

Methodology for calculating trifunac duration

Zagdsuren Sainbayar^{1*}, Baasansuren Shurkhuu¹, Diimaa Baatarjav¹, and Batbayar Purevkhuu¹

¹Khovd Branch of Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian Academy of Sciences, Khovd, Mongolia

Received: 2025-10-25, Accepted: 2025-12-10, <https://doi.org/10.5564/mjag.v12i1.5194>

*Corresponding author: zagdsuren@iag.ac.mn ● 0000-0002-4138-9687

Abstract

In July 2005, with the support of France's DASE, an accelerometer (SMACH, 2005) was installed on rocky ground to the east of the Khovd seismic station to record ground acceleration during felt earthquakes. Since its installation, the station has recorded more than 20 strong earthquakes that occurred in the western region of Mongolia. The vibrations from these earthquakes were felt by residents of Khovd city and nearby soums, and due to the high ground motion, they were successfully registered by the station. From the recorded data, several strong events were analyzed to determine parameters such as Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, Peak Ground Displacement, Response Spectrum, Arias and Housner Intensities, Trifunac Duration, and Cumulative Absolute Velocity. This paper focuses on analyzing the Trifunac duration to determine the period during which the maximum energy of seismic waves is released during an earthquake.

Keywords: Trifunac Duration, Arias intensity, cumulative absolute velocity

1. Удиртгал

Монгол орны нутаг дэвсгэрийн сейсмшил, хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтийн бүс, гүний тогтоц, бүс нутгийн горим, газар хөдлөлийн аюулын үнэлгээ зэрэг судалгаанд сейсм долгионы кинематик, динамик хэмжигдэхүүнүүдийг нарийвчлан тодорхойлох ажил чухал ач холбогдолтой. Хүчтэй газар хөдлөлийн газрын хөдөлгөөний үргэлжлэх хугацаа нь уг байгалийн үзэгдлийг тодорхойлох үндсэн параметрийн нэг юм. Гэсэн хэдий ч одоог хүртэл түүнийг газар хөдлөлийн магнитуд, эх үүсвэрээс станц хүртэлх зай, мөн геологийн орчны нөлөөллийн хувьд тоон утгаар нарийн тодорхойлсон судалгаа төдийлөн хийгдээгүй байна. Газар хөдлөлийн өдөөгч (өөрөөр хэлбэл, доргилтын үргэлжлэх хугацаа) нь шугаман бус, хувиралт бүхий

байгууламжийн хариу үйлдэлд чухал нөлөө үзүүлдэг бөгөөд энэ нь чичирхийллийн мөчлөгийн тоог тодорхойлдог гэдгийг санахад илүүдэхгүй. Иймээс өдөөгдсөн хариу үйлдлийн ерөнхий амплитудын хамт үргэлжлэх хугацаа нь хүчтэй газар хөдлөлийн үед байгууламжийн хариу үйлдлийг тодорхойлоход голлох үүрэгтэй болох нь тодорхой байна. Сүүлийн үеийн газар хөдлөлтийн шинж чанартай сэрэлд хариу үзүүлж буй энгийн хувиралт бүхий байгууламжийн тоон загварын судалгаанууд нь газрын хөдөлгөөний үргэлжлэх хугацаа нь тооцоологдсон хариу үйлдэлд хэр өндөр ач холбогдолтой болохыг бүрэн харуулж байна (Trifunac & Brady, 1975). Судалгааны үндэслэл. Монгол Улс нь Евразийн хавтангийн дотоод идэвхжил бүхий бүсэд оршдог бөгөөд хүчтэй газар хөдлөлт

давтамжтай тохиолддог онцлогтой. Ийм нөхцөлд газар хөдлөлтийн үед үүсэх газрын хөдөлгөөний шинж чанарыг нарийвчлан тодорхойлох нь сейсмик аюулын үнэлгээ, барилга байгууламжийн зураг төсөл, инженерийн тооцоололд чухал ач холбогдолтой юм. Газар хөдлөлтийн нөлөөллийг үнэлэхэд зөвхөн магнитуд болон зай хангалтгүй бөгөөд газрын хөдөлгөөний бодит бичлэгт тулгуурласан параметруудийг тодорхойлох шаардлагатай байдаг. Тухайлбал, газрын оргил хурдатгал (PGA), Ариасын интенсив (Arias intensity), хурдны кумулятив абсолют утга (CAV), Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа (Trifunac duration) зэрэг үзүүлэлтүүд нь газар хөдлөлтийн энергийн тархалт, эрчим, үргэлжлэх хугацааг илэрхийлэх үндсэн параметруудэд тооцогдоно. Сүүлийн жилүүдэд акселерометрийн станцуудын бүртгэлийн тоо нэмэгдэж, бодит хэмжилтийн өгөгдөл хуримтлагдаж байгаа хэдий ч эдгээр өгөгдлийг инженерийн болон эрсдэлийн үнэлгээний зорилгоор цогцоор нь боловсруулсан судалгаа харьцангуй хомс байна. Иймээс акселерометрийн бичлэгт тулгуурлан энергийн хамгийн их тархалттай хугацааг тодорхойлох, зай болон магнитудын хамаарлыг судлах нь онолын болон практик ач холбогдолтой юм. Мөн орчин үеийн боловсруулалтын програм ашиглан дээрх параметруудийг нэгтгэн тооцоолох нь өгөгдлийн найдвартай байдал, тооцооллын нарийвчлалыг нэмэгдүүлэх ач холбогдолтой бөгөөд цаашдын сейсмик аюулын үнэлгээ, инженерийн норм боловсруулахад суурь мэдээлэл болох боломжтой юм.

Энэхүү судалгааны ажлын гол зорилго нь мэдэгдэм хүчтэй газар хөдлөлтийн улмаас долгионы хамгийн их энергитэй тархах хугацааг тодорхойлох юм. Иймээс Газар хөдлөлтийн улмаас үүссэн газрын хөдөлгөөнийг тодорхойлох үндсэн параметрууд болох газрын оргил хурдатгал (PGA), Ариас (Arias)-ын болон абсолют хурд (CAV) зэрэг параметруудийг тодорхойлох зарчим аргачлалаар Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа (Trifunac duration) нь газар хөдлөлтийн үеийн чичирхийллийн үргэлжилсэн хугацааг тодорхойлох зорилт

тавьсан.

