



Estimating the magnitude completeness in earthquake catalogues, case study in the region of Uvs

Bolor-Erdene Ganbaatar^{1*}, Munkhsaikhan Adiya¹, and Baatarchuluun Tsermaa¹

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

Received: 2025-10-30, Accepted: 2025-12-25, <https://doi.org/10.5564/mjag.v12i1.5182>

*Corresponding author: g.bolor-erdene@iag.ac.mn 0009-0006-0677-3137

Abstract

Earthquake catalogues provide the foundation for analysing regional seismicity, spatial distribution, and the frequency and recurrence of strong earthquakes. A key parameter in such analysis is the magnitude of completeness (M_c). In this study, M_c is estimated for the Uvs region using the Catalogue-based Goodness-of-Fit test applied to the earthquake catalogue within 1997–2023. The results indicate an value of 1.2, suggesting that earthquakes with magnitudes $M \geq 1.2$ are completely recorded in the region. Furthermore, the magnitude of completeness in the earthquake catalogue is closely related to the detection capability of the seismic station network. An analysis accounting for the improvement of seismic stations in the study area shows that M_c decreased from 2.9 to 0.9.

Keywords: Magnitude completeness, goodness of-fit test, earthquake catalogue

1. Удиртгал

Газар хөдлөлтийн каталог нь газар хөдлөлтийн эхэлсэн хугацаа, газарзүйн байрлал, голомтын гүн, хүч буюу магнитуд зэрэг параметруудийг агуулсан байдаг. Энэхүү каталог нь газар хөдлөлийн зүй тогтлыг шинжлэх ухааны үндэслэлтэй ойлгож, дүгнэлт гаргахад зайлшгүй шаардлагатай эх сурвалж болдог. Цаашлаад газар хөдлөлийн идэвхжил ба тархалтын онцлогийг судлах, хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамж болон давтагдах магадлалыг үнэлэх зэрэг судалгааны ажлын үндэс суурь болдог. Гэвч газар хөдлөлтийн каталог бүрдүүлэх нь газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын жигд бус тархалт, бүртгэх хүчин чадал зэргээс шалтгаалан бүрэн төгс байх боломжгүй байдаг.

Энэхүү судалгаанд Увс бүс нутагт болсон

газар хөдлөлтийн каталогийн хувьд бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаар болох M_c -ын утгыг тодорхойлох асуудлыг авч үзсэн.

Хэрэв M_c -ын утгыг бодит утгаас хэт бага тодорхойлбол газар хөдлөлтийн каталог бүрэн бус болж, газар хөдлөлийн судалгаанд ашиглагдах үндсэн параметруудийг буруу дүгнэхэд хүргэж болзошгүй. Харин эсрэгээрээ, хэт өндөр M_c -ын утга сонгосон тохиолдолд судалгаанд ашиглаж болох бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн тоо эрс багасах сул талтай байдаг (Mignan & Woessner, 2012; Huang et al., 2016; Li et al., 2025). Иймээс тухайн бүс нутгийн газар хөдлөлтийн каталогийн M_c -ын утгыг зөв тодорхойлох нь судалгааны гол зорилго, чухал асуудал юм.

Увс бүс нутгийн ерөнхий сейсмшил

Увс бүс нутаг нь баруун хэсгээрээ Монгол Алтайн нурууны хойд хэсэг, төв хэсгээрээ Их Нууруудын Хотгор, зүүн хэсгээрээ Хангайн нурууны Хан Хөхийн уулсыг багтаасан геологи, тектоникийн хувьд нэлээд өвөрмөц, нийлмэл бүтэцтэй бүс нутаг юм (Byamba, 2012). Энэхүү судалгаанд Увс бүс нутгийг бүхэлд нь хамарсан талбайг судалгааны бүс болгон сонгон авсан. Судалгааны талбайд голчлон баруун гарын хэвтээ шилжилттэй хагарлууд зонхилж, цөөн тохиолдолд зүүн гарын хэвтээ шилжилт болон тохрол хагарлууд ажиглагддаг (Khilko et al., 1985; Sokolov et al., 2023). Эдгээр идэвхтэй хагарлуудаас хамгийн урт нь Цагаан шувуутын хагарал бөгөөд энэ нь ойролцоогоор 1000 км урт үргэлжилдэг (Byamba, 2012). Уг хагарлыг судлаачид Үүрэг нуур, Цагаан шувуут-Жид болон Хар-Ус-Нуур гэсэн нэршилтэй судалж ирсэн байдаг. Мөн Булнай хагарлын салбар хагарал болох Тэрэгт, Зүүнговь, Хотгор, Хан Хөхий, Зүүн Тагна, Малчин зэрэг хагарлууд тус бүс нутагт багтаж байна (Зураг. 1). Эдгээр идэвхтэй хагарлууд нь магнитуд нь М7.0-8.3-тай хүчтэй газар хөдлөлтүүдээр бий болсон байна (Odonbaatar, 2017).

