

СУДАЛГААНЫ ӨГҮҮЛЭЛ

УЛААНБААТАР ХОТЫН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН АЮУЛЫН ҮНЭЛГЭЭГ ШИНЭЧИЛЭХ ШААРДЛАГА

Ч.Болорчулуун^{1*} | Г.Адъяа-Очир² | Т.Билгүүнтөгс³ | М.Цогтдулам¹ | Б.Анударь¹

¹ МУИС, ШУС, Газарзүйн тэнхим, Улаанбаатар, Монгол улс

² ШУА, Газарзүй-геоэкологийн хүрээлэн, Зайнаас тандан судлал, оронзайн загварчлалын салбар, Улаанбаатар, Монгол улс

³ Хот төлөвлөлт судалгааны институт, Хот төлөвлөлт, нийгэм эдийн засгийн хэлтэс, Улаанбаатар, Монгол улс

Abstract

Хүлээн авсан: 2021.04.26

Засварлагдсан: 2021.05.01

Зөвшөөрөгдсөн: 2021.05.01

Тулхуур үг: Интерферометр, Хагарал, барилга, газар хөдлөлийн тэсвэржилт

Харилцах зохиогч: Ч.Болорчулуун
МУИС, ШУС, Газарзүйн тэнхим,
Улаанбаатар, Монгол улс
Имэйл: bolorchuluun@num.edu.mn

During long-term erosion after a strong earthquake, cracks in the soil, which are traces of cracks, gradually disappear, making it difficult to identify. The rapid development of modern high technology has opened up unexpected new possibilities for the discovery and detailed study of such hidden structures.

Due to the fact that Ulaanbaatar is located in a seismically active region, the seismic resistance assessment of buildings was based on the seismic micro-region maps and active faults used at that time between 2009-2015. There is an urgent need to map new cracks in Ulaanbaatar that have been discussed in recent years, and to use them to redefine the seismic resistance of buildings.

In this study, interferometer processing of Sentinel 1 satellite data for active sensing was used to identify new cracks with high spatial accuracy and re-evaluate the seismic resistance of buildings at a distance of 100-500 m.

1. ОРШИЛ

Нийслэл Улаанбаатар хот орчмын сейсмик идэвхжил нь баруун Монголын сейсмик идэвхжилтэй харьцуулбал арай бага боловч мэдэгдэхүйц нэмэгдэж байна. 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 илүү идэвхтэй явагдаж байгаа нь тогтоогдсон. Энэхүү хоёр хагарал нь Улаанбаатараас баруун зүгт ойролцоогоор 10км-т байрлах 2008 онд нээсэн Эмээлт болон баруун зүгт 20 км-т оршдог Хустай хагарал бөгөөд эдгээр хагарлуудын урт болон геоморфологи нь 6.5-7.5 магнитудтай газар хөдлөл болсныг илтгэдэг (Зураг 1).

2. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

2.1 Судалгааны талбай

1971 онд Улаанбаатар хотын газар хөдлөлтийн бичил мужлалын зургийг ЗХУ-ын эрдэмтдийн оролцоотойгоор зохиосон. Энэхүү бичил мужлалаар Туул болон Сэлбэ голын дагуу 8 балл, хадан хөрс 6 балл, үлдсэн хэсэг нь 7 балл болгон бүсчилсэн байдаг. Тухайн үед нийт барилгажсан талбайн 25% нь 6 балл, 52% нь 7 балл, 23% нь 8 баллын бүсэд хамрагдаж байсан болно (Imaev et al., 2012; Smekalin et al., 2013). Энэхүү мужлалын зурагт үндэслэн тухайн үед Улаанбаатар хотод баригдах барилгууд нь 6-8 баллыг даах чадвартай гэж үзэн байшин, байгууламжуудаа барьсан. Үүнийг 2010 он хүртэл мөрдөж ирсэн. 2000-2006 онд Улаанбаатар хотын газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээний ажлыг Франц улсын

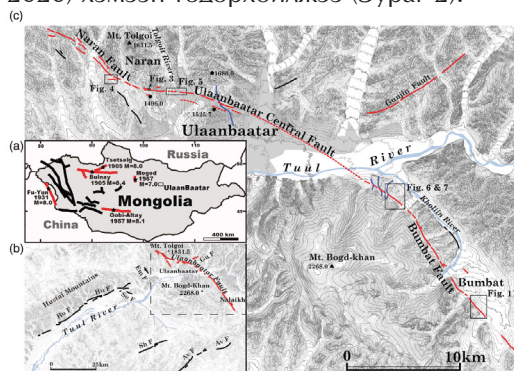
эрдэмтэдтэй хамтран судалгааг хийсэн (Ferry et al., 2010). Уг судалгааны үр дүнгээр Улаанбаатар хотын талбайг 7-8 баллын бүсэд хуваасан 1:25000 масштабтай зураг хийсэн. Энэхүү судалгааны ажлын явцад Улаанбаатар хотын орчим Хустай, Эмээлт, Гүнж, Авдар, Шархай, Дэрэн зэрэг газар газар хөдлөлтийн идэвхтэй хагарлууд байгааг тогтоосон боловч тухайн үед хагарлын судалгааг нарийвчлан тодорхойлоогүй болно. Харин 2010 онд нарийвчлан тогтоосон (Нямбаяр, 2018; Al-Ashkar, 2013; Bayasgalan, 1999).