Ажлын шаардлага, шинэлэг тал. Монгол Улс нь газар хөдлөлтийн идэвхжил өндөртэй бүс нутагт хамаарах тул тухайн бүсийн хэмжээнд газар хөдлөлтийн нөлөөллийг нарийвчлан тогтоож, барилга байгууламжийн зураг төсөл, инженерийн шийдэлтэй уялдуулах шаардлага зүй ёсоор тавигдаж байна. Ийм нөхцөлд акселерометрийн станцын бүртгэлийг боловсруулж, инженерийн ач холбогдолтой параметруудийг гарган авах нь чухал ач холбогдолтой юм. Энэхүү судалгаанд акселерометрийн бичлэгт боловсруулалт хийж, DIAMANT програмыг ашиглан дээрх параметруудийг анх удаа цогц байдлаар тооцоолсон нь ажлын шинэлэг тал болно.

Ач холбогдол. Газар хөдлөлтийн хөдөлгөөний параметруудийг тооцоолох нь онолын болон тооцооллын хувьд төвөгтэй үйл явц бөгөөд параметр бүр өөр өөр томъёо, алгоритм шаарддаг. Эдгээрийг програмын орчинд нэгтгэн боловсруулж, үр дүнг цогцоор нь нэгэн зэрэг гаргах нь практик ач холбогдол өндөртэй юм. Акселерометрийн станцын бүртгэлийг цуглуулж, боловсруулалтын програмд тохирсон хэлбэрт хөрвүүлэн бэлтгэх нь судалгааны үндсэн шат бөгөөд ингэснээр хэд хэдэн чухал параметрийн утгыг нэг дороос тооцоолж, газар хөдлөлтийн нөлөөллийг илүү нарийвчлалтай үнэлэх боломж бүрдэж байна.

2. Материал ба онол, арга зүй

2.1. Акселерометрийн станцын ажиллагааны загвар

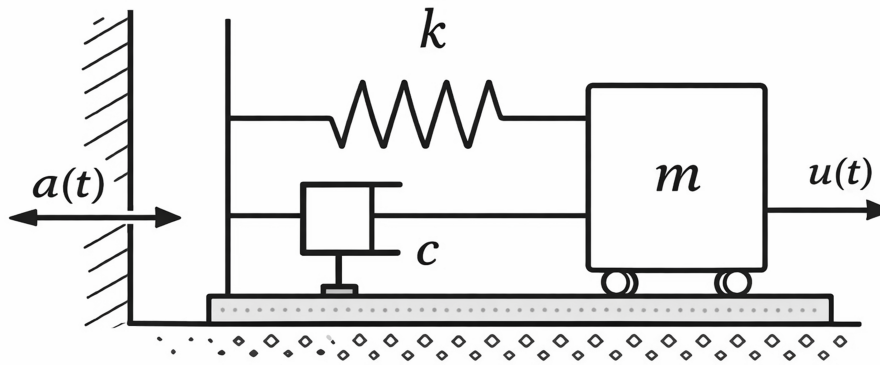
Станц газрын чичирхийллийн үед зурагт харуулсан системтэй нэгэн ижил хөдөлгөөн хийх ба энэ системийн хөдөлгөөний тэгшитгэлийг ашиглаж бодолт хийдэг (Chopra, 2012).

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \varepsilon = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (1)$$

Эндээс

$$\omega_1 = \omega_0 \sqrt{1 - \varepsilon^2} \quad (2)$$

Энд, m -ачааны масс, k -пүршний хат



Зураг 1. Хөрсний хурдатгал хэмжигч станцын системийн загварчлал.

Зураг. 1 -ээс u -ачааны шилжилт, u' -ачааны хурд, u'' -ачааны хурдатгал, c - замхралтын коэффициент damping (energy dissipation) гэж үзвэл дараах хөдөлгөөний тэгшитгэлийг бичиж болно (Chopra, 2012).

$$mu''(t) + cu'(t) + ku(t) = ma(t) \quad (3)$$

Эндээс,

$$u(t) = -\frac{1}{\omega_1} \int_0^t a(\tau) e^{\varepsilon\mu_0(t-\tau)} \sin(\omega_1(t-\tau)) d\tau \quad (4)$$

Энд, ε нь материалын хэлбэлзэл даах чадвар

Тухайн материалд долгион хэрхэн замхарч байгааг харуулав.

2.2. Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа (Trifunac Duration)

Хүчтэй газар газар хөдлөлтийн үеийн газрын оргил хурдатгал, хурд, шилжилт, Ариасын болон Хоуснерийн эрчим, Трифунакийн хугацаа, абсолют хурд гэсэн параметрүүдийн тооцоолж гаргах нь газрын хөдөлгөөний шинж чанарыг үнэлэхэд практик чухал ач холбогдолтой байдаг.

Эдгээр параметрүүдээс газар хөдлөлтийн үеийн долгионы үргэлжлэх хугацааг хэрхэн тооцоолох, газар хөдлөлтийн эрчим, энергийн дамжуулалт болон бүтэц барилгын хариу үйлчлэлд шууд нөлөөлөх нөлөөлөл хэр байдгийг харуулах зорилгоор Трифунакийн үргэлжлэх хугацааны тооцооллыг оруулав. Энэ хугацааг эрдэмтэн Трифунак (Trifunac & Brady, 1975) анх тооцоолсон бөгөөд Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа (Trifunac duration) гэж нэрлэх болсон. Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа (Trifunac duration) нь

газар хөдлөлтийн үеийн чичирхийллийн үргэлжилсэн хугацааг тодорхойлох чухал параметр юм. Энэ нь тухайн газар хөдлөлтийн эрчим, энергийн дамжуулалт болон бүтэц барилгын хариу үйлчлэлд шууд нөлөөлдөг. Энэ хугацаа нь чичирхийллээс үүссэн долгионы үргэлжилсэн хугацааны 5%-95% -д харгалзах хугацааг хэлдэг (Kayen & Mitchell, 1997). Өөрөөр хэлбэл Хүчтэй газар хөдлөлтийн долгионы хамгийн их энергийн агууламжтай /үйлчлэлтэй/ тархаж байгаа хугацааны интервалыг Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа гэж ойлгож болно. Фазын гажилтаас үүссэн алдагдлыг тооцож долгионы эхлэл ба төгсгөлд үргэлжилсэн хугацааны 5%-ыг тэгтэй тэнцүү буюу хасаж тооцож авч үздэг. Өөрөөр хэлбэл, Трифунакийн үргэлжлэх хугацааг тодорхойлохдоо газар хөдлөлтийн энергийн хуримтлалын 5%-аас 95% хүртэлх хязгаарыг авч үзнэ гэсэн (Trifunac & Brady, 1975).