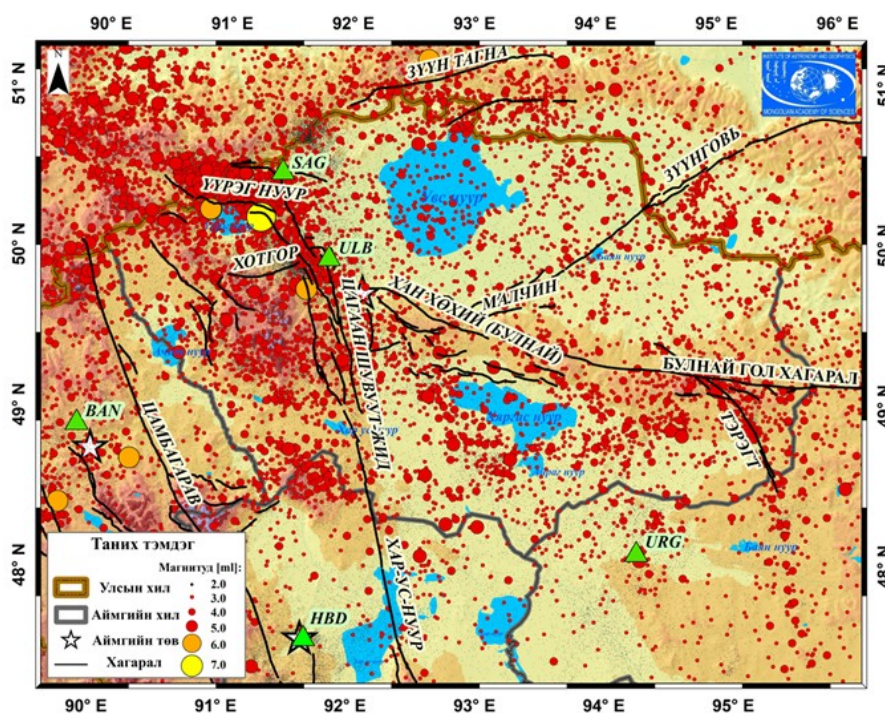
Тухайн бүс нутагт хамгийн сүүлд тохиолдсон хүчтэй газар хөдлөлт бол Үүрэг нуурын газар хөдлөлт юм. Уг газар хөдлөлт нь 1970 оны 5 дугаар сарын 15-ны 2 цаг 13 минут 14 секундэд (орон нутгийн цагаар) Увс аймгийн Сагил сумын нутаг, Цагаан шувуут уулын зүүн урд биед магнитуд нь М7.0-той хүчтэй газар хөдлөлт юм. Газар хөдлөлтийн үеэр Үүрэг нуураас зүүн зүгт 10 км-т орших Цагдуул уул, Биж булгийн районд газар дороос хүчтэй дуу гарч, хөрсөн дээр өргөргийн дагуу чиглэлтэй 6-8 км урт, зарим газраа тасалдсан хагаралт, язралт үүссэн байна. Эдгээрээс хамгийн урт нь Сонгинот болон Хэцүүгийн хавцлуудын хооронд үүссэн байдаг бөгөөд 2 км үргэлжилсэн байдаг (Baljinyam, 1971; Khilko et al., 1985). Түүнчлэн Сагил, Түргэн сумуудад газар дороос хүчтэй дуу гарч, айж сандран гэрээсээ гүйн гарсан хүмүүс хөл дээрээ тогтоход бэрхтэй байснаас гадна түүхий тоосгоор барьсан байшингуудад

ан цав үүсэж, цонхны шил бүлт үсэрч, ханын шавардлага хэсэг хэсгээрээ өмөрч унасан байна. Улаангом хотод байшингийн таазнаас шохой унаж, шавардлага нь ховхрон, орон сууцанд байсан хүмүүс нойрноосоо сэрж гадагш гүйн гарцгаасан байна. Тухайн хүчтэй газар хөдлөлтийн дараагаар олон тооны хүчтэй давталт газар хөдлөлтүүд болж, орон нутгийн иргэдэд мэдрэгдсэн байна. Судлаачид тус хүчтэй газар хөдлөлтийн гүн нь 10 км-ээс хэтрээгүй бөгөөд эвдрэлийн бүсийг 50 км² талбайг хамарч, голомтдоо IX-X баллын чичирхийлэл үүсгэсэн гэж дүгнэсэн байна (Khilko et al., 1985).

Судалгаанд ашигласан газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд бүртгэгдсэн хамгийн хүчтэй газар хөдлөлт нь 2022 оны 7 дугаар сарын 29-ний 20 цаг 01 минут 17 секундэд (орон нутгийн цагаар), Увс аймгийн Сагил сумын нутагт магнитуд нь М5.6-тай газар хөдлөлт юм. Энэ нь 1970 оны Үүрэг нуурын газар хөдлөлтийн голомтын бүс нутагт болсон байна. Тус газар хөдлөлт нь онолын тооцооллоор голомтдоо V-VI баллын чичирхийлэл үүсгэсэн байна. Энэхүү газар хөдлөлтийн чичирхийллийг Увс аймгийн иргэд II-IV баллаар, Ховд аймгийн иргэд III-IV баллаар, Баян-Өлгий аймгийн иргэд II-III баллаар тус тус мэдэрсэн байна. Увс бүс нутгийн газар хөдлөлтийн төвийн тархалтаас харахад (Зураг 1) тус бүс нутаг дахь идэвхтэй хагарлуудын дагуу газар хөдлөлийн идэвхжил тогтмол ажиглагдсаар байна.

Судлагдсан байдал

Увс бүс нутагт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангийн M_c -ын утгыг статистик тооцооллын аргаар тодорхойлсон судалгааны ажил одоогоор хийгдээгүй байна. Гэсэн хэдий ч тус бүс нутагт болж байсан хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүсийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн судалгаа нэлээдгүй хийгдсэн байна. Тухайлбал, 2006 онд М.Өлзийбат, 1964-2002 онд бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашиглан тус бүс нутгийн газар хөдлөлийн идэвхжилтийг 4.6 (a утга), давтагдалтыг (b утга) 0.8 гэж тодорхойлсон байна (Ulziibat, 2006). Мөн 2010



Зураг 1. Увс бүс нутгийн газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зураг (1994-2023). Ногоон гурвалжнаар газар хөдлөлтийг бүртгэх станцыг тэмдэглэв.

онд М.Адьяа нар нь 1964-2008 оны мэдээллийг ашиглан тус бүс нутгийн идэвхжилтийг 5.1, давтагдалтыг 0.9 гэж тооцоолсон байна (Adyaa, 2010).

Мөн “Баян-Өлгий аймгийн төв Өлгий сумын газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураглал хийх” ажлын хүрээнд Цагаан шувуут хагарал орчмын идэвхжилтийг 3.7 ба давтагдалтыг 1.0, Хан Хөхий хагарал орчмын идэвхжилтийг 3.3 ба давтагдалтыг 0.7, Үүрэг нуур хагарал орчмын идэвхжилтийг 3.6 ба давтагдалтыг 1.0, Хотгор хагарал орчмын идэвхжилтийг 2.3 ба давтагдалтыг 0.7 гэж тус тус тодорхойлсон байна. Эдгээр бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал харьцангуй бага боловч газар хөдлөлийн идэвхжилтийн хувьд өндөр гэж дүгнэсэн байна (Odonbaatar, 2017).