Улаанбаатар хотын газар хөдлөлтийн идэвхжил нэмэгдэж байгаагаас барилга байгууламжуудын ашиглалтын төлөв, газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх байдлыг тодорхойлох шаардлага гарч шалгалтыг үе шаттайгаар хийж эхэлсэн. Мэргэжлийн Хяналтын Ерөнхий Газраас 2006-2013 онуудад нийслэлийн 9 дүүргийн нутаг дэвсгэрт ашиглагдаж байгаа нийтийн зориулалттай орон сууцны 382 барилгад шалгалт хийгдсэнээс газар хөдлөлтийн эсрэг арга хэмжээ нь өнөөгийн шаардлагад нийцэхгүй, газар хөдлөлтөд тэсвэргүй, цаашид дахин төлөвлөлт хийж шинэчлэх барилгажуулах шаардлагатай 1970 оноос өмнө баригдсан нийт 330 орчим орон сууцны барилга байна гэж тодорхойлсон. Түүнчлэн уг шалгалтаар Улаанбаатар хотын их дээд сургууль, коллежийн 13 барилга, 12 дотуур байр, улсын эмнэлгийн 129 барилгаас 38 нь газар хөдлөлтийг тэсвэрлэх чадваргүй гэсэн дүгнэлт гарсан. Улаанбаатар хотод 6.5-7.6 баллын хүчтэй газар хөдлөхөд нийт барилга байгууламжийн 20-50 хувь нь нурж, 200-300 мянган хүн энэхүү байгалийн гамшгийн хохирогч болж, 30-60 мянга хүн нас барах магадлалтайг Японы JICA олон улсын байгууллагаас 2013 онд ОБЕГ-тай хамтарсан газар хөдлөлтийн гамшгийн үнэлгээгээр тогтоосон.

Одон орон геофизикийн хүрээлэн 2012-2014 онд Улаанбаатар хотын 1:10 000 масштабтай газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураглал хийн 2016 оны Шинэлэх Ухааны Академийн Ерөнхийлөгчийн А/201

тоот тушаал, Барилга Хот Байгуулалтын Сайдын 2016 оны 198 дугаар тушаалаар баталгаажуулсан. Энэхүү шинэчилэн баталсан Улаанбаатар хотын газар хөдлөлтийн бичил мужлалын газар хөдлөлтийн балл нь MSK шаталбараар нэг баллаар нэмэгдсэн (Demberel et al., 2013; Schlupp et al., 2012; Schlupp, 2013).

2018 онд Япон-Монголын хамтарсан судлаачид Улаанбаатар хотын дундуур дайран гарсан долоо дахь хагарлыг илрүүлсэн боловч түүний байршлыг нарийвчлан тогтоох ажил сүүлийн 3 жилийн турш хийж байна. Улаанбаатар хотын төвийн хэсгээр дайрсан гэх уг хагарал нь барилгажилт бүтээн байгуулалтаас болоод тодорхойлох тооцоолоход нэн хүндрэлтэй байсан болно. Олон Улсын Газар хөдлөлийн судлаачдын “Seismological research letters” сэтгүүлийн 2021 онд хэвлэгдсэн дугаарт Улаанбаатар хотын 7 дахь хагарлыг “Улаанбаатар хагарал” хэмээн нэрлэж уг хагарал идэвхтэй хагарал (Suzuki et al., 2020) хэмээн тодорхойлжээ (Зураг 2).



Зураг 2. Шинээр тодорхойлсон Улаанбаатар хагарал
а)-Монгол оронд XX зуунд болсон томоохон газар хөдлөлүүд; б)- Улаанбаатар хотыг тойрсон идэвхитэй хагарал; в)-Улаанбаатар хагарал
Эх сурвалж: Suzuki et al., (2020)

50км урттай энэхүү хагарлын уртаас үндэслэн нь M7-оос дээш магнитудын хүчтэй газар хөдлөлтийг үүсгэж болзошгүй хэмээн дүгнэсэн. Үүнээс үүдэн барилга байгууламжид их хэмжээний хохирол

учирч, хотын бүсэд учирч болзошгүй ноцтой шалтгааныг үүсгэж болзошгүй тул одоо мөрдөж байгаа газар хөдлөлийн бичил мужлал, барилгууд болон баригдах барилгын газар хөдлөлтөд тэсвэрлэх нөхцөлийг шинэчлэх шаардлага гарч ирж байна.