Трифунакийн хугацаа нь газар хөдлөлтийн хамгийн аюултай, эрчимтэй үе шатыг илэрхийлдэг бөгөөд дараах аргачлалд ашигладаг. Үүнд:

- Барилгын дизайн, төлөвлөлтөд чухал үзүүлэлтийг хангах;
- Газар хөдлөлтийн эрчмийг үнэлэх нэг хэмжүүр нь болдог;
- Хөрсний хөдөлгөөний үргэлжлэх хугацааг тооцоолох;
- Инженерийн барилга байгууламжид үзүүлэх нөлөөллийг үнэлэхэд ашигладаг;

Хүснэгт 1

№	Material	$\varepsilon(\%)$
1	Masonry – чулуун ба тоосгон өрлөг	5
2	Concrete – бетон	4
3	Reinforced concrete – марк өндөр бетон	3
4	Nailed wood – шанагттай мод	5
5	Welded steel – гагнаартай төмөр	2
6	Bolted steel – холбоостой төмөр	4

Энэ хэмжигдэхүүнийг Югославын (одоогийн Серб) сейсмологич Борислав Трифунак анх 1971 онд танилцуулсан. Трифунакийн хугацаа нь дараах байдлаар ашиглагддаг.

■ Газар хөдлөлтийн үргэлжлэх хугацааг тодорхойлох

- Газар хөдлөлтийн чичирхийллийн эрч хүч, үргэлжлэх хугацааг үнэлэхэд ашиглагддаг.
- Барилга байгууламжийн динамик ачааллыг тодорхойлоход чухал ач холбогдолтой.

■ Барилга байгууламжийн динамик хариу үйлдлийг илэрхийлэх

- Газар хөдлөлтийн үргэлжлэх хугацаа нь барилга байгууламжийн бүтцийн чичирхийллийн хариу үйлдэлд шууд нөлөөлдөг. Удаан үргэлжилсэн газар хөдлөлт нь бүтцийн эвдрэлд илүү их нөлөө үзүүлж болзошгүй.

■ Инженерийн газар хөдлөл судлал

- Газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээ, барилга байгууламжийн загварчлал, газар хөдлөлтийн тэсвэржилтийн судалгаанд ашиглагддаг.

2.2.1. Трифунакийн хугацааг тооцоолох хүчин зүйлүүд

Трифунанийн хугацааг сейсмограммын хурдатгалын бичлэгээс дараах байдлаар тодорхойлно: Трифунакийн хугацааг сейсмограммын хурдатгалын бичлэгээс дараах байдлаар тодорхойлно:

- Эхний 5% болон 95%-ийн энергийн хуримтлалыг тодорхойлно.
- Эдгээр хоёр утгын хоорондох хугацааны зөрүүг хэмжинэ.

Энэ арга нь газар хөдлөлтийн энергийн тархалтыг харуулах тул инженерүүд болон сейсмологичдод чухал ач холбогдолтой мэдээлэл өгдөг.

Трифунанийн үргэлжлэх хугацааг тооцоолох нь сейсмограммын өгөгдөл дээр суурилдаг бөгөөд энэ нь газар хөдлөлтийн хурдатгалын бичлэгээс тодорхойлогдоно (Trifunac & Brady, 1975). Трифунакийн үргэлжлэх хугацааны үндсэн тооцоололд дараах алхмуудаар хийгдэнэ.

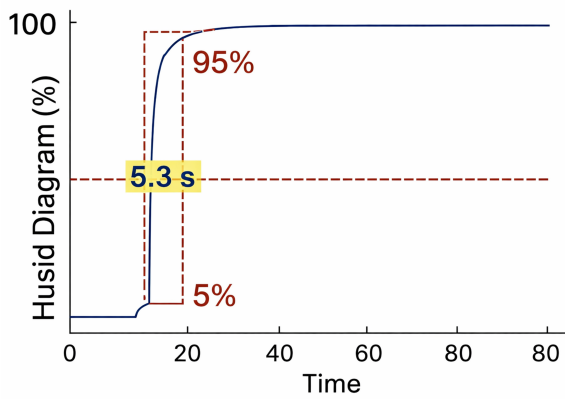
2.2.2. Энергийн хуримтлалын функцийг тодорхойлох

Сейсмограммын өгөгдлийг ашиглан нийт кинетик энергийн хуримтлалыг тодорхойлно (Newmark & Rosenblueth, 1971). Энэ нь дараах байдлаар өгөгдөнө:

$$E(t) = \int_0^t a^2(\tau) d\tau \tag{5}$$

Энд:

- $E(t)$ — тодорхой хугацаа t -д хуримтлагдсан нийт энерги.
- $a(\tau)$ — сейсмограммын хурдатгалын утга.
- τ — хугацааны хувьсагч.



Зураг 2. Трифунакийн үргэлжлэх хугацааг тооцоолох арга зүй.

2.2.3. Харьцангуй энергийн хувь

Хуримтлагдсан энергийн нийт хэмжээгээр харьцангуй хувь ($P(\tau)$ -ийг илэрхийлнэ:

$$P(t) = \frac{E(t)}{E_{total}} \quad (6)$$

Энд:

E_{total} - газар хөдлөлтийн нийт энерги (тодорхойлогдсон хамгийн сүүлийн хугацаанд).

