

# Могодын Хагарлаас Үүсэх Газар Хөдлөлийн Аюулыг Магадлалын Аргаар Үнэлэх нь

Т.Нарангарав, Ц.Баатарчулуун\*, Б.Ганбат  
Геологи Геофизикийн тэнхим, ШУС, МУИС

Mongolia is considered to be located at the seismic active region and is divided into several tectonic zones. The Mogod earthquake ( $M=7.5$ , January 1967) which occurred at east of Hangai dome was one of the strongest earthquakes that occurred in the past century in Mongolia. The seismic event was closely studied by several researchers because seismicity of the Central Mongolian region was previously regarded as moderate.

In this study, we have determined the seismic hazard at Bulgan city ( $N48048'43''$ ,  $E103032'1''$ ) and Erdenet city ( $N4901'59''$ ,  $E10404'59''$ ) due to the Mogod fault zone using the probabilistic approach. The distributions of catalogued earthquakes, together with available geological and tectonic information of the Mogod fault region were used to calculate probabilistic seismic hazard parameters.

From the analysis, mean annual rate of exceedance, return period and cumulative probability hazard curve for peak ground acceleration (PGA) have been estimated at Bulgan city and Erdenet city.

PACS numbers: 91.30.P, 91.30.pb, 91.30.pd

## I. ОРШИЛ

Эх газар, далай тэнгисийн хил зааг дагуух болон тектоник хагарлуудаар тусгаарлагдсан хавтангуудын харилцан үйлчлэлийн нөлөөгөөр дэлхийн царцдаст мандалд их, бага хэмжээний эвдрэлүүд үүсдэг. Ийнхүү эвдрэл үүссэний улмаас газрын гүнд хуримтлагдсан энерги чөлөөлөгдөн газар хөдлөлт болж уян харимхайн долгион хэлбэрээр дэлхийн дотоод хэсэг болон гадаргуугаар тархана.

Хүчтэй газар хөдлөлтийн улмаас ойр орчмын бүс нутагт хөрсний чичирхийлэл, хөрсний шилжилт, хөрсний гулсалт, цунами, үер, гал түймэр зэрэг аюул учрах боломжтой. Түүнчлэн газрын гадаргууд хагарал үүсч болох ба энэ нь тухайн газарт болох газар хөдлөлтийн үүсвэр болно.

Газар хөдлөлийн аюулаас үүсэх эрсдэлийг бууруулах нэг арга нь тухайн бүс нутагт үүсч болзошгүй хөрсний чичирхийллийг үнэлэх явдал юм.

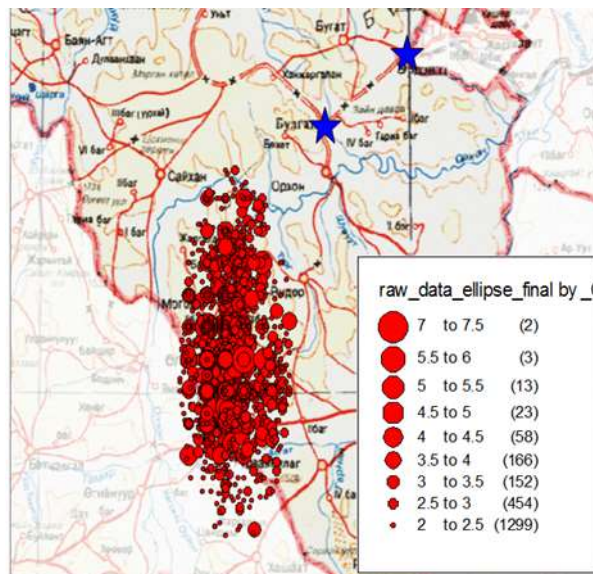
Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Могодын хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлийн аюулыг магадлалын аргаар Булган ба Эрдэнэт хотуудын хувьд үнэлэв.

## II. СУДАЛГААНЫ ТАЛБАЙН ТЕКТНИК ОНЦЛОГ

Монгол орны нутаг дэвсгэр нь газар хөдлөлийн идэвхтэй бүсэд хамаардаг бөгөөд хэд хэдэн тектоник мужуудад хуваагддаг.