2. Судалгааны арга зүй

Бүс нутгийн хувьд тодорхой хугацаанд сонгож авсан газар хөдлөлтийн каталогт бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаарын утгыг “magnitude completeness” гэж нэрлэдэг бөгөөд M_c гэж тэмдэглэдэг. Өөрөөр хэлбэл, M_c -ээс дээш магнитудтай бүх газар хөдлөлтүүдийг алдалгүй бүрэн бүрт-

гэж чадаж байна гэсэн үг юм.

M_c утгыг газар хөдлөлтийн каталогт суурилсан болон газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын сүлжээнд суурилсан гэсэн 2 үндсэн аргаар тодорхойлдог. Газар хөдлөлтийн каталогт суурилсан аргын хувьд судлаачид хэд хэдэн (жишээлбэл, 4-6) аргыг санал болгож, судалгаанд ашигладаг (Wiemer & Wyss, 2000; Woessner & Wiemer, 2005; Mignan & Woessner, 2012). Эдгээрээс M_c -ын утгыг тодорхойлоход түгээмэл хэрэглэгддэг аргуудыг дурдвал:

1. Хамгийн их мурийлтын арга - (The Maximum Curvature technique-MAXC) Энэхүү арга нь M_c -ын утгыг тодорхойлох хурдан, хялбар арга бөгөөд газар хөдлөлийн судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг. Энэхүү арга нь бүртгэгдсэн “Давтамж-Магнитудын Тархалт-ДМТ”-аас хамгийн их давтамжтай (хамгийн их бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн тоо) магнитудын утгыг M_c гэж тодорхойлдог.
2. Тохирлын шалгалтын арга - (The Goodness-of-Fit Test- GFT) Энэхүү арга нь бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн каталог болон үүсгэсэн синте-

тик каталог 2 нь хоорондоо хэр сайн тохирч байгааг илтгэх итгэлцлийн түвшин болох (confidence level) R утгыг ашиглан M_c -ын утгыг тодорхойлно. Үүнийг дараах тэгшитгэлээр тооцоолно (Тэг. 1).

$$R(a, b, M_{co}) = 100 - \left(\frac{\sum_{M_{co}}^{M_{max}} |B_i - S_i|}{\sum_i B_i} 100 \right) \quad (1)$$

Үүнд: B_i болон M_c нь бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн болон үүсгэсэн синтетик газар хөдлөлтийн нийлбэр тоо.

3. Тогтвортой b утгаар M_c тооцоолох арга - (The M_c by b -value stability approach-MBS)

Энэхүү аргын гол санаа нь утгын тогтвортой байдлыг ашиглан M_c -ын утгыг тодорхойлох юм. Ингэхдээ утгын алдааг Shi, Bolt (1982) нарын гаргасан δb -утгыг шалгуур болгон ашигладаг. Энэ нь M_c -ын утгыг тодорхойлоход илүү баталгаатай, зөвшөөрөгдсөн шалгуур болдог. Үүнийг дараах тэгшитгэлээр тодорхойлно (Тэг. 2).

$$\delta b = 2.3b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \langle M \rangle)^2}{N(N-1)}} \quad (2)$$

Үүнд: $\langle M \rangle$ – магнитудын дундаж утга, N – газар хөдлөлтийн тоо, b – давтагдалтын утга. Тооцоолж гаргасан δb -утгыг $\Delta b = |b_{ave} - b| \leq \delta b$ ашиглан нөхцөл хангагдсан хамгийн эхний магнитудын өсөлт (increment)-өөр M_c -ын утгыг тодорхойлно. Үүнд: Δb b утгын зөрүү, b_{ave} b -н дундаж утга бөгөөд дараах тэгшитгэлээр тооцно (Тэг. 3).

$$b_{ave} = \sum_{M_{co}}^{M_{co}+dM} b(M_{co}) \Delta m / dM \quad (3)$$

M_{co} – сонгож авсан магнитудын утга, Δm – магнитудын алхам, dM – магнитуд хоорондын зай.

4. Бүх магнитудаар тодорхойлох арга M_c (Mc from the Entire Magnitude Range-EMR)

Энэхүү арга нь сонгож авсан газар хөдлөлтийн каталогийн бүх магнитудын утгыг (M_c -ээс бага утгуудыг хүртэл хамруулна) оролцуулан -ын утгыг тодорхойлох арга юм. Энэ нь Гутенберг-Рихтерийн хуульд тулгуурласан бүрэн хэсэг болон хуримтлагдсан нормаль

тархалтын хувьд гаргасан бүрэн бус хэсэг гэсэн хоёр хэсгээс бүрдэнэ. Эдгээр хоёр хэсгийг хооронд нь үржүүлснээр онолын ДМТ үүснэ. Энэ нь хуримтлагдаагүй (non-cumulative) ДМТ хэлбэрээр илэрхийлэгдэнэ. Улмаар газар хөдлөлтийн каталогийн бүх магнитудын тархалтыг нэгэн зэрэг тайлбарлах хамгийн тохиромжтой параметруудийн багц болох μ, σ, β -г олно. Эдгээр параметруудийг ашиглан M_c -ын утгыг дараах томъёогоор тодорхойлно (Тэг. 4).

$$M_c(n) = \mu + n * \sigma \quad (4)$$

Үүнд: μ - магнитудын дундаж утга, σ - стандарт хазайлт, n - статистик итгэлийн зэрэг (indicates the confidence level), $n = 0$ нь 50% (дундаж илрэлт), $n = 1, 2, 3$ нь тус тус 68%, 95% болон 99%-ийн илрэлтийг илэрхийлнэ.