2.2. Судалгааны арга зүй

Судалгааны талбайгаар нээлттэй эх үүсвэрийн Европын холбооны сансрын агентлаг (ESA) 2014 онд хөөргөсөн

Sentinel-1 хиймэл (Foumelis, 2018) дагуул 240км² талбай бүхий Улаанбаатар хот, хот орчмын газар нутгийг сонгон авсан. Тус ажилд идэвхтэй тандан судлалын хиймэл дагуул болох Sentinel 1 хиймэл дагуулын 5.5 см-ын урттай C долгионы мэдээг ашиглав. Энэхүү судалгааны ажилд 2017 оны 9 сарын 20 болон 2020 оны 8 сарын 17-ны өдрүүдийн Sentinel 1 хиймэл дагуулын мэдээг ашигласан бөгөөд Орон зайн боловсруулалтыг Зураг 4-д харуулсан н арга зүйгээр хийсэн болно.



Зураг 3. Судалгааны аргазүйн схем

InSAR ашиглан хагарал тодорхойлох

Геологийн тогтоцийг судлахад радио долгион ашиглах онолын үндэслэлийг 1910 онд Г.Лови, Г.Лейбах нар тавьсан бөгөөд 1912 онд хүдэр, газрын доорх усыг радио долгионы аргаар хайх боломжийг үндэслэл болгосон. Анхны георадар нь мөсөн голын зузааныг тодорхойлох зорилгоор 1929 онд Австри улсад байгуулагдсан. Ground-Penetrating Radar (GPR) буюу Георадарын судалгааны багажаар 1937 онд анхны цахилгаан соронзон долгионоор геофизикийн хайгуул хийх аргыг туршиж тэр цагаас хойш тус багаж нь аажмаар хөгжсөөр 1972 онд анх сарны гадаргууд радарын зураглал ашиглан зурагласан (Tseedulam, 2009; Нямбаяр, 2018).

Радарын судалгаа нь геологи, байгаль орчин, археологи, уул уурхай, барилга байгууламж, инженерийн шугам сүлжээ, гүний ус, цас мөс, агуй хонгилын судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг ба багажийн

давуу тал нь том хэмжээний талбайг богино хугацаанд өөр өөр туйлшралын долгион ашиглах боломжтойгоор онцлог юм (Sun, 2015) Идэвхтэй тандан судлалын радарын судалгааны арга нь радарын долгионы ойлтуудын зураглалаар хагарлыг тодорхойлон дүрслэхэд мөн хөрсөн доор булагдаж далдлагдсан голын суваг жалгын тандалтад маш сайн арга бөгөөд цаашид өргөн хэрэглэгдэхээр үр дүнтэй болох нь туршилтаар батлагдсан болно (Walker, 2008; Gong, 2011; Hooper, 2008).

Синтетик апертуртай радар (SAR) нь агаар, сансрын янз бүрийн төвшингээс мэдээ хүлээн авахдаа антенаас цацруулсан богино долгионыг ашиглах бөгөөд эх дэлхий дээр явагдаж байгаа янз бүрийн процессын тухайн цаг үеийн мэдээг тоон хэлбэрээр шууд хүлээн авах чадвартай учир боловсруулалт, дүн шинжилгээ хийхэд хялбар, улмаар төрөл бүрийн сэдэвчилсэн давхаргуудтай уялдуулахад бэрхшээлгүй

байдаг. Богино долгионы мэдээг хүлээн авдаг радарын төхөөрөмжийн хувьд тандалтад ашиглаж буй долгионы урт, туйлшралын шинж чанар чухал байдгаас гадна, оронзайн шийд чухал үүрэгтэй. SAR-ын хувьд, тоон зургийн орон зайн шийдийг уг биетээс буцаж сарнисан радарын импульсуудыг нэгтгэх замаар тодорхойлдог бөгөөд анхдагч сигналын боловсруулалтыг хийсний дараа пикселүүдийг тархаан байршуулна. Пиксел нь зургийн нарийвчлалыг тодорхой хэмжээгээр илэрхийлэх боловч, оронзайн шийдийг төгс тодорхойлохын тулд голдуу 2 пикселийг ашигладаг онцлогтой (Baek et al., 2008; Delgado et al., 2019).

Интерферометрын Синтетик апертур радар (InSAR)-ын арга аргачлал нь богино долгион ашигладаг тул атмосферийн аливаа хүчин зүйлээс хамааралгүйгээр байр зүйн болон физик гадаргын шилжилт, өөрчлөлтийг өндөр нарийвчлалтай судлах боломжийг бий болгодог. Байрлалаас шалтгаалан гарах фазын ялгааг ашиглан гадаргын тоон загвар (DSM) байгуулдаг. Аливаа биетээс сарнисан долгионы фазыг тооцоолсноор газрын гадаргын өндөржилтийг өндөр нарийвчлалтай тооцоолох ба өөр өөр цаг хугацааны мэдээ ашиглан тооцоолсон интерферометр (InSAR) нь газрын гадаргын шилжилт хөдөлгөөнийг мм-ын нарийвчлалтай тооцоолох боломжийг олгодог (Yagüe-Martinez, 2016).