Монголын нутаг дэвсгэрт болж байгаа идэвхтэй тектоникийн хөдөлгөөн нь гарал үүслийн хувьд Индостаны микроконтинент Евразитай коллизод орсонтой холбоотой. Энэхүү коллизын улмаас Алтай, Хангай,

Хөвсгөл болон Хэнтийн уулсын тогтолцоо үүссэн бөгөөд уг тогтолцоо нь Монголын ба Амурын гэсэн хоёр плитийг заагладаг. А.Баясгалан, С.Хишигсүрэн (2009) нарын үзэж байгаагаар Амурын микролит зүүн-урагш, Монголын микролит баруун-хойш ойролцоогоор 5.2мм/жил хурдтай тус тус хөдөлж байна [1-3].



Зураг 1. Могодын хагарал орчмын газар хөдлөлийн эпицентрийн түгэлт болон магнитудын хэмжээ.

Могодын хагарал нь хойноос урагш чиглэсэн шилжил (strike-slip fault) бөгөөд ба тектоник мужлалаар Төв Монголын Хангайн бүсэд хамаардаг [2].

Статистик тоо баримтаас үзэхэд 1964 оноос хойш уг хагарлын орчимд  $M=3.5$ -аас дээш магнитудтай газар хөдлөл жилд дундажаар 5-6 удаа болсон ба хамгийн хүчтэй нь 1967 оны 1 сарын 5-нд 7.5 магнитудын хүчтэй үндсэн газар

хөдлөл (main shock), 1967 оны 1 сарын 20-нд 7.0 магнитудын хүчтэй дагалдах газар хөдлөл (aftershock) болсон. Энэ нь сүүлийн 100 жилд Монгол орны нутаг дэвсгэрт болсон хүчтэй газар хөдлөлүүдийн нэг юм.

Могодын хагарал орчимд бүртгэгдсэн газар хөдлөлийн эпицентрийн түгэлт болон магнитудын хэмжээг Зураг 1-д үзүүлэв.

### III. СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Тектоник хагарлууд нь янз бүрийн хэмжээ (ө.х. магнитуд)-тэй газар хөдлөлийг үүсгэх боломжтой. Тухайн бүс нутаг дахь газар хөдлөлийн хэмжээ нь тодорхой түгэлттэй байдаг ба энэ нь Гутенберг-Рихтерийн давтагдлын хуулиар илэрхийлэгдэнэ [4]:

$$\log \lambda_m = a - b * m \quad (1)$$

Энд:  $\lambda_m$  – магнитудын тодорхой утгаас их магнитудтай газар хөдлөлтийн тоо.  $a$ ,  $b$  – тухайн бүс нутгийн газар хөдлөлийн идэвхжилийг илэрхийлсэн тогтмолууд.

Тектоник хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлийн учруулж болох аюул нь газар хөдлөлийн хүч, хөрсний шилжилтийн эрчим болон тухайн хагарлаас ажиглалтын цэг хүртэлх зайнаас шууд хамаардаг ба дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ [5]:

$$\lambda(IM > x) = \lambda(M > m_{min}) \cdot \int_{m_{min}}^{m_{max}} \int_{r_{min}}^{r_{max}} P(PGA > x|m, r) \cdot f(m) \cdot f(r) \cdot dr \cdot dm \quad (2)$$

Энд:

$$P(PGA > x|m, r) = \int_x^\infty \frac{1}{\sigma_{\ln PGA} \cdot \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln u - \ln PGA}{\sigma_{\ln PGA}}\right)^2\right) du \quad (3)$$

$$f(m) = \frac{b \cdot \ln(10) \cdot 10^{-b(m-m_{min})}}{1 - 10^{-b(m_{max}-m_{min})}}, \quad (4)$$

$$f(r) = \frac{r}{L \sqrt{r^2 - x_0^2}} \quad (5)$$

$\lambda(IM > x)$  - хөрсний шилжилтийн эрчмийн утга  $x$ -ээс хэтрэх хэмжээ

$\lambda(M > m_{min}) - m_{min}$ -аас их магнитудтай газар хөдлөлт болох магадлал