Газар хөдлөлтийн каталогийн бүртгэл, мөн газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын тоо нэмэгдсэн байдал, бүртгэх чадвар сайжирсныг харгалзан үзэхэд GFT арга нь хамгийн тохиромжтой гэж үзээд энэхүү судалгаанд сонгон ашиглав. Учир нь GFT арга нь МАХС аргатай адил хэрэглэхэд харьцангуй энгийн боловч илүү сайн статистик үндэслэлтэй, тогтвортой үнэлгээ өгдөг онцлогтой. Харин MBS арга нь M_c -ын утгыг харьцангуй өндөр үнэлэх хандлагатай бөгөөд олон тооны газар хөдлөлтийн мэдээлэл шаарддаг, тооцооллын хувьд төвөгтэй юм. Мөн EMR арга нь онолын хувьд илүү иж бүрэн, бүртгэл дутуу хэсгийг статистик загвараар хамруулдаг давуу талтай боловч параметрийн тооцоолол их, цаг хугацаа их шаарддаг бөгөөд харьцангуй цөөн тооны газар хөдлөлтийн мэдээлэлд үр дүнгийн тогтвортой байдал буурах боломжтой байна.

Тохирлын шалгалтын арга

Энэхүү арга нь дараах 4 үе шатуудаас бүрдэнэ.

Газар хөдлөлтийн давтагдалтын утгыг тодорхойлох:

M_c -ыг Гутенберг-Рихтерийн хуулийн шугаман хамаарал алдагдаж эхэлж буй магнитудын утгаар үнэлдэг. Гутенберг-Рихтерийн

хуулиар тухайн бүс нутагт болж буй газар хөдлөлтийн давтамж болон магнитуд хоорондын хамаарлыг харуулдаг бөгөөд дараах тэгшитгэлээр илэрхийлнэ (Тэг. 5).

$$\log_{10}(N(M)) = a - bM \quad (5)$$

Үүнд: M – магнитуд, b – магнитуд бүхий нийт газар хөдлөлтийн тоо, b – давтагдалтын утга, a – идэвхжилтийн утга.

Бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн каталогийг ашиглан Гутенберг-Рихтерийн хуулийн давтагдалтын утга болох b -г туйлын магадлалын арга (maximum likelihood method (Aki 1965))-аар (Тэг. 6) тэгшитгэлээр тодорхойлно. Ингэхдээ тодорхой нэг магнитудын босго сонгох (сонгож авсан магнитудыг M_{co} гэж тэмдэглэсэн) бөгөөд түүнээс дээш бүх магнитудтай газар хөдлөлтүүдийн хувьд 0.1-ийн алхмаар тооцоолно.

$$b = \frac{\log_{10}(e)}{\langle M \rangle - \left(M_{co} - \frac{\Delta M}{2} \right)} \quad (6)$$

Үүнд: M_{co} – сонгож авсан магнитудын утга, $\langle M \rangle$ – сонгож авсан магнитуд болон түүнээс дээших бүх магнитудын дундаж утга, ΔM – магнитудын алхам, e – натурал логарифмын суурь.

Синтетик газар хөдлөлтийн каталог үүсгэх:

Тэг. 2-оор тооцоолсон давтагдалтын утга бүрд харгалзах газар хөдлөлтийн тоог ашиглан Гутенберг-Рихтерийн хуулийн дагуу газар хөдлөлтийн синтетик каталогийг үүсгэнэ. Синтетик каталог нь бүртгэгдсэн ДМТ-д суурилсан статистик загварчлалын үр дүнд үүсгэсэн зохиомол мэдээллийн сан юм.

Бүртгэгдсэн болон синтетик каталогийн хоорондын R -утгыг олох

Бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн каталог болон үүсгэсэн синтетик каталог 2 нь хоорондоо хэр сайн тохирч байгааг илтгэх итгэлцлийн түвшин болох (confidence level) утгыг дараах тэгшитгэлээр тооцоолно. (Тэг. 7):

$$R(a, b, M_{co}) = 100 - \left(\frac{\sum_{M_{co}}^{M_{max}} B_i}{\sum_i B_i} 100 \right) \quad (7)$$

Үүнд: B_i болон S_i нь бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн болон үүсгэсэн синтетик газар хөдлөлтийн нийлбэр тоо.

Бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаарыг (M_{co}) тодорхойлох

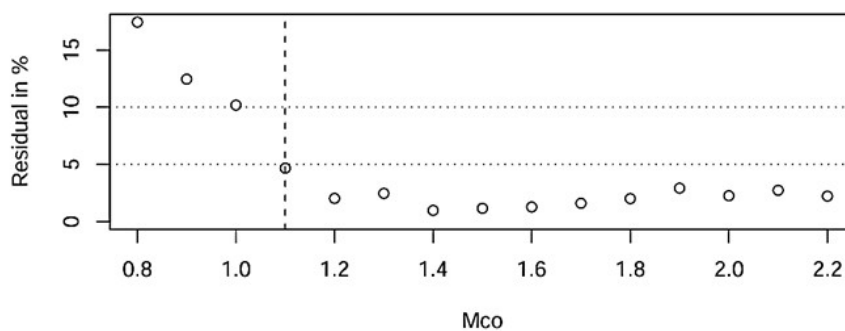
Сонгож авсан магнитуд болох M_{co} утгад харгалзах итгэлцлийн түвшин болох R утгыг тэгшитгэл 3-аар тооцоолон гаргана. Итгэлцлийн түвшин болох R утга 95%-д хүрэх үеийн M_{co} утгыг M_c гэж авч үзэхийг (Mignan & Woessner, 2012) нар зөвлөсөн байдаг (Зураг. 2).

Зургаас харахад $R = 95\%$ гэсэн итгэлцлийн түвшинд хүрсэн нөхцөлд үндэслэн M_c -г 1.1 гэж тодорхойлсон байна (Зураг 2-т босоо тасархай шугамаар тэмдэглэв). Хэрэв R нь 95%-ийн түвшинд хүрэхгүй тохиолдолд R нь 90% байх түвшнийг ашиглаж, уг түвшинд хүрэх M_{co} утгыг M_c гэж тооцдог. Хэрэв R нь 90% түвшинд хүрэх боломжгүй, өөрөөр хэлбэл цөөн тооны газар хөдлөлтийн мэдээллийн хувьд хамгийн их мурийлтын арга (Maximum Curvature technique-МАХС)-ыг ашиглан M_c -ын утгыг тодорхойлох боломжтой (Wiemer & Wyss, 2000; Woessner & Wiemer, 2005).