2.2.4. 5%-аас 95%-ийн энергийн интервал

Газар хөдлөлтийн нийт энергийн 5% ба 95%-ийн хязгаарын энергитэй таарах цаг хугацааны утгуудыг тодорхойлно:

- $t_{5\%}$ — нийт энергийн 5%-д хүрэх хугацаа.
- $t_{95\%}$ — нийт энергийн 95%-д хүрэх хугацаа.

2.2.5. Трифунакийн үргэлжлэх хугацааг тооцоолох

Трифунанийн үргэлжлэх хугацаа (D_T) нь дараах байдлаар тодорхойлогдоно:

$$D_T = t_{95\%} - t_{5\%} \quad (7)$$

Энэ нь газар хөдлөлтийн энергийн үндсэн хэсгийн үргэлжлэх хугацааг илэрхийлнэ (Зураг 2).

2.2.6. Ариасын эрчим (Arias intensity)

Трифунанийн үргэлжлэх хугацааг гаргахад Ариасын эрчим (Arias intensity)-ийг заавал тооцоолох шаардлагатай байдаг. Анх 1970 онд Чили улсын инженер Артуро Ариас /Arturo Arias/ энэ хэмжигдэхүүнийг тооцоолсон байдаг. Ариасын эрчмийг газрын

оргил хурдатгалын квадратыг тодорхой хугацааны мужид авсан интегралаар тодорхойлдог.

$$I(t) = \int_0^t a^2(\tau) d\tau \quad (8)$$

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^D a^2(t) dt = \frac{\pi I(D)}{2g} \quad (9)$$

Энд g - нь чөлөөт уналтын хурдатгал, τ - нь дохио үргэлжилсэн хугацаа.

Arias intensity нь газрын хөдөлгөөний хүчийг илэрхийлдэг хэмжигдэхүүн юм. Өөрөөр хэлбэл долгионы хурдатгалыг хэмжих замаар Ариасын эрчмийг тодорхойлдог. Энэ хэмжигдэхүүнийг үнэн зөв тодорхойлсноор газар хөдлөлтийн доргилоор хөрсөнд үүсэх гулсалтын механизмыг дүрслэх боломжтой (Atkinson & Kaka, 2007).

3. Мэдээллийн сан ба программ хангамж

3.1. Мэдээллийн сан

ООГХ-ын ҮМТ-ийн мэдээллийн сан болон Ховд салбар дахь Хөрсний хурдатгал бичигч станцад бичигдсэн хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээлэл санг ашиглав.

- ▶ 2005–2025 онд баруун бүс нутагт тохиолдсон $M1 > 3.5$ хүчтэй 330 гаруй газар хөдлөлтийн каталоги
- ▶ Ховд салбарт байгаа Хөрсний хурдатгал бичигч станцад бичигдсэн 21 удаагийн хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээлэл

3.2. “DIAMANT” программ хангамжаар мэдээлэл боловсруулах аргачлал

Хөрсний хурдатгал бичигч станцад бичигдсэн хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээллийг мэдээлэл боловсруулалт, анализ хийхэд зориулагдсан “DIAMANT” программ хангамжийг ашиглаж үр дүнг гаргасан.

Газар хөдлөлтийн үргэлжилсэн хугацаагаар интеграл бодох замаар DIAMANT нь бүх параметруудийг тооцоолдог. Чичирхийллийн үргэлжилсэн хугацааг ашиглахгүйгээр газар хөдлөлт ямар зайнд болсон, хөрсний шинж чанар ямар байсан, аль зэрэг хүчтэй байсан зэргийг тодорхойлох боломжгүй. Түүнчлэн ижил хугацаанд үргэлжилсэн өөр

өөр газар хөдлөлтүүд байшин барилгад өөр өөр нөлөөлөл үзүүлдэг. Бичлэгийн өндөр хурдатгалтай долгионы фронт богино хугацаанд үргэлжилж байшин барилгад багхан хэмжээний эвдрэл учруулж байхад дундаж хурдатгалтай долгионы фронт урт хугацаанд үргэлжилж байшин барилгад маш их хэмжээний эвдрэл учруулах ч тохиолдол байдаг байна.

DAIMANT программ нь Матлав хэл дээр бичигдсэн хүчтэй газар хөдлөлт болсны дараа Хөрсний хурдатгал бичигч станцад бичигдсэн сейсмограммыг үнэлэхэд зориулагдсан программ хангамж юм. Энэ нь:

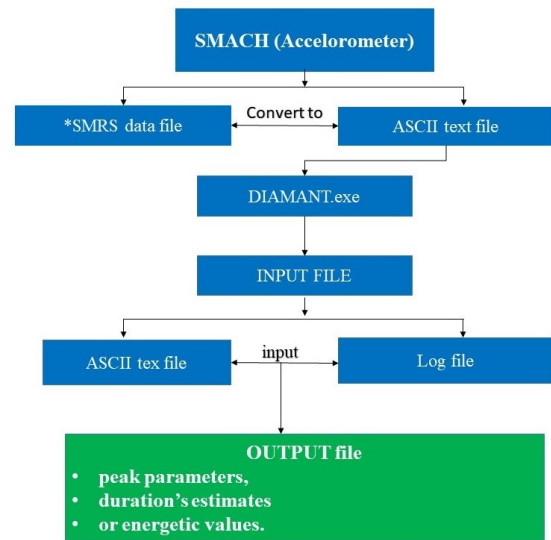
- Газар хөдлөлтийн чичирхийллийн үйлчлэл, нөлөөллийн хэд хэдэн параметрыг тооцоолох
- Газар хөдлөлтийн эрсдлийн үнэлгээнд ашигладаг сонгодог график дүрслэлийг гаргах.

Энэ программ хангамжаар тооцоологдсон инженерчлэлийн салбарт түгээмэл хэрэглэгддэг параметруудийг гаргах боломжтой юм. Үүнд:

- Оргил параметрууд (газрын оргил хурдатгал PGA , газрын оргил хурд PGV , газрын оргил шилжилт PGD)
- Үргэлжлэх хугацааны үнэлэмж
- Энергийн тооцоолол

Оргил хурдатгал PGA нь газар хөдлөлтийн чичирхийллийн үйлчлэлийг илэрхийлэх үндсэн параметр бөгөөд гэвч зөвхөн үүнийг дангаар ашиглах нь хохирлыг бүрэн тооцоолоход хангалттай биш юм. PGA ихтэй газрын хөдөлгөөн нь бага эвдрэл гэмтэл учруулдаг байхад бага PGA -тэй газар хөдлөлт өндөр эрсдлийг бий болгосон байдаг. Мөн DIAMANT нь хугацааны интегралаар авагдсан тодорхойлогдох хүчтэй газрын хөдөлгөөний үйлчлэлийг илэрхийлэх 2 үндсэн параметрийг тооцоолон гаргадаг.