$P(PGA > x|m, r)$  - өгөгдсөн магнитуд ба зайн хувьд ажиглалтын цэгт хөрсний оргил хурдатгал тодорхой утгаас хэтрэх магадлал

$f(m)$  - магнитудын магадлалын нягтын функц

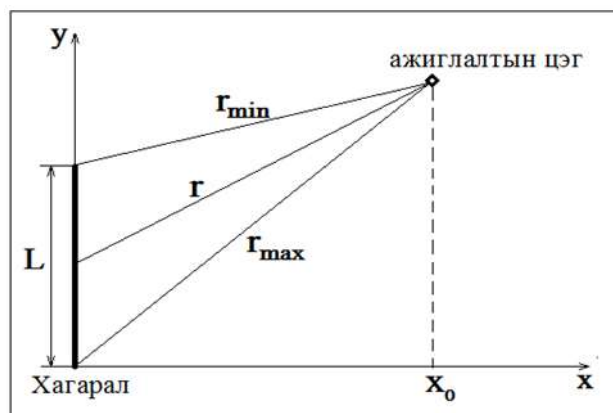
$f(r)$  - зайн магадлалын нягтын функц

$b$  – тухайн бүс нутгийн тектоник идэвхжилийг илэрхийлэх бөгөөд Гутенберг-Рихтерийн давтагдалын хуулиар тодорхойлогдоно

$\overline{\ln PGA}$  – хөрсний оргил хурдатгалын логарифмийн дундаж

$\sigma_{\ln PGA} - \ln PGA$ -ийн стандарт хазайлт

Газар хөдлөл үүсч болох тектоник хагарал болон ажиглалтын цэгийн харьцангуй байршлын геометр параметруудийг Зураг 2-т тоймлон үзүүлэв.



Зураг 2. Хагарал болон ажиглалтын цэгийн байршлын геометр параметруудийн тойм зураг

Бидний авч үзэж буй Могодын хагарал болон ажиглалтын цэгүүд болох Булган ба Эрдэнэт хотуудын байршлын геометр параметруудийн утгуудыг дараах байдлаар тооцов:

$$L = 56.4 \text{ км}$$

Булган хотын хувьд:

$$r_{min} = 50.2 \text{ км},$$

$$r_{max} = 99.5 \text{ км}$$

$$x_0 = 40.6 \text{ км}$$

Эрдэнэт хотын хувьд:

$$r_{min} = 94.3 \text{ км},$$

$$r_{max} = 138.9 \text{ км}$$

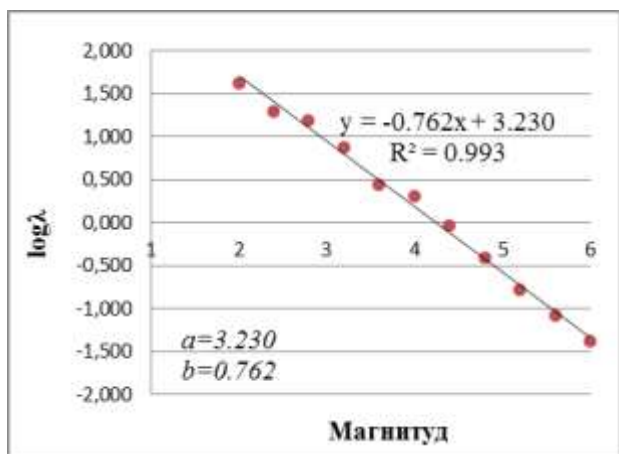
$$x_0 = 78.8 \text{ км}$$

### IV. СУДАЛГААНЫ ҮР ДҮН

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Үндэсний мэдээллийн төвийн сангаас Могодын хагарлын орчимд бүртгэгдсэн 1964-2013 оны газар хөдлөлийн эпицентрийн байршил болон магнитудын утгыг авч [6] Булган ба Эрдэнэт хотуудын хувьд газар хөдлөлийн аюулыг магадлалын аргаар үнэлэв.