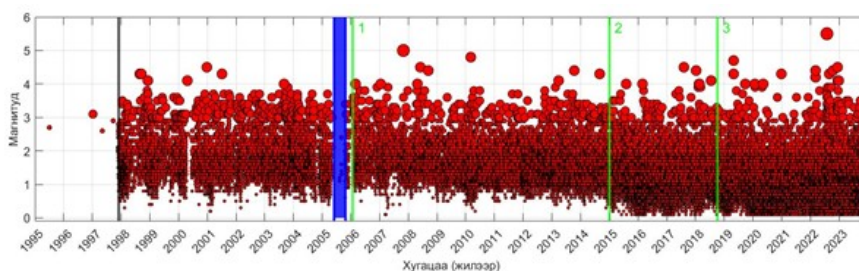
3. Мэдээллийн сан бүрдүүлэлт

Судалгаанд ашигласан мэдээллийг ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Газар хөдлөл судлалын салбарын Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-ийн мэдээллийн сангаас авсан. Увс аймгийн нутаг дэвсгэрийг бүрэн хамруулах зорилгоор өргөргийн 48.35-50.91, уртрагийн 89.88-95.73 градусын хооронд бүс нутагт 1994-2023 онуудад болсон газар хөдлөлтийн мэдээллийг багтаасан (Зураг. 1). 1994-2023 онд Увс бүс нутагт нийт 91494 газар хөдлөлт тодорхойлогдсон бөгөөд хүчний хувьд ангилж үзвэл: магнитуд М1.0-тэй газар хөдлөлт 84533, магнитуд М2.0-той газар хөдлөлт 6255, магнитуд М3.0-тай газар хөдлөлт 668, магнитуд М4.0-тэй газар хөдлөлт 36, магнитуд М5.0-тай газар хөдлөлт 2 удаа болсноос (Зураг. 3) харахад нийт газар хөдлөлтийн 92.3% нь магнитуд М2.0 болон түүнээс сул хүчтэй газар хөдлөлтүүд байна. Эдгээр газар хөдлөлтүүдээс хамгийн хүчтэй нь 2022 оны 7 дугаар сарын 29-нд Увс аймгийн Сагил сумын нутаг дэвсгэрт болсон магнитуд нь М5.6-тай газар хөдлөлт юм.

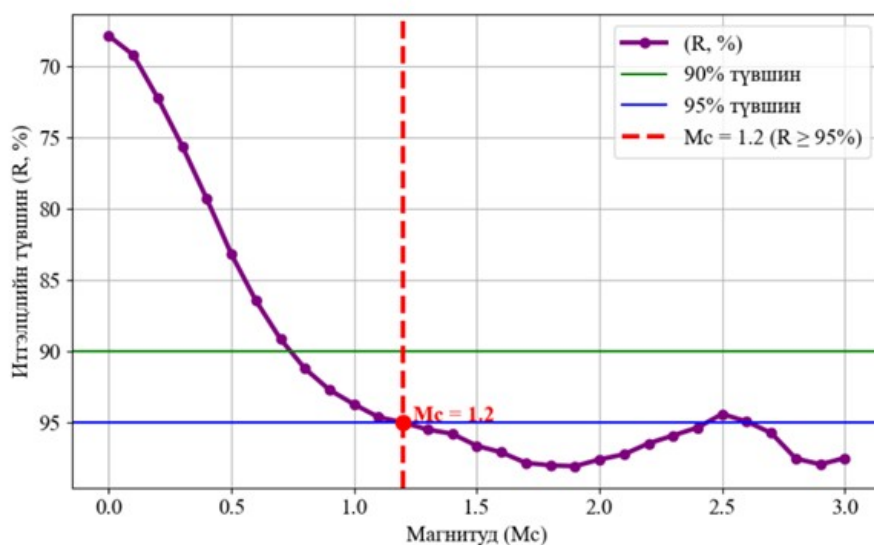
1994-2023 оны хооронд болсон 91494 газар



Зураг 2. Сонгож авсан магнитуд (M_{co}) болон итгэлцлийн түвшин (R утга ($100 - R$)) хоорондын хамаарлын график (Mignan & Woessner, 2012)



Зураг 3. Увс бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийн тоо (1994-2023).



Зураг 4. Судалгааны бүс нутагт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн магнитуд болон хугацааны хамаарлын график. Энд хар өнгөөр Ховдын бичил сүлжээ станц байгуулагдсан хугацааг, ногоон өнгөөр Увс аймагт станц байгуулагдсан хугацааг, харин цэнхэр өнгөөр Улаангом станцын тасарсан хугацааг тус тус тэмдэглэв.

хөдлөлтийн магнитуд хугацааны хамаарлын графикаас (Зураг. 4)-аас харахад 1997 оны төгсгөлөөс эхлэн газар хөдлөлтийг олноор бүртгэсэн нь ажиглагдаж байна. Энэ нь 1997 оны 11 дүгээр сарын 28-нд Ховд аймагт газар хөдлөлт бүртгэх бичил сүлжээ станц (HBD) байгуулсантай (Зураг. 4-т хар өнгөөр

тэмдэглэв) холбоотой юм. Увс аймагт газар хөдлөлт бүртгэх анхны аналог станцыг (Улаангом) 1987 онд байгуулсан бөгөөд 2006 оны 3 дугаар сард дижитал станцаар шинэчлэн сайжруулсан (Зураг. 4-т ногоон өнгөөр (1) тэмдэглэв). Харин газар хөдлөлт бүртгэх станцын шинэчлэлтэй холбоотойгоор 2005

оны 6-10 дугаар сарын хооронд газар хөдлөлт бүртгэх станц ажиллаагүй (Зураг. 4-т цэнхэр өнгөөр тэмдэглэв) учраас бүртгэгдэх газар хөдлөлт багассан нь харагдаж байна. Улмаар 2015 оны 1 дүгээр сараас Улаангом дахь станцыг орчин үеийн өндөр хүчин чадалтай тоног төхөөрөмжөөр шинэчлэхийн зэрэгцээ аймгийн төвөөс хойш 18 километрт Хархираа уулын бэлд суурилуулснаар (Зураг. 4-т ногоон өнгөөр (2) тэмдэглэв) бага магнитудтай газар хөдлөлтийг илүү сайн бүртгэж эхэлсэн байна. Мөн 2018 оны 10 дугаар сард Сагил сумын нутагт газар хөдлөлтийг бүртгэх (SAG) суурин станц байгуулсан (Зураг. 4-т ногоон өнгөөр (3) тэмдэглэв). Иймд газар хөдлөлт бүртгэх станцын тоог нэмэгдүүлэх нь газар хөдлөлийн судалгааг гүйцэтгэхэд шаардагдах мэдээллийн сангийн бүрдүүлэлт болон мэдээлэл боловсруулалтын чанарыг сайжруулахад чухал нөлөө үзүүлж байна.