Энэхүү судалгааны ажилд Andy Nooreg (2007, 2008)-ын боловсруулсан интерферометрийн аргаар газрын гадаргын өөрчлөлтийг зураглах, түүний гадаргын тоон загварыг тооцоолох аргачлалыг тулгуур болгон ашиглалаа. Өндөржилтийн доорх томъёогоор тооцоолж гаргав.

$$h = H - r_1 \cos \left(\sin^{-1} \left(\frac{\lambda \phi}{2\pi B} \right) + \alpha \right)$$

Энд:

h - өндөржилт

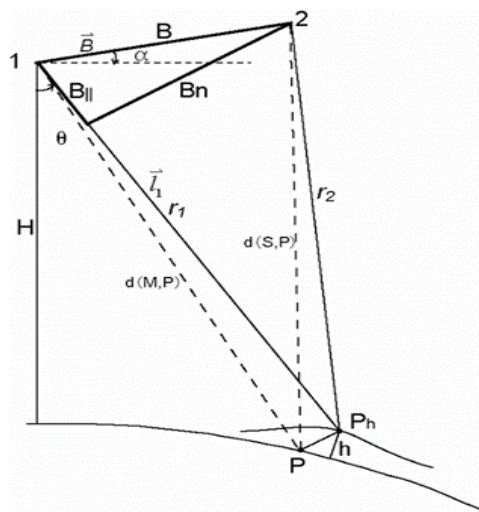
H - Нислэгийн өндөр

r_1 - Радарын антеннаас объект хүртэлх зай

λ - долгионы урт

ϕ - интерферометрийн фаз

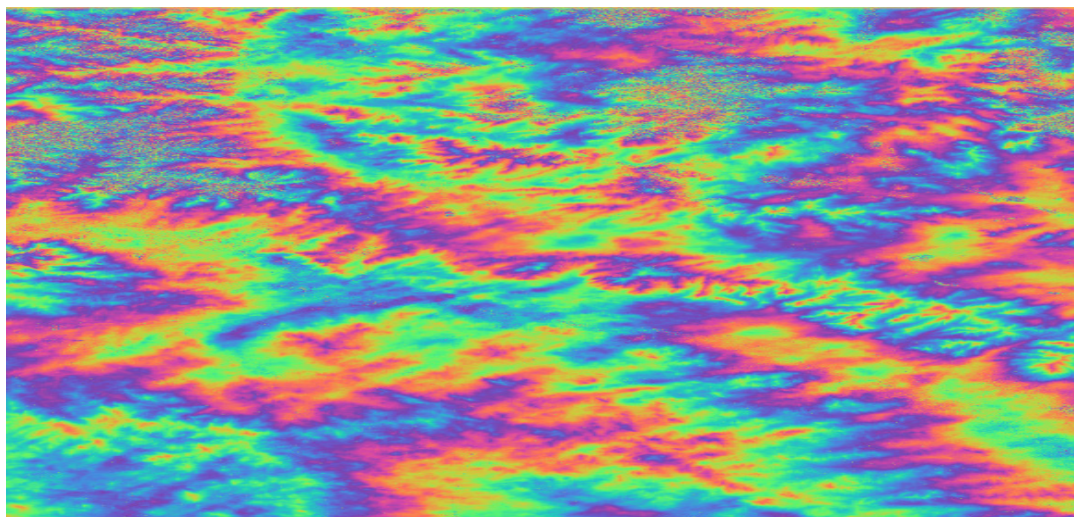
α - эргэлтийн өнцөг
 B - 1 ба 2 байрлын урт



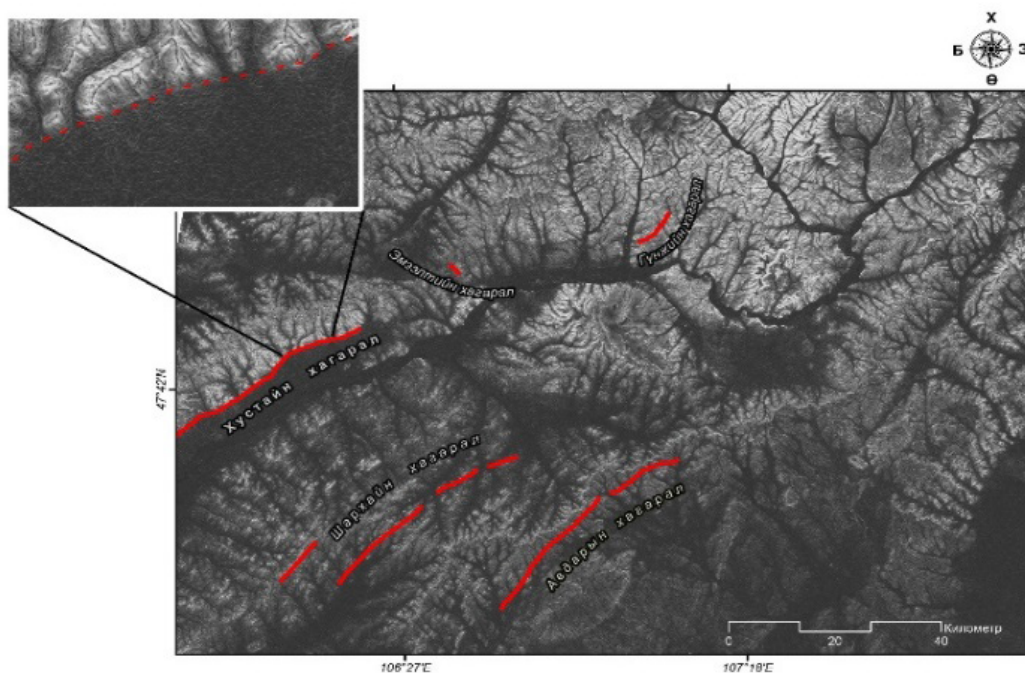
Зураг 4. InSAR ашиглан өндөр тодорхойлох

3. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Азимут болон мужийн засал нь тухайн 2 зургийн орбитын мэдээлэл болон интерполяцын аргад тулгуурлан нэгдмэл 1 зураг болгон гаргадаг. Интерферометр нь 2 зургийн хоорондын фазын ялгааг тооцоолон, далайцыг үржүүлэх замаар үүсдэг ба 2 зургийн хугацаа ойрхон байх тусам үр дүнгийн үнэмшил ихэсдэг (Foumelis, 2018). Харин Кохеренсийн утга бага байх нь бодолтын үр дүнд сөрөг нөлөө учруулдаг бөгөөд түр зуурын (хэт их ургамалжилт, усны төвшин ихсэх), геометрийн (орбитын мэдээний алдаа) зэрэг нь кохеренсийн утгыг багасгадаг. Интерферометрийн тооцооллын үр дүн нь цаг хугацааны болон геометрийн засал, эзлэхүүний сарнилтаас үүдэн үр дүнд шуугиан үүсэх боломжтой. Фазын утгийг өөрчилж болохгүй ч, интерферометрийн үр дүнд гарсан шуугианыг сайжруулахын тулд Fast Fourier Transformation (FFT) ашигладаг Goldstein шүүлтүүр гэх мэт тусгай фазын шүүлтүүрүүдийг ашиглах замаар үр дүнг сайжруулж болно (Зураг 5).



Зураг 5. Интерферометрийн боловсруулалтын үр дүн



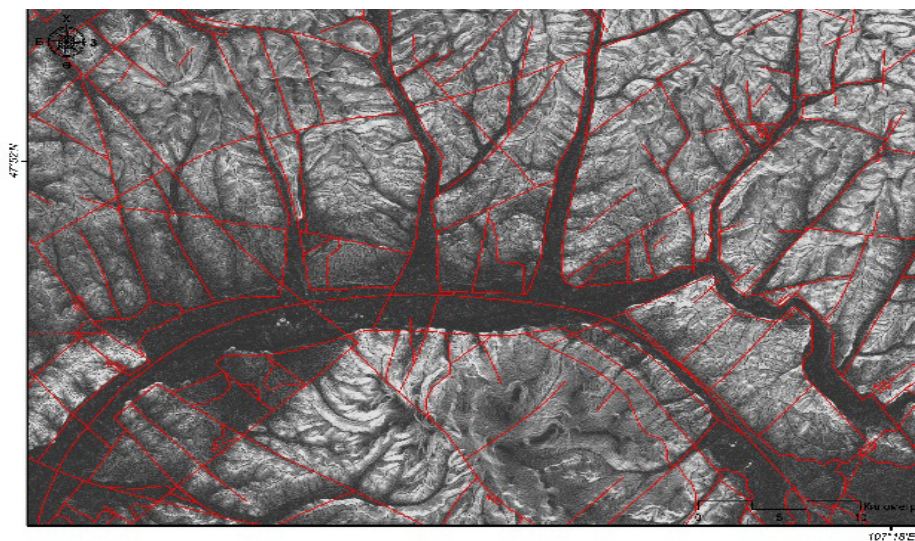
Зураг 6. Интерферометрийн зургаас боловсруулан гаргасан гадаргын тоон загварын анаглиф дээр Улаанбаатар хот орчмын 6 идвэхитэй хагаралуудыг давхцуулсан байдал

Интерферометрийн боловсруулалтын үр дүн (Зураг 5)-д байгалийн хил зааг тодорч байгаа бөгөөд үүнээсээ гадаргын тоон загвар үүсгэх боломжтой болдог. Зураг 6-д интерферометрийн боловсруулалтын үр дүнгээс гарган авсан гадаргын тоон загвар