- Arias intensity. Пи тоог 2 хүндийн хүчний хурдатгалаар хуваасан ноогдворыг



Зураг 3. Мэдээлэл боловсруулалт хийх аргачлалын схем.

оргил хурдатгалыг квадрат зэрэгт дэвшүүлж хугацааны интегралаар үржүүлсэнтэй тэнцэх параметр:

$$I_A = \frac{\pi}{2g} \int_0^T a^2(t) dt$$

- CAV. Оргил хурдатгалын абсолют утгыг хугацааны интегралаар бодож гаргасан параметр:

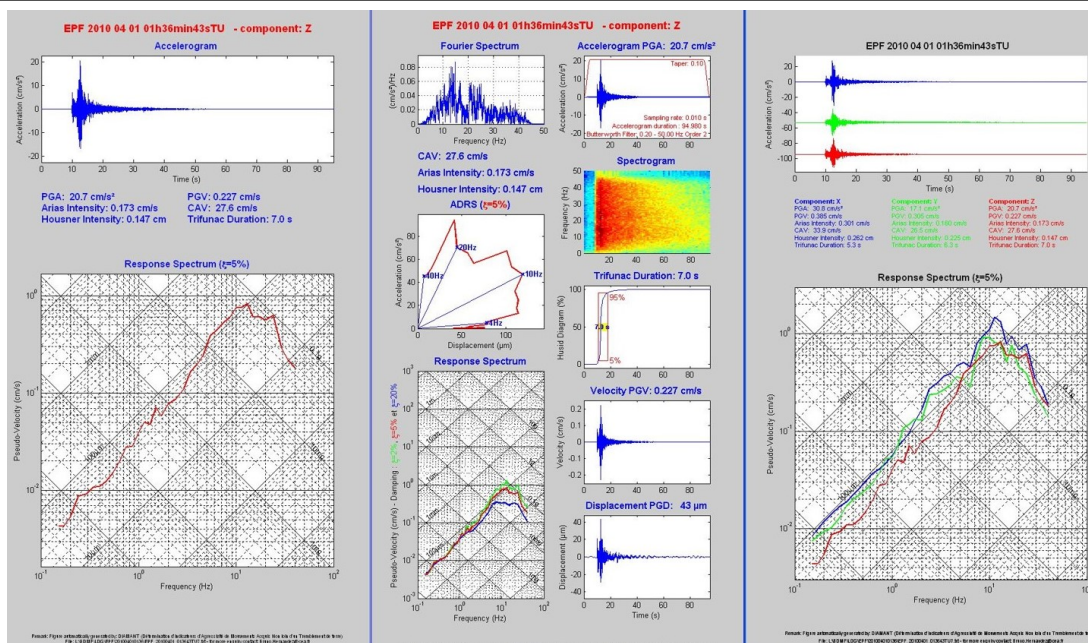
$$CAV = \int_0^T |a(t)| dt$$

4. Судалгааны үр дүн ба хэлэлцүүлэг

4.1. Судалгааны үр дүн

Ховд аймгийн Газар хөдлөлийн станцын байранд байрлах Хөрсний хурдатгал бичигч (SMACH, 2005) нь станцын мэдрэх чадвараасаа хамаарч зөвхөн станцынхаа суурин дээр мэдрэгдсэн мэдэгдэм чичирхийллийг бүртгэдэг онцлогтой.

2000-2024 хугацаанд Баруун бүс нутагт $M1 \geq 3.5$ газар хөдлөлт 335 удаа болсноос Ховд аймгийн Газар хөдлөлийн станцын байранд байрлах Хөрсний хурдатгал бичигч (SMACH, 2005) станцад 21 хөдлөлт тод бичигджээ (Зураг 3). Эдгээрээс сонгож Ховд аймгийн төвийн иргэдэд мэдрэгдсэн дараахь 3 хөдлөлтийн мэдээлэлд харьцуулсан үр дүнг гаргаж үзсэн. Эдгээр хөдлөлүүд



Зураг 4. DIAMANT программ хангамжийн боловсруулалтын үр дүн.

нь станцаас радиусын хувьд 50км, 100км, 200км-ээс цааших зайнд болсон. Үүнд:

- ✓ 2019/03/26, $M_l = 3.7$, Ховд аймгийн төвөөс зүүн урд зүгт 37 км
- ✓ 2024/10/28, $M_l = 3.9$, Ховд аймгийн төвөөс зүүн хойд зүгт 55 км
- ✓ 2020/03/20, $M_l = 5.8$, Ховд аймгийн төвөөс зүүн урд зүгт 275 км

Эхний газар хөдлөлт нь 2019 оны 03 сарын 26-ны өдрийн орон нутгийн цагаар 14 цаг 12 минутад Ховд аймгийн төвөөс зүүн урд зүгт 37 км-ийн зайд магнитуд нь $M=3.8$ -тай газар хөдлөлт Буянт сумын нутагт Ямаат улаан уулын орчимд болсон. Тухайн газар хөдлөлтийг Ховд аймгийн төвийн иргэд IV-V баллаар мэдрэсэн макро судалгаа гарсан.