ҮМТ-ийн мэдээллийн сангаас авсан нийт 91494 газар хөдлөлтөөс 3 болон түүнээс дээш станцаар тодорхойлогдсон 47469 газар хөдлөлтийн мэдээллийг сонгон авч судалгааны ажилдаа ашигласан. Учир нь 3 болон түүнээс дээш станцын мэдээллээр тодорхойлогдсон газар хөдлөлтийн төв буюу газарзүйн байрлал нь илүү нарийвчлалтай гэж үздэг.

4. Судалгааны үр дүн

1997-2023 онуудад Увс бүс нутагт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд тулгуурлан бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаарыг тодорхойлох судалгааны ажлыг хийсэн. Үүнд:

1. Бүх газар хөдлөлтийн хувьд: Тус хугацаанд бүртгэгдсэн нийт 91496 газар хөдлөлтөөс, 3 болон түүнээс дээш станцаар тодорхойлогдсон бөгөөд бие биеэсээ хамааралгүй, бие даасан 32422 газар хөдлөлтийн мэдээллийг сонгон M_c -г тодорхойлсон.
2. Хугацаанаас хамааруулсан анализ: Мөн газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын өөрчлөлт нь M_c -ын утгад нөлөөлж байгаа эсэхэд анализ хийх зорилгоор Увс аймаг болон хил залгаа аймгуудын газар

хөдлөлт бүртгэх станцуудын хүчин чадал болон тоног төхөөрөмжийг шинэчлэн өргөжүүлсэн хугацаанаас хамааруулан хугацааны хувьд 4 ангилан үзэж M_c -г тодорхойлсон.

Бүх газар хөдлөлтийн хувьд

:

1997-2023 оны хооронд судалгааны бүс нутагт тодорхойлогдсон 47469 газар хөдлөлтөөс бие биеэсээ хамааралгүй бие даасан 32422 газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашиглан тохирлын шалгалтын аргаар M_c -г тодорхойлсон. Магнитуд бүрийн хувьд, 0.1 алхмаар газар хөдлөлтийн давтагдалтын утгыг тооцож, онолын хувьд газар хөдлөлтийн синтетик каталогийг үүсгэсэн. Мөн бүртгэгдсэн болон синтетик каталог хоорондоо хэр сайн тохирч байгааг илтгэх итгэлцлийн түвшин болох R утгыг Python программ ашиглан тооцоолсон. Тооцооллын үр дүнд түвшнийг хангасан M_c -ын утга нь магнитуд нь 1.2-той үед ($R \geq 95\%$) байна (Зураг. 5).

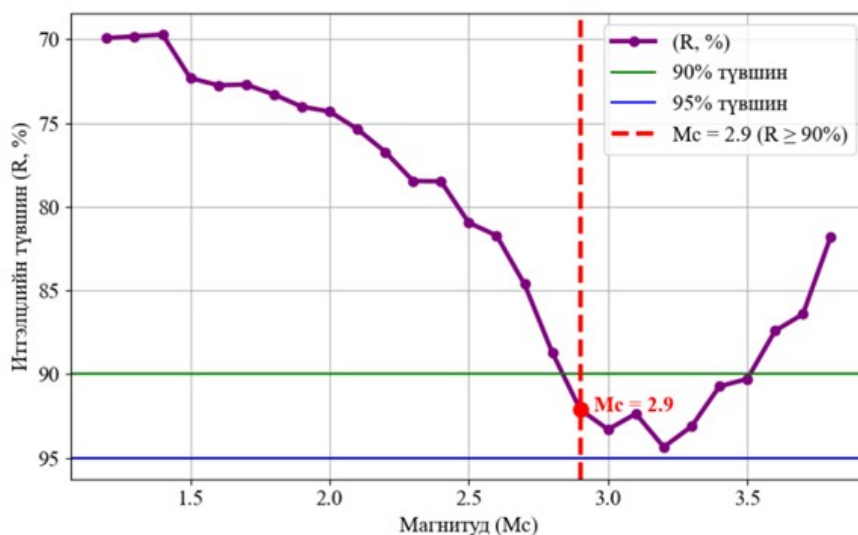
Газар хөдлөлтийн каталогийн M_c -ын утгыг тодорхойлсон үр дүнгийн (Зураг 5) зурагт ягаан муруйгаар магнитуд бүрд харгалзах R утгыг, ногоон болон цэнхэр шулуунаар $R90\%$ болон $R95\%$ -ийн түвшнийг, улаан тасархай шугамаар $R \geq 95\%$ түвшнийг хангаж буй -ын утгыг тус тус харуулж байна.

Хугацаанаас хамааруулсан анализ

:

Газар хөдлөлт бүртгэх станц нэмэгдэх эсвэл хасагдах үед бага магнитудтай газар хөдлөлтийг бүртгэх хүчин чадал өөрчлөгдөж, улмаар M_c -ын утга багасах эсвэл ихсэх боломжтой байдаг талаар судлаачид дурдсан байдаг (Huang et al., 2016). Тиймээс газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын өөрчлөлт нь M_c -ын утгад нөлөөлж байгаа эсэхэд анализ хийхийн тулд Увс аймаг болон хил залгаа аймгуудад газар хөдлөлтийг бүртгэх станцуудын хүчин чадал болон тоог нэмэгдүүлсэн хугацаанаас хамааруулан судалгаанд ашигласан газар хөдлөлтийн каталогийг 4 ангилан үзсэн. Үүнд:

1. Ховд аймагт газар хөдлөлтийг бүрт-



Зураг 5. Газар хөдлөлтийн каталогийн M_c -ын утгыг тодорхойлсон үр дүн. X тэнхлэгт магнитуд (M_c), Y тэнхлэгт итгэлцлийн түвшнийг (R , %) харуулсан.