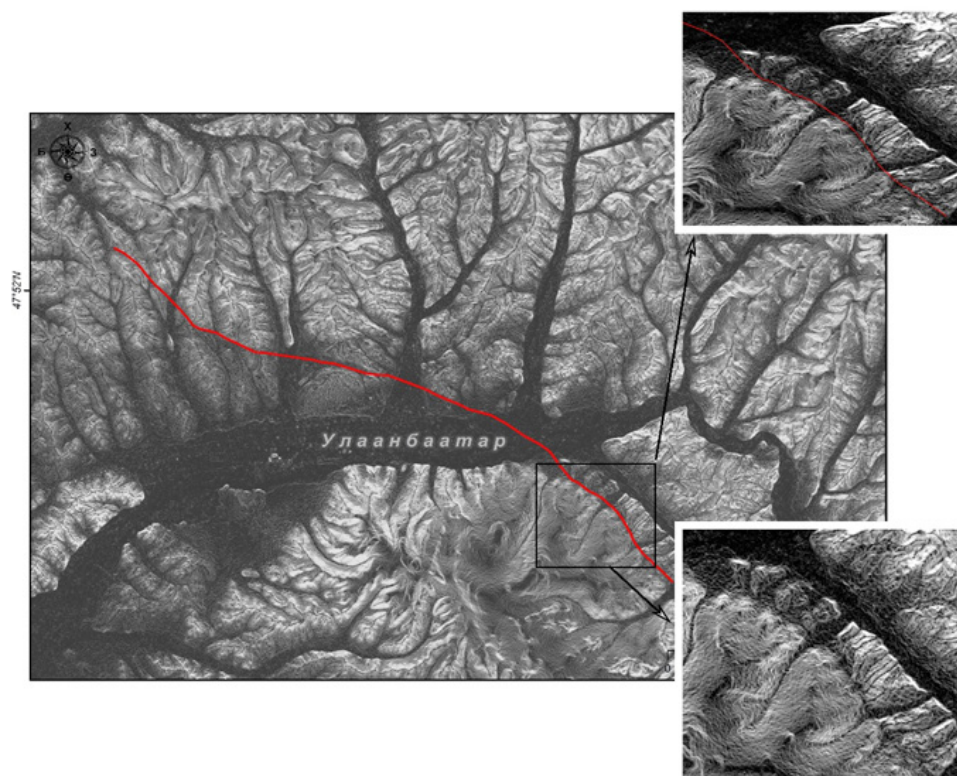
болон Улаанбаатар хот орчмын 6 идвэхтэй хагарлыг байршлын хувьд давхцуулан харьцуулсан байдлыг үзүүлэв.

Мөн Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн 2014 онд хийсэн Улаанбаатар хотын газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураг

хийх явцад хийсэн геологийн хил заагтай давхцуулахад таарц 100 хувь байлаа



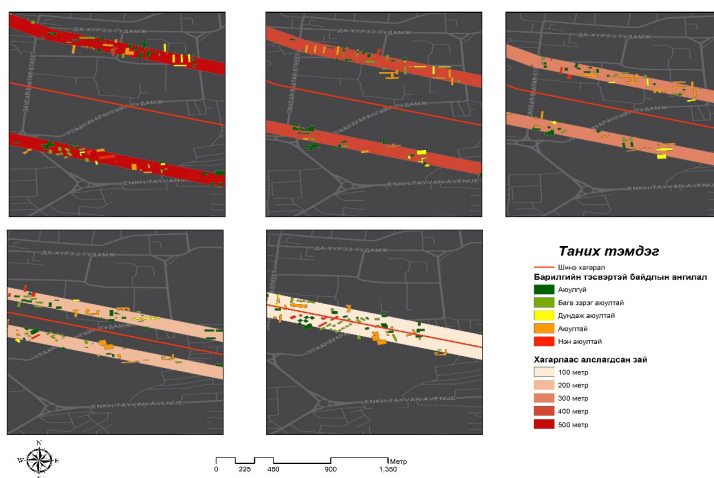
Зураг 7. Интерферометрийн зургаас боловсруулан гаргасан гадаргын тоон загварын анаглиф дээр геологийн хил заагтай давхцуулсан байдал



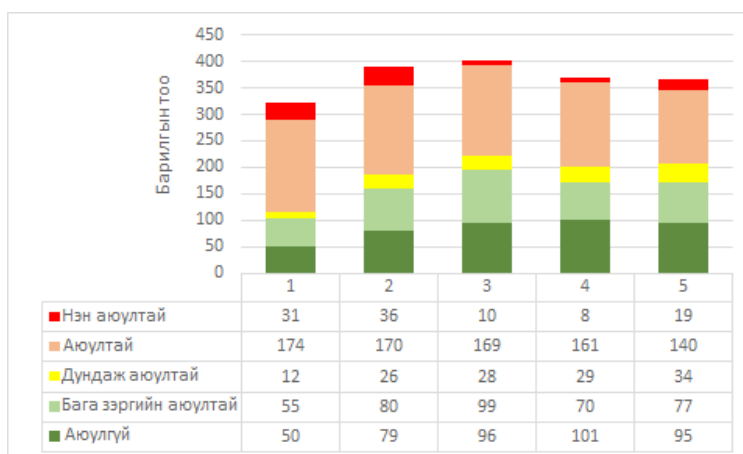
Зураг 8. Интерферометрийн зургаас боловсруулан гаргасан гадаргын тоон загварын анаглиф дээр Улаанбаатар хагаралыг тодорхойлсон нь

