос хойш хийгдсэн хэмжилтүүдийн зураглал чанар муу байгааг хялбархан харж болхоор байна.

Зураг 6(a) дээр үзүүлсэн P3 болон P4 хөндлөн огтлолуудын 250 МГц антений үр дүнгийн зураглал дээр хүчтэй ойлт бүхий 2 үе давхаргын хил зааг тод ялгаран зураглагдсан байгаа ба хагарлын босоо шилжилтийн параметрууд тод зураглагдан гарсан байна. Зураг 6(b) дээр үзүүлсэн P3 болон P4 хөндлөн огтлолуудын үр дүнгийн тайллаас тодорхойлсноор Сонгино хагарлын энэхүү хэсэг дээрхи босоо шилжилтийн утга 1.4-1.5 м болох нь тогтоогдсон.

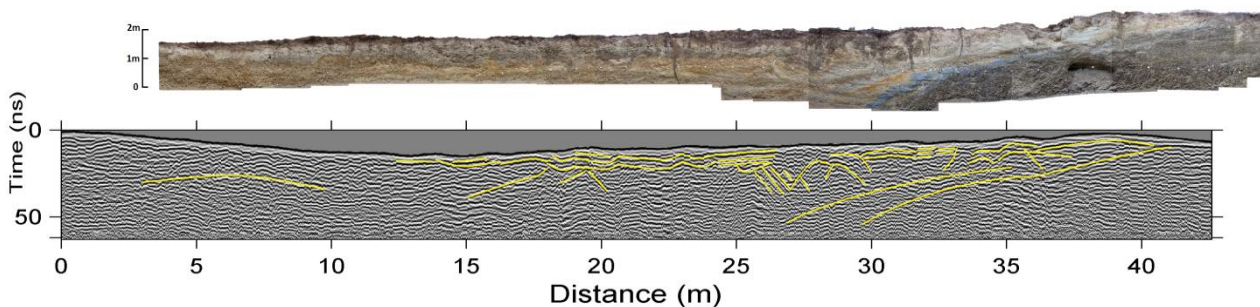
VI. ДҮГНЭЛТ

Хүчтэй газар хөдлөлийн дараа удаан хугацааны элэгдэл хувирлийн явцад хагарлын хөрсөн дээрхи эвдрэл цуурлууд болон ул мөр нь аажмаар арилж тэгшрэн ялгаж танихад хүнд хэцүү болсон байдаг. Иймэрхүү далд нуугдмал бүтцийг илрүүлж тодруулах, нарийвчлан судлаж зураглахад орчин үеийн өндөр, дэвшилтэт электрон техникийн эрчимтэй хөгжил бидэнд санаанд оромгүй шинэ боломж бололцоонуудыг нээн гаргаж өгсөөр байна. Үүний нэг жишээ бол Сонгино хагарал дээр хийгдсэн дээрхи судалгааны ажил бөгөөд үүнд 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.

Геологийн судалгааны тренч ухах оновчтой байрлалыг олж, ажлаа нарийн төлөвлөх, гүйцэтгэхэд мөн адил өндөр үр ашигтай болох нь харагдаж байгаа болно.

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



Зураг 7. Тренчийн фото мозайкийн зургыг түүнээс 2 м зайтай, параллель хэмжилтийн хөндлөн огтлолын зураглалтай харьцуулан зарим тайлал хийн, шар шугамуудаар үе давхаргуудын болон илт ялгарах бүтцүүдийн хил заагыг тодруулан харуулсан байдал

Георадарын 250 МГц болон 500 МГц антений Сонгино хагарал дээрхи хэмжилтийн үр дүнгээр тодорхойлноор хагарлын геометрийн үндсэн гол параметр болох босоо шилжилт нь 1.4-1.5 м хооронд байна.

Мөн георадарын зураглалын чанрыг сайжруулах үүднээс георадарийн цахилгаан соронзон долгионы тархалтад хөрсний чийгшлийн хувь хэмжээ хэрхэн нөлөөлөх талаар илүү нарийвчилсан дэлгэрэнгүй судалгаа хийж хээрийн хэмжилтийн тодорхой аргачлал боловсруулах шаардлагатай нь энэхүү ажлын үр дүнгээс илт харагдаж байна.

VII. ЦААШИД ГАРАХ ҮР ДҮН

Бидний энэ судалгааны ажлын үр дүнгээс танилцуулах илтгэлд Сонгино хагарлын зөвхөн урьдчилсан үр дүнгүүдээс толилуулсан ба илүү нарийвчилсан судалгааны ажил цаашид үргэлжлэн хийгдэж байгаа учраас дараа дараачийн судалгааны илтгэл, эрдэм шинжилгээний бүтээлүүддээ бид илүү дэлгэрүүлэн танилцуулж явах болно. Сонгино хагарлын судалгааны ажлын хүрээнд бидний цаашид хийж гүйцэтгэх болон танилцуулах ажлын үр дүнгээс дурдвал:

Георадарын дээд зэргийн чанартай 3 хэмжээст зураглалыг өндөр нарийвчлал, нягтралтай гадаргуугын топографийн дүрслэлтэй нэгтгэн гаргана.

Мөн хагарлын нэг чухал параметр болох хэвтээ шилжилтийн утгыг георадарын зураглалаар судлан тодорхойлно.

Георадарын судалгааны зураглалын үр дүнгээр тодорхойлогдсон Сонгино хагарлын зарим сонирхолтой бүтэц бүхий хэсгүүдэд бага хэмжээний нэмэлт тренч эсвэл шурф ухаж тайлал хийнэ.