гэх бичил сүлжээ станц байгуулагдсан үеэс эхлэн Улаангом дахь аналог станцыг дижитал станц руу шилжүүлсэн үе хүртэлх хугацаа буюу 1997/11/28 – 2005/05/30 (1-р үе).

2. Улаангом дахь аналог станцыг дижитал станц руу шилжүүлсэн үеэс эхлэн тус станцыг аймгийн төвөөс нүүлгэсэн үе хүртэлх хугацаа буюу 2006/02/01 – 2015/01/06 (2-р үе).
3. Станцыг аймгийн төвөөс нүүлгэсэн үеэс эхлэн Сагил сумын нутагт газар хөдлөлтийг бүртгэх станц суурилуулсан үе хүртэлх хугацаа буюу 2015/01/07 – 2018/10/07 (3-р үе).
4. Судалгааны бүс нутагт дахь газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын сүлжээнд өөрчлөлт ороогүй хугацаа буюу 2018/10/10 – 2023/12/31 (4-р үе).

Гурав болон түүнээс дээш станцаар тодорхойлсон бөгөөд бие биеэсээ хамааралгүй 32397 газар хөдлөлтийн хувьд дээрх хугацааны ангилал тус бүрд тохирлын шалгалтын аргаар M_c -ын утгыг тодорхойлсон. Магнитуд бүрийн хувьд, 0.1 алхмаар газар хөдлөлтийн давтагдалтын утгыг тооцож, онолын хувьд газар хөдлөлтийн синтетик каталогийг үүсгэсэн. Мөн бүртгэгдсэн болон синтетик каталог хоорондоо хэр сайн тохирч байгааг илтгэх итгэлцлийн түвшин болох

утгыг тооцоолсон утгыг Хүснэгт. 1 -т харуулав.

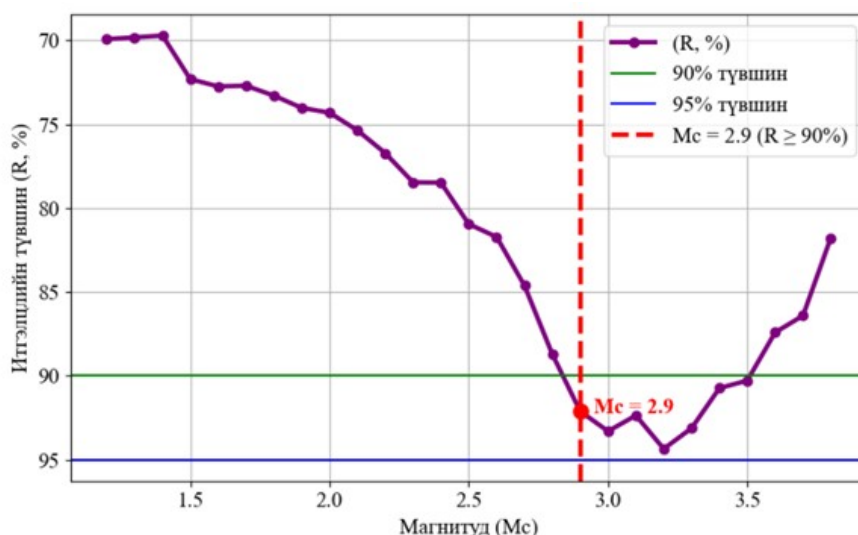
Нэг дүгээр үе буюу 1997/11/28-ээс 2005/05/30-ны хоорондох газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашиглан бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаарыг тодорхойлоход нь 2.9 гарч байна. Энэ хугацааны мэдээлэл дээр тооцоолол хийхэд итгэлцлийн түвшин нь 95% хүрсэн M_c -ийн утга байхгүй байсан тул (Wiemer & Wyss, 2000; Woessner & Wiemer, 2005) нарын зөвлөсний дагуу итгэлцлийн түвшин нь 90% -аас дээш гарсан анхны утга болох 2.9-ын утгыг авсан (Зураг. 6).

Харин бусад хугацаанууд болох 2006/02/01-ээс 2015/01/06-ны хоорондох 2 дугаар үед M_c нь 1.7, 2015/01/07-оос 2018/10/07-ны хоорондох 3 дугаар үед нь 0.9 болон 2018/10/10-аас 2023/12/31-ны хоорондох 4 дүгээр үед M_c нь 0.9 гарч байна. Эдгээр 3 үеийн мэдээлэл дээр тооцоолол хийхэд итгэлцлийн түвшин бүгд 95% хүрсэн байна. Жишээ болгож 2015/01/07 – 2018/10/07 онуудад болсон газар хөдлөлтийн хувьд тодорхойлсон үр дүнг Зураг. 7-д харуулав.