Үр дүнгийн зурагт шинэ Улаанбаатар хагарал маш тодорхой гарсан бөгөөд Suzuki ба бусад судлаачдын (2020) судалгааны үр дүнтэй тохирч байна. Тиймээс Улаанбаатар хагарал шинээр тодорхойлогдсонтой холбоотойгоор газар хөдлөлийн бичил мужлалтад өөрчлөлт оруулах зайлшгүй шаардлагатайг болох нь энэхүү судалгаанаас харагдаж байна. Бид тооцоолон гаргасан Улаанбаатар хагарлаас 500м хүртэл зайд орших Баянзүрх, Сүхбаатар, Чингэлтэй, Баянгол

дүүргийн гэр хорооллын хувийн сууцнаас бусад зориулалтын нийт 1849 барилга байгууламжид БНБД 22-04-16 “Газар хөдлөлийн бичил мужлалтын зураг ашиглах норм, дүрэм”-ийн дагуу тэдгээрийн хийц, баригдсан он болон давхаржилтыг тооцоолон дахин үнэлгээ хийсэн. Хагарлын уртаас шалтгаалан барилга байгууламж хэрхэн өртөж байгааг бүхэлд нь харуулах боломжгүй тул Зураг 9-д Баянзүрх дүүргийг хэсэгчлэн үзүүлэв.



Зураг 9. Улаанбаатар хагарлаас 500м зайд орших барилгуудын газар хөдлөлийн эрсдэлийн үнэлгээ



Зураг 10. Улаанбаатар хагарлаас 500м зайд орших барилгуудын хөдлөлийн эрсдэлийн үнэлгээний ангилал

Дээрхи эрсдэлийн үнэлгээнд нийт 1849 барилга байгууламжийн 421 буюу 22.7% аюулгүй, 381 буюу 20.6% бага зэргийн аюултай, 129 буюу 7% дундаж аюултай, 814 буюу 44% аюултай, 104 буюу 5.6% аюултай гэж үнэлэгдсэн нь өмнөх үнэлгээтэй 65% таарсан.

7. ДҮГНЭЛТ

Хүчтэй газар хөдлөл болсоноос хойш цаг хугацааны явцад хагарал орчмын суларсан хөрс элэгдлийн процест орсноор хагарлын хавтгайн хөрсөн дээрх эвдрэлүүдийн хэлбэр хэмжээ, байрлал мэдэгдэхгүй болж энгийн нүдээр хараад тодорхойлоход нэн хүндэртэй болдог. Тиймээс орчин үеийн зайнаас тандах арга түүний дотор идэвхтэй тандан судлалын хиймэл дагуулын мэдээг газар хөдлөл, гадаргын өөрчлөлт зэрэг богино болон урт хугацаанд аюул учруулж болзошгүй байгалийн үзэгдлийг урьдчилан таамаглах, тохиолдсон гамшгийн цар тархалтыг судлахад өргөнөөр ашиглаж байна.

Бид энэхүү судалгааны ажлаараа Улаанбаатар хотыг тойрсон 6 хагаралаас гадна суурьшлийн бүсийг дайрсан 7 дахь хагаралыг хиймэл дагуулын мэдээнээс интерферометрийн аргаар тооцоолсон нь бусад судлаачдынхтай таарч байна. Энэхүү 7 дахь Улаанбаатар хагаралыг идэвхтэй хагарал хэмээн Монгол-Японы эрдэмтдын хамтарсан судалгаандаа онцлон дурдсан. Улмаар Улаанбаатар хотын бичил мужлалд өөрчлөлт оруулах зайлшгүй шаарлага тулгарч байна.

Хот төлөвлөгчид, судлаачид Улаанбаатар хотыг тойрсон хагаралуудаас тооцсон аюулын зэргийн үзүүлэлт ихтэй идэвхтэй хагарал болох Эмээлт, Гүнжийн хагаралаас үүдэлтэй газар хөдөлтийн үед Улаанбаатар хотын барилга байгууламж, зам шугам сүлжээний тэсвэртэй байдлын үнэлгээний ажилд өөрчлөлт хийгдэх шаардлагатай болж байна.

Бид тооцоолон гаргасан Улаанбаатар хагарлаас 500м хүртэл зайд орших барилга байгууламжинд БНБД 22-04-