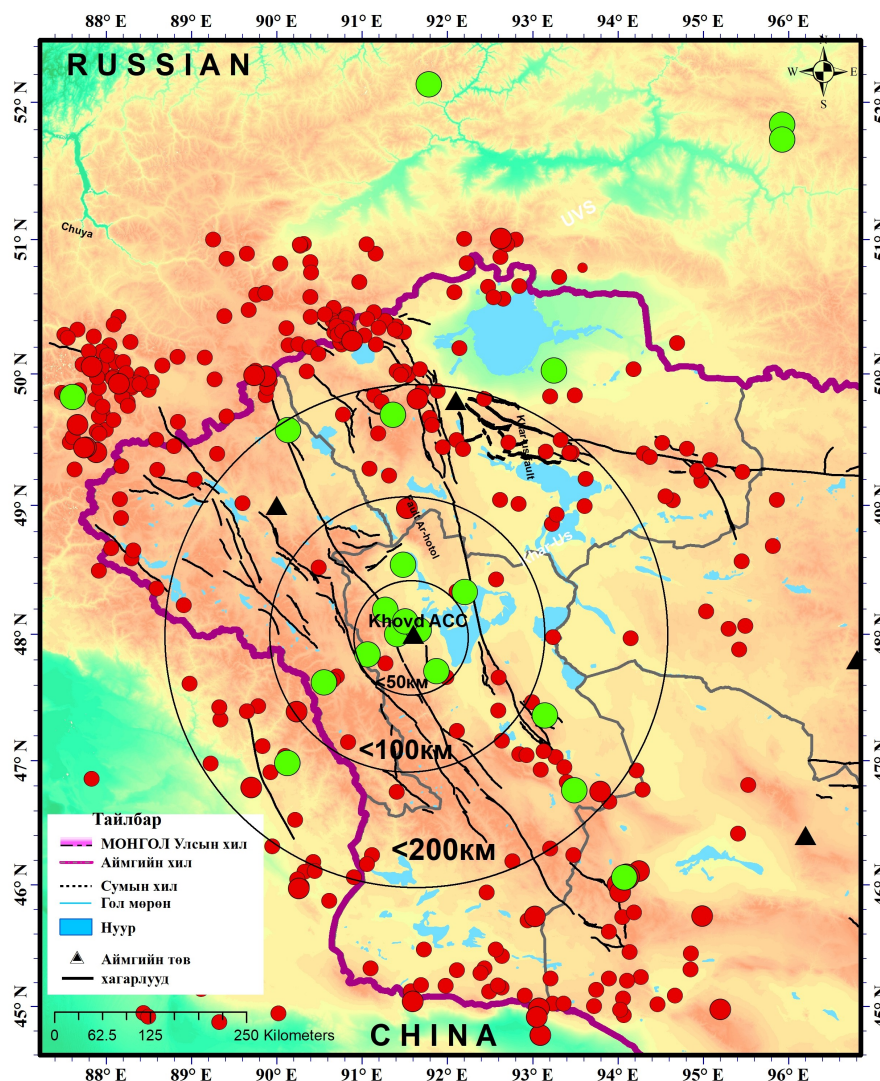
Хоёр дахь газар хөдлөлт нь 2024 оны 10-р сарын 30-ны шөнө УБ-ийн цагаар 03:21:13-д хойд өргөргийн 48.33N, зүүн уртрагийн 92.20E-д, Рихтерийн шаталбараар магнитуд нь 3.9-тэй тэнцэх хүчтэй газар хөдлөлт Ховд аймгийн Мянгад сумаас Зүүн зүгт 18км зайнд Улаан толгой гэдэг газарт болсон. Уг хөдлөлт нь Ховд аймгийн төвөөс 55 орчим км, Буянт сумаас 31км, Ховд сумаас 60км, Дөргөн сумаас 32км зайнд тус тус болсон

байна. Макро судалгаагаар Газар хөдлөлтийн голомтын орчимд IV-V балл, Мянгад сумын төвд IV балл, Ховд аймгийн төвд III балл орчмоор мэдрэгдсэн байна.

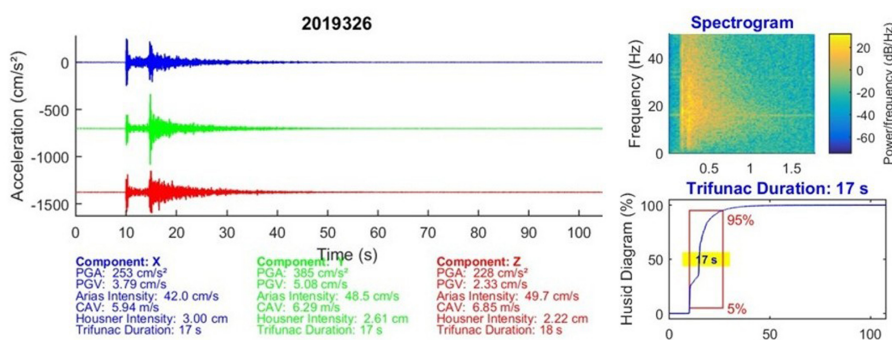
Гурав дахь газар хөдлөлт нь 2020 оны 3-р сарын 20-нд Говь-Алтай аймгийн Тонхил сумаас зүүн урагшаа 30км зайнд болсон Рихтерийн шаталбараар магнитуд нь 5.8-тэй тэнцэх хэмжээний хүчтэй газар хөдлөлт болоод байна. Энэхүү хөдлөлтийн төв нь Ховд аймгийн төвөөс 275 км, Мөст сумаас 115 км, Цэцэг сумаас 85 км, Дарви сумаас 100км, Булган сумаас 200км зайнд тус тус болсон байна. Хүчтэй газар хөдлөлтийн дараах Макро мэдээгээр Ховд аймгийн өмнөд болон баруун хэсгийн сумдууд, аймгийн төвд IV-V баллаар мэдрэгдсэн. Энэ хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтод болж байгаа давтан хөдлөлтийн тоо 1000 гаруй болсон бөгөөд мэдрэгдэм хүчтэй буюу $M1 > 3.5$ -аас дээш хүчтэй газар хөдлөлт 10 гаруй удаа болсон.

Дээрх 3 хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээлэлд “DIAMANT” програмаар тооцуулж гарсан үр дүнг харуулбал:

Хөрсний хурдатгал бичигч станцад бүртгэгдсэн мэдэгдэм хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн параметруудийг дээрх аргаар тооцоолж гарган доор хүснэгт 2-д нэгтгэв.