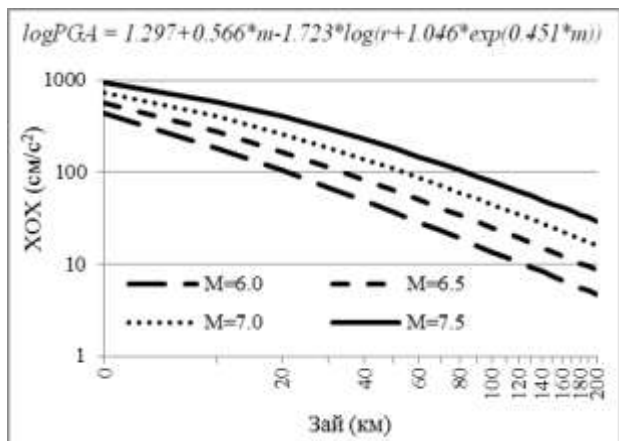
Могодын хагарал орчмын газар хөдлөлийн магнитудын түгэлтийг Гутенберг-Рихтерийн давтагдалын хуулиар тодорхойлсон дүнг Зураг 3-т харуулав.

Эндээс тухайн бүс нутгийн сейсмийн ба тектоникийн параметруудийн утгыг  $a=3.230$  ба  $b=0.762$  гэж үнэлэв.



Зураг 3. Могодын хагарал орчмын газар хөдлөлтийн магнитудын түгэлт

У.Чандрагийн гаргасан газар хөдлөлийн эрчмийн сулралын хууль [7]-ийг ашиглан Могодын хагарлаас үүсэх газар хөдлөлийн эрчмийн сулралыг үнэлсэн дүнг Зураг 4-т үзүүлэв.



Зураг 4. Могодын хагарлаас үүсэх газар хөдлөлтийн эрчим зайнаас хамаарч сулрах байдал

Ингэхдээ M=6.0, M=6.5, M=7.0 ба M=7.5 магнитуд тус бүрийн хувьд хөрсний оргил хурдатгалын утгыг зайнаас хамааруулан үнэлсэн болно.

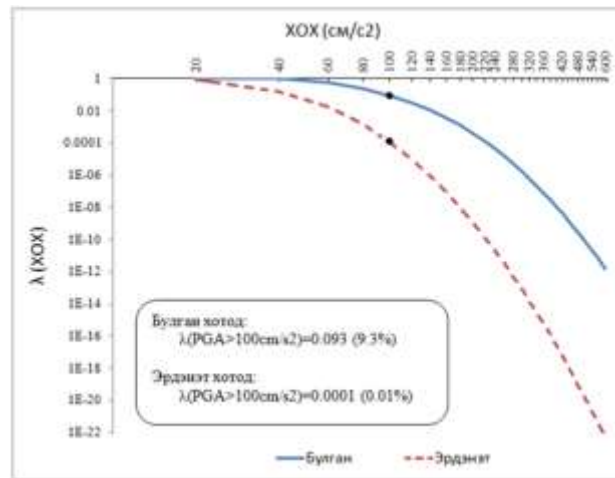
Зураг 4-өөс харахад Могодын хагарал орчимд M=7.0 магнитудтай газар хөдлөлт болоход хөрсний оргил хурдатгалын утга Булган орчимд ойролцоогоор 140см/с<sup>2</sup>, Эрдэнэт орчимд ойролцоогоор 60см/с<sup>2</sup> байна.

Хөрсний оргил хурдатгалын эдгээр утгуудыг В.И.Уломовын томъёолсон

$$\log_{10} \left[ \frac{A}{0.301} \right] = I_{(MSK-64)} - 0.107 \quad (7)$$

илэрхийллийг ашиглан хөрсний шилжилтийн эрчим (ground motion intensity)-ээр илэрхийлбэл Могодын хагарал орчимд M=7.0 магнитудын хүчтэй газар хөдлөлт болоход Булган хотод 7.5 балл, Эрдэнэт хотод 6.0 баллын чичирхийлэл мэдрэгдэнэ гэсэн үг юм.