16 -ийг баримтлан эрсдэлийн үнэлгээ хийсэн. Эрсдэлийн үнэлгээнд нийт 1849 барилга байгууламжийн 22.7% аюулгүй, 20.6% бага зэргийн аюултай, 7% дундаж аюултай, 44% аюултай, 5.6% аюултай гэж үнэлэгдсэн нь өмнөх үнэлгээтэй 65% таарч байна. Цаашид улаанбаатар хотын бүх барилга байгууламжийн газар хөдлөлтийн тэсвэржилтийг дахин үнэлэх зайлшгүй шаардлага тулгарч байна.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Al-Ashkar, A., Schlupp, A., Ferry, M., Ulziibat, M., Demberel, S. and Granet, M., 2013. Avdar, an active fault discovered near Ulaanbaatar, Capital of Mongolia: Impact on seismic hazard, EGU General Assembly, Vol. 15, Vienna, Austria, April 2013, EGU2013-10700.
- Baek, J., Sang-Wan, K., Hyuck-Jin, P., Hyung-Sup, J., Ki-Dong, K., Jeong, W.K., 2008. Analysis of ground subsidence in coal mining area using SAR interferometry, Canadian Journal of Remote Sensing, 12: 277-284
- Bayasgalan, A., Jackson, J. A., 1999. A re-assessment of the faulting in the 1967 Mogod earthquakes in Mongolia, Geophys. J. Int. 138, 784–800.
- БНБД 22-04-16, 2016, “Газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураг ашиглах норм, дүрэм”
- Delgado Blasco, J.M., Michael F., Chris S., Andrew H., 2019. Measuring urban subsidence in the rome metropolitan area (italy) with sentinel-1 snap-stamps persistent scatterer interferometry. Remote Sensing, 11: <https://doi.org/10.3390/rs11020129>
- Demberel, S., Imaev, V. S., Rogozhin, E. A., Smekalin, O. P., Ulzibat, M. and Chipizubov, A. V., 2013. To clarify the seismic hazard for Ulaanbaatar-city (Mongolia), Seismol. Issues 40, 19–32.
- Ferry, M.A., Schlupp, A., Ulzibat, M., Marc, M., Simon, F., Baatarsuren, G., Erdenezula, D., Munkhsaikhan, A., 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, May 2010, 11122.
- Foumelis, M., Delgado B., Desnos Y., Engdahl M., Fernandez D., Veci L., Lu J., Wong C., 2018. ESA SNAP – StaMPS Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry. 10.13140/RG.2.2.25803.90405.
- Gong, W., Meyer, F., Webley, P.W. and Lu, Z., 2011. Methods of insar atmosphere correction for volcano activity monitoring, *Geophysical Research Letters*, 102(8).11-17:
- Hooper, A., 2008. A multi-temporal insar method incorporating both persistent scatterer and small baseline approaches, *Geophysical Research Letters*, 35(16):
- Hooper, A., Segall, P. and Zebker, H.A., 2007. Persistent scatterer InSAR for crustal deformation analysis, with application to Volc6n Alcedo, Gal6pagos, *Journal of Geophysical Research*, 112:
- Imaev, V. S., Smekalin, O. P., Strom, A. L., Chipizubov, A. V. and Syas'ko, A. A., 2012. Seismic-hazard assessment for Ulaanbaatar (Mongolia) on the basis of seismogeological studies, *Russ. Geol. Geophys.* 53, 906–915.
- Schlupp, A., Ferry, M., Munkhuu, U., Demberel, S. and Al-Ashkar, A., 2013. Active faults system and related potential seismic events near Ulaanbaatar, capital of Mongolia, EGU General Assembly, Vienna, Austria, April 2013, EGU2013-7821.
- Schlupp, A., Ferry, M., Ulziibat, M., Baatarsuren, G., Munkhsaikhan, A., Bano, M., Dujardin, J.M., Nyambayar, Ts., Sarantsetseg, L., Munschy, M., 2012. Investigation of active faults near Ulaanbaatar: Implication for seismic hazard assessment, *Proc. 9th General Assembly of Asian Seismological Commission, Ulaanbaatar, Mongolia, Extended Abstract*, 265–267.
- Smekalin, O. P., Imaev, V. S. and Chipizubov, A. V. 2013. Paleoseismic studies of the Hustai Fault zone (Northern Mongolia), *Russ. Geol. Geophys.* 54, 724–733.
- Sun, Q., Zhang, L., Ding, X.L., Hu, J., Li, Z.W., Zhua, J.J., 2015. Slope deformation prior to zhouqu, china landslide from insar time series analysis, *Remote Sensing of Environment*, 156: 45-57
- Suzuki Y., Nakata, T., Watanabe, M., Battulga, S., Enkhtaivan, D., Demberel, S., Odonbaatar, Ch., Bayasgalan, A., Badral, T., 2020. Discovery of Ulaanbaatar Fault: A New Earthquake Threat to the Capital of Mongolia, *Seismological Research Letters*, 92 (1): 437–447.
- Tseedulam, Kh., 2009. Application of Polarimetric GPR to detection of subsurface objects, *Tohoku University*, 117p
- Walker, R. T., Molor, E., Fox, M. and Bayasgalan, A., 2008. Active tectonics of an apparently aseismic region: Distributed active strike-slip faulting in the Hangay Mountains of central Mongolia, *Geophys. J. Int.* 174, 1121–1137.
- Yaгье-Мартннез, N., Pau ,P., Fernando, R.G., Ramon, B., Robert, S., Dirk, G., Michael, E., Richard, B., 2016. Interferometric processing of Sentinel-1 TOPS data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2016, 54(4): 2220-2234
- ООФГХ. <https://iag.mn/mn/index.php?pid=33&nid=66> 2015 102(8).11-17.
- Нямбаяр, Ц., Ванo, M., Schlupp, A., Өлзийбат, М., Цээдулам, Х., 2018. Идэвхтэй хагарлын төрлийг георадарын (GPR)-ийн тандан судалгаагаар тодорхойлсон ажлын үр дүн, *Геофизик ба Одон Орон судлал* N5, х. 13-22