Зураг 5. Баруун бүс нутагт болсон мэдэгдэм хүч / $M1 > 3.5$ /-тэй газар хөдлөлтийн төвүүд (улаан бөөрөнхий тэмдэгт). Ховд салбар дахь хөрсний хурдатгал бичигч станцад бичигдсэн хөдлөлтүүд (ногоон бөөрөнхий тэмдэгт. Зураг дээрх тойрог нь станцын төвөөс 50км, 100км, 200км болон түүнээс хол зайнд болсон хөдлөлтүүд бүртгэгдсэнийг харуулав.

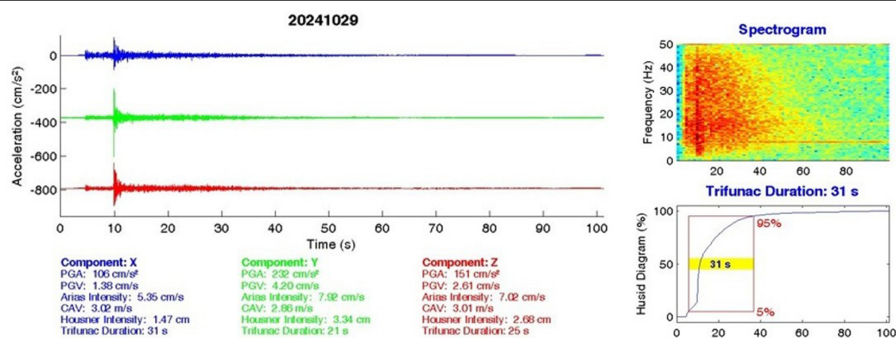


Зураг 6. Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас 50км-ээс бага зайнд болсон хөдлөлийн хувьд Оргил хурдатгалын абсолют утгыг хугацааны интегралаар бодож гаргахад $CAV=6.36$ м/с, $Arias\ intensity=46.7$ см/с тус тус гарсан байна. Хамгийн их энерги тархах хугацаа буюу Трифунакийн үргэлжлэх хугацаа нь 17сек.

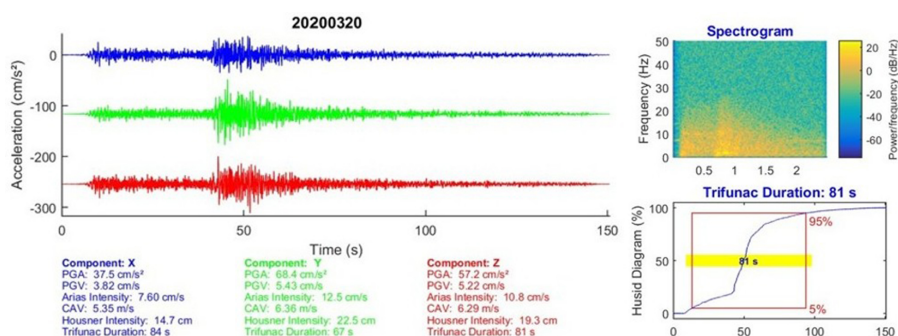
4.2. Хэлэлцүүлэг

Судалгааны үр дүнгээс харахад газар хөдлөлийн хөдөлгөөний параметрууд зайнаас

хамааран тодорхой зүй тогтолтой өөрчлөг-



Зураг 7. Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас (50-100) км зай дотор болсон хөдлөлийн хувьд Оргил хурдатгалын абсолют утгыг хугацааны интегралаар бодож гаргахад $CAV=2.99$ м/с Arias intensity=6.8 см/с тус тус гарсан байна. Хамгийн их энерги тархах хугацаа буюу Трифунакийн үргэжлэх хугацаа нь 31сек.



Зураг 8. Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас (>200км) зайнаас их зайнд болсон хөдлөлийн хувьд Оргил хурдатгалын абсолют утгыг хугацааны интегралаар бодож гаргахад $CAV=6.0$ м/с, Arias intensity=10.3 см/с тус тус гарсан байна. Хамгийн их энерги тархах хугацаа буюу Трифунакийн үргэжил хугацаа нь 81сек.

дөж байна. Ойрын зайн бүсэд бүртгэгдсэн газар хөдлөл нь богино хугацаанд үргэлжилдэг боловч энергийн нягтрал их, хурдатгалын нөлөө хүчтэй байгаагаар тодорхойлогдож байна. Энэ нь газар хөдлөлийн энерги эх үүсвэрийн орчимд төвлөрч, богино хугацаанд өндөр эрчимтэй чичирхийлэл үүсгэдгийг илтгэнэ.

Дундын зайн бүсэд газар хөдлөлийн үргэлжлэх хугацаа ойрын зайн үйл явдлаас арай уртасч, харин энергийн нягтрал буурч буй хандлага ажиглагдаж байна. Энэ нь долгионы геометр сарнил, орчны шингээлт зэрэг процессын нөлөөгөөр энерги аажмаар тархан буурч байгааг харуулж байна.

Алслагдсан бүсэд чичирхийллийн эрчим мэдэгдэхүйц сулрах боловч үргэлжлэх хугацаа илүү урт болж байна. Энэ үзэгдэл нь долгионы сарнил, замналын шингээлт, дисперсийн нөлөөгөөр бага энерги удаан хугацаанд дамжигдаж байгаагаар холбоотой юм.

Судалгааны үз дүнгээс Cumulative Absolute Velocity (CAV) болон Arias intensity нь зай ихсэх тусам буурах хандлагатай, харин Trifu-nac duration уртасгах зүй тогтол ажиглагдаж байна. Энэ нь газар хөдлөлийн энерги эх үүсвэрийн орчимд төвлөрч, зай холдох тусам долгионы сарнил, шингээлтийн нөлөөгөөр сулран тархаж байгааг нотолж байна. Мөн магнитуд нэмэгдэхэд CAV болон Arias intensity ерөнхийдөө өсөх хандлагатай байгаа нь хүчтэй газар хөдлөл илүү их энерги ялгаруулдгийг баталж байна.