Георадарын цахилгаан соронзон долгионы тархалт буюу хэмжилтийн үр дүнгийн зураглалд хөрсний чийгшлийн хувь хэмжээ хэрхэн нөлөөлж байгааг хөрсний чийгшил, цахилгаан дамжуулалт тодорхойлдог төхөөрөмжийн тусламжтай нарийвчлан судлаж харьцуулсан дүгнэлт гаргахаар төлөвлөж байгаа болно.

ТАЛАРХАЛ

Сонгино хагарлын нарийвчилсан судалгааны ажлыг санхүүжүүлсэн ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн захиргаа болон Улаанбаатар хотын аюулын үнэлгээний төслийн удирдагч Доктор Ч.Одонбаатар нарт талархаж буйгаа илэрхийлье!

Мөн тус судалгааны ажлыг хамтран гүйцэтгэсэн Франц улсын Страсбургийн Их Сургуулийн баг бүрэлдэхүүнд, ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн судалгааны баг бүрэлдэхүүнд, эдгээрийн дотроос георадарын хэмжилтэнд чин сэтгэлээсээ туслан оролцсон жолооч Б.Золбоотыг онцлон гүнээ талархаж, цаашдын ажил хөдөлмөрт нь өндөр амжилт хүсье!

1. Beauprêtre, S. *et al.*, 2012. Finding the buried record of past earthquakes with GPR based palaeoseismology: a case study on the Hope fault, New Zealand, *Geophys. J. Int.*, 189, 73–100.
2. Christie, M., Tsoflias, G.P., Stockli, D.F. & Black, R., 2009. Assessing fault displacement and off-fault deformation in an extensional tectonic setting using 3-D ground-penetrating radar imaging, *J. appl. Geophys.*, 68, 9–16.
3. Davis, J.L. & Annan, A.P., 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy, *Geophys. Prospect.*, 37, 531–551.

4. 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, *J. appl. Geophys.*, 72, 92–101.
5. Dugarmaa, T. *et al.*, 2006. Seismic hazard assessment of Ulaanbaatar, capital of MONGOLIA. Seismic micro zoning map, *Report of Research Center of Astronomy and Geophysics*, 156 p.
6. Dujardin, J.-R. & Bano, M., 2013. Topographic migration of GPR data: examples from Chad and Mongolia, *C. R. Geosci.*, 345, 73–80.

7. 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, *Geol. Soc. Am.*, 32, 85–88.
8. Ferry, M., Schlupp, A., Ulzibat, M *et al.*, 2010. Tectonic Geomorphology of the Hustai Range Fault System (Mongolia): Implications for Regional Geodynamics and Seismic Hazard,
9. Girard, J.F., 2002. *Imagerie géoradar et modélisation des diffractions multiples*, PhD thesis, Université Louis Pasteur, Strasbourg-I.
10. Gross, R., Holliger, K., Green, A.G. & Begg, J.H., 2000. 3D ground penetrating radar applied to paleoseismology: examples from the Wellington Fault, New Zealand, in *Proceedings of the 8th International Conference on Ground Penetrating Radar, Proc. SPIE*, Vol. 4084, eds Noon, D.A., Stickley, G.F. & Longstaff, D., SPIE, Bellingham, WA, pp. 478–481.
11. 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, *Geophys. Res. Lett.*, 29(20), 1973–1977.
12. Gross, R., Green, A., Horstmeyer, H. & Holliger, K., 2003. 3D georadar images of an active fault: efficient data acquisition, processing and interpretation strategies, *Subsurf. Sens. Technol. Appl.*, 4, 19–40.
13. 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, *J. geophys. Res.*, 109, B05401, doi:10.1029/2003JB002615.
14. 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.
15. 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.
16. Jol, H.M., 2009. *Ground Penetrating Radar: Theory and Applications*, Elsevier Science, 525 pp.
17. Lehmann, F. & Green, A.G., 2000. Topographic migration of georadar data: implications for acquisition and processing, *Geophysics*, 65(3), 836–848.
18. Malik, J.N., Sahoo, A.K. & Shah, A.A, 2007. Ground penetrating radar investigation along Pinjore Garden Fault: implication toward identification of shallow sub-surface deformation along active fault, NW Himalaya, *Curr. Sci.*, 93(10), 1427–1442.
19. McClymont, A.F. *et al.*, 2008a. Visualization of active faults using geometric attributes of 3D GPR data: an example from the Alpine Fault Zone, New Zealand, *Geophysics*, 73, B11–B23.
20. McClymont, A.F., Green, A.G., Villamor, P., Hortsmeier, H., Grass, C. & Nobes, D.C., 2008b. Characterization of the shallow structures of active fault zones using 3D ground penetrating radar data, *J. geophys. Res.*, 113, B10315, doi:10.1029/2007JB005402.
21. 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, *J. appl. Geophys.*, 70(4), 343–354.
22. Schlupp, A. *et al.*, 2012. Investigation of active faults near Ulaanbaatar. Implication for seismic hazard assesment, in *Proceedings of the 9th General Assembly of Asian Seismological Commission*, Extended Abstract, Ulaanbaatar, pp. 265–267.
23. Tronicke, J., Vilamor, P. & Green, A.G., 2004. Estimating vertical displacement within the Ngakuru Graben, New Zealand, using 2D and 3D georadar, in *Proceedings of the 10th International Conference on Ground Penetrating Radar*, Delft, the Netherlands.
24. Yalcıner, C.C., Altunel, E., Bano, M., Meghraoui, M., Karabacak, V. & Serdar, H.A., 2013. Application of GPR to normal faults in the Bıyık Menderes Graben, Western Turkey, *J. Geodyn.*, 65, 218–227.