Могодын хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлийн аюулыг Булган ба Эрдэнэт хотуудын хувьд 100 жилээр тооцсон дүнг Зураг 5-д үзүүлэв.



Зураг 5. Булган ба Эрдэнэт хотуудын газар хөдлөлийн аюулын муруй (100 жилд)

Газар хөдлөлийн аюулын муруйн зургаас үзэхэд Могодын хагарал орчимд газар хөдлөл болоход Булган хот орчмын хөрсний оргил хурдатгалын утга 100см/с<sup>2</sup> (0.1g)-аас хэтрэх магадлал 100 жилд 9.3% бол Эрдэнэт хот орчмын хөрсний оргил хурдатгалын утга мөн 100см/с<sup>2</sup> (0.1g)-аас хэтрэх магадлал 100 жилд 0.01% байна.

Ийнхүү тооцохдоо хугацааны эхийг Могодын хагарал орчимд хүчтэй газар хөдлөл болсон хугацаа буюу 1967 оноос тооцсон болно.

Газар хөдлөлийн аюулын давтагдах хугацааг тооцсон дүнг 1-р хүснэгтэд харуулав.

Эндээс үзэхэд Могодын хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлөөр Булган хот орчмын хөрсний оргил хурдатгалын утга 100см/с<sup>2</sup> болох тохиолдол 1080 жилд 1 удаа болно.

1-р хүснэгт. Могодын хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлийн аюулын давтагдах хугацаа

XOX (cm/c <sup>2</sup> )	Давтагдах хугацаа (жил)	
	Булган	Эрдэнэт
20	29	115
40	77	646
60	177	5823
80	423	67763
100	1080	835844
120	2951	9960559

XOX (cm/c<sup>2</sup>)                      Давтагдах хугацаа (жил)

	Булган	Эрдэнэт
20	29	115
40	77	646
60	177	5823
80	423	67763
100	1080	835844
120	2951	9960559

## V. ДҮГНЭЛТ

Могодын хагарлаас үүсэх газар хөдлөлийн аюулыг Булган болон Эрдэнэт хотуудад магадлалын аргаар үнэлсэн дүнгээс дараах дүгнэлтүүдийг хийв. Үүнд:

- Могодын хагарал орчимд  $M=7.0$  магнитудтай газар хөдлөлт болоход хөрсний

оргил хурдатгалын утга Булган орчимд ойролцоогоор  $140 \text{ см/с}^2$ , Эрдэнэт орчимд ойролцоогоор  $60 \text{ см/с}^2$  байна.

- Могодын хагарлаас үүсэх газар хөдлөлийн улмаас хөрсний оргил хурдатгалын утга  $100 \text{ см/с}^2$  ( $0.1g$ )-аас хэтрэх магадлал

- Булган хотын хувьд 100 жилд 9.3%,

- Эрдэнэт хотын хувьд 100 жилд 0.01% байна.

- Газар хөдлөлийн давтагдах хугацааг тооцсон дүнгээс үзэхэд Могодын хагарлын улмаас үүсэх газар хөдлөлөөр Булган хот орчмын хөрсний оргил хурдатгалын утга  $100 \text{ см/с}^2$  болох тохиолдол 1080 жилд 1 удаа болно.

- 
- [1] Ж.Бямба, Геотектоник, Улаанбаатар (2012)
- [2] A.Bayasgalan and J.A.Jackson, A re-assessment of the faulting in the 1967 Mogod earthquakes in Mongolia, *Geophysical Journal International*, **138**, 784 (1999)
- [3] Е.А.Рогожин, и др., Тектоническая позиция и геологические проявления Могодского землетрясения 5 Января 1967г. в Центральной Монголии (взгляд сорок лет спустя), *ФИЗИКА ЗЕМЛИ*, 8, 70 (2008)
- [4] B.Gutenberg, C.F.Richter, Magnitude and Energy of Earthquakes. *Annali di Geofisica*, **9**, 1 (1956)
- [5] Jack W. Baker, An Introduction to Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) (2008)
- [6] ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Үндэсний мэдээллийн төвийн сан
- [7] U.Chandra, Attenuation of intensities in the United States, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **69**, 6 (1979)