5. Дүгнэлт

Судалгааны үр дүн болон хэлэцүүлэгээс гарсан дүгнэлтийг дор сийрүүлбэл:

- Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас 50 км-ээс бага зайнд бүртгэгдсэн магнитуд нь 3.7-тай Ховдын төвд ойрхон газар хөдлөлийн параметруудийг тооцоолсны үр дүнд $CAV=636$ см/с,

Хүснэгт 2

Зай/Магнитуд	CAV (см/с)	Arias intensity (см/с)	Trifunac duration ($D_T = t_{95\%} - t_{5\%}$) (сек)	Байрлал
<50 км				
M3.7	636.0	46.7	17	Ховд, Буянт
M1.5	80.1	0.52	58	Ховд, Ховд сум
M2.87	262.0	5.5	21	Ховд, Ховд сум
M3.0	254.0	18.6	5	Ховд, Жаргалант
M2.8	141.8	2.3	17	Ховд, Ховд сум
50 км < зай < 100 км				
M3.6	393.9	10.8	24	Ховд, Эрдэнэбүрэн
M3.9	503.0	20.8	22	Баян-Өлгий, Дэлүүн
M3.9	198.0	2.6	28	Баян-Өлгий, Дэлүүн
M3.9	299.0	6.8	31	Ховд, Мянгад
>200 км				
M6.6	1126.8	24.2	113	ОХУ, Кызыл
M6.3	304.5	2.8	68	Хятад, Урумчи
M3.9	121.8	0.84	53	Ховд, Дарви сум
M5.8	600.0	10.3	81	Говь-Алтай, Тонхил

Arias intensity=46.7см/с, мөн хамгийн их энерги тархах хугацааг илэрхийлсэн Trifunac үргэлжлэх хугацаа (D_{5-95}) = 17 сек тус тус гарсан үзүүлэлтүүд нь газар хөдлөлийн зөөгдөх энерги харьцангуй өндөр түвшинд, үргэлжлэх хугацаа бага байсныг илтгэж байна. Ер нь Arias intensity нь хурдатгалын энергийн нийт агууламжийг илэрхийлдэг ба 46.7 см/с утга нь хүчтэй энерги тархсан болохыг харуулж байна. Харин абсолют хурд CAV=636см/с нь хурдатгалын интегралын утга өндөр түвшинд байгааг, харин 17 секундийн Trifunac үргэлжлэх хугацаа нь газар хөдлөлийн идэвхтэй энерги ялгарах хугацаа бага, өөрөөр хэлбэл барилга байгууламжийн хариу урвалд илүү хүчтэй нөлөөлөх нөхцөл байсныг илтгэнэ. Иймд энэхүү газар хөдлөл нь энергийн хувьд дунд-өндөр түвшний, үргэлжлэх хугацааны хувьд богино хугацаанд үргэлжилсэн болохыг дүгнэж болохоор байна.

- Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас 50–100 км-ийн зайнд бүртгэгдсэн Магнитуд нь 3.9-тэй Ховд аймгийн Мянгад сумын нутагт болсон газар хөдлөлд тооцоолол хийхэд үр дүнд CAV = 299см/с, Arias intensity = 6.8 см/с, мөн хамгийн их энерги тархах хугацааг

илэрхийлсэн Trifunac үргэлжлэх хугацаа (D_{5-95}) = 31 секунд тус тус гарсан байна. Arias intensity-ийн 6.8 см/с гэсэн утга нь газар хөдлөлийн энергийн агууламж харьцангуй бага, өөрөөр хэлбэл дундаж зайд тархсан долгионы энергийн нөлөө сул байсныг харуулж байна. Харин CAV=299см/с нь хурдатгалын интегралын дундаж түвшний утгыг илтгэнэ. Trifunac үргэлжлэх хугацаа 31 секунд байгаагаар газар хөдлөлийн энерги ялгаралт харьцангуй удаан үргэлжилсэн, өөрөөр хэлбэл дундын зайнд ч гэсэн долгионы үргэлжлэх хугацаа урт байсныг тодорхойлж байна. Иймд энэхүү хөдлөл нь эрчим сул боловч үргэлжлэх хугацаа урт, энерги алдагдал бага нөхцөлтэй газар хөдлөлийн шинжтэй байдаг болохыг дүгнэж байна.

- Хөрсний хурдатгал бичигч станцаас 200 км-ээс хол зайнд болсон Магнитуд нь 5.8-тай Говь-Алтайн Тонхилын газар хөдлөлийн хөдөлгөөний параметрууд болох CAV=600 см/с нь газар хөдлөлийн хуримтлагдсан абсолют хурд дунд зэргийн түвшинд байсныг, Arias intensity=10.3см/с нь хурдатгалын энергийн нийт агууламж ойрын зайны хөдлөлтэй харьцуулахад өндөр

байсныг тус тус илтгэж байна. Мөн хамгийн их энерги тархах хугацааг илэрхийлсэн Trifunac үргэлжлэх хугацаа (D_{5-95}) = 81 секунд тус тус гарсан байна. Эдгээр үр дүн нь газар хөдлөлийн энергийн агууламж хол зайд тархсан ч харьцангуй бага байсан, гэвч идэвхтэй энерги тархах хугацаа урт (81 секунд) байсан болохыг харуулж байна.

- Ерөнхийд нь дүгнэхэд Газар хөдлөлтийн голомтын зайнаас шалтгаалан газар хөдлөлийн энерги тархалт, хугацаа хэрхэн өөрчлөгддөгийг тодорхой тооцоолж гаргаснаар үр дүнг барилга, инженерийн динамик загвар, аюулын эрсдэлийн үнэлгээнд ашиглахад практик ач холбогдолтой.

Ашигласан номзүй (References)

- Atkinson, G. M. & Kaka, S. I., 2007. Relationships between felt intensity and instrumental ground motion in the central united states and california, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**(2), 497–510, <https://doi.org/10.1785/0120060154>.
- Chopra, A. K., 2012. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 4th edn.
- Kayen, R. E. & Mitchell, J. K., 1997. Assessment of liquefaction potential during earthquakes by arias intensity, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **123**(12), 1162–1174, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1997\)123:12\(1162\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1997)123:12(1162)).
- Newmark, N. M. & Rosenblueth, E., 1971. Fundamentals of earthquake engineering, *Civil engineering and engineering mechanics series*.
- Trifunac, M. D. & Brady, A. G., 1975. A study on the duration of strong earthquake ground motion, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**(3), 581–626.