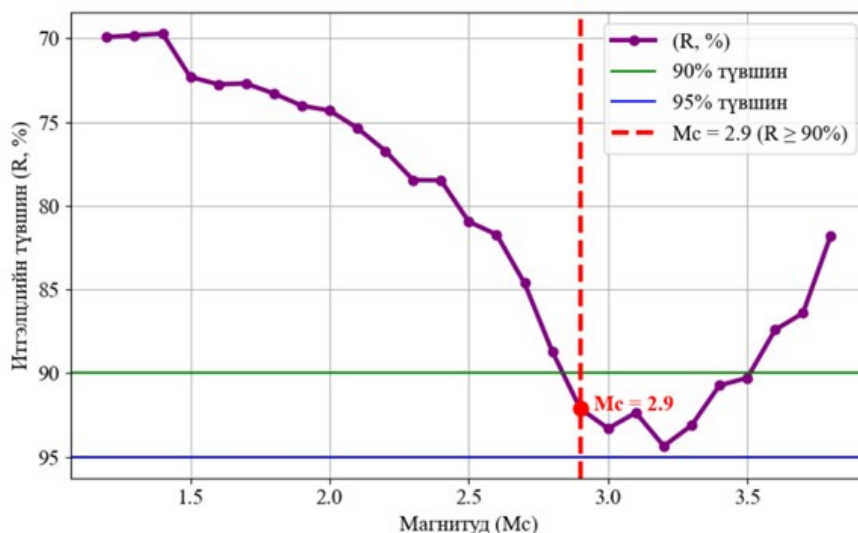
Увс бүс нутагт ажиллаж буй газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын өөрчлөлт, шинэчлэлттэй холбогдуулан хугацааны хувьд 4 ангилан тодорхойлсон үр дүнгээс харахад (Хүснэгт. 1) M_c -ийн утга нь тухайн бүс нутагт байгуулсан станцын тооны өсөлтөөс

Хүснэгт 1. Хүснэгт 1. Бие биеэсээ хамааралгүй 32397 газар хөдлөлтийн хувьд хугацааны ангилал бүрд тодорхойлсон M_c -ын үр дүн

№	Хугацааны ангилал	Газар хөдлөлтийн тоо	R-ийн утга	M_c
1	1-ye	89	R=92.11%	2.9 ± 0.13
2	2-ye	5321	R=95.21%	1.7 ± 0.13
3	3-ye	8695	R=95.75%	0.9 ± 0.12
4	4-ye	18292	R=95.24%	0.9 ± 0.1



Зураг 6. 1997/11/28 – 2005/05/30 онуудад болсон газар хөдлөлтийн хувьд тодорхойлсон M_c -ын үр дүнг графикаар харуулав.



Зураг 7. 2015/01/07 – 2018/10/07 онуудад болсон газар хөдлөлтийн хувьд тодорхойлсон M_c -ын үр дүнг графикаар харуулав.

хамаараад 2.9-өөс 0.9 хүртэл буурч байгаа нь ажиглагдаж байна. 2005 оныг хүртэл M_c -ийн утга нь 2.9 байсан бол 2006-2015 оныг хамарсан хугацаанд M_c -ийн утга нь 1.7 болсон

байгаа нь тухайн бүс нутаг дахь Улаангом станцыг аналогоос дижитал станц руу шилжүүлсэнтэй холбоотой байна. Мөн Улаангом станцын орчны шумыг багасгах зорилгоор

аймгийн төвөөс хойшоо 18 километрт шилжүүлэн ажиллуулсан хугацаанд M_c -ын утга нь 0.9 болсон нь тухайн бүс нутагт болж буй сул газар хөдлөлтүүдийг бүртгэх боломжийг бүрдүүлснийг харуулж байна.

5. Дүгнэлт

Увс бүс нутагт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн каталогийн хувьд бүрэн бүртгэгдэж эхэлж буй магнитудын доод хязгаар болох M_c -ын утгыг тодорхойлох зорилго тавин ажилласан. Энэхүү зорилгын хүрээнд M_c -ын утгыг каталог суурилсан тохирлын шалгалтын аргыг ашиглан тодорхойлсон. 1997-2023 оны хооронд Увс бүс нутагт бүртгэгдсэн 32422 газар хөдлөлтийн мэдээлэлд тулгуурлан тооцоолсноор M_c -ын утга 1.2 байна. Өөрөөр хэлбэл, магнитуд нь 1.2 болон түүнээс дээш хүчтэй газар хөдлөлтийг алдалгүй бүрэн бүртгэж чадаж байгааг илэрхийлж байна (Зураг. 5). Харин Увс бүс нутагт болон хил залгаа орших бүс нутгуудад байгуулсан газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын өөрчлөлт, шинэчлэлттэй холбогдуулан газар хөдлөлтийн каталогийг хугацаанаас хамааруулан 4 үед хуваан авч үзсэн. Энэхүү хугацааны ангиллын үр дүнгээс харахад M_c -ын утга нь 2.9-өөс 0.9 хүртэл буурсан (Хүснэгт. 1). Энэхүү бууралт нь станцын шинэчлэлт сайжруулалттай шууд холбоотой болох нь харагдаж байна. Иймээс бүс нутаг дахь газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын сайжруулалт нь тухайн бүс нутагт болж буй сул газар хөдлөлтийг бүртгэх боломжийг нэмэгдүүлж байна. Мөн тооцоолж гаргасан M_c -ын утгын үнэлгээний алдааг бутстрап (bootstrap) аргыг ашиглан тооцоолсон. Үүнд анхны газар хөдлөлтийн каталогиос 200 удаа санамсаргүй дахин түүвэрлэлт хийж, түүвэр бүр дээр M_c -ын утгыг дахин тооцсон. Улмаар эдгээр M_c -ын утгуудын статистик тархалтаас стандарт хазайлтыг тооцож, түүнийг M_c -ын үнэлгээний алдааны үзүүлэлт болгон ашигласан (Woessner & Wiemer, 2005; Mignan & Woessner, 2012). M_c -ын үнэлгээний алдааны хязгаар нь $\pm(0.1-0.16)$ байв. Энэ нь (Woessner & Wiemer, 2005; Wiemer & Wyss, 2000) нарын судалгаанд тулгуурлан авч үзвэл, M_c -ын

утгыг алдаа багатай тодорхойлсон болохыг харуулж байна.

6. Талархал

Энэхүү судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэхэд судалгааны ажлын арга зүй болоод мэргэжлийн зөвлөгөө өгч, өөрийн мэдлэг чадвар, цаг заваа харамгүй зориулсан ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Газар хөдлөл судлалын салбарын хамт олондоо талархал илэрхийлж байна.

Ашигласан номзүй (References)

- Adyaa, M., 2010. *Seismic Regime of the Territory of Mongolia*, MAS Press, Ulaanbaatar.
- Baljinyam, I., 1971. The tsagaan shuvuut earthquake, *Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences*, (3), 45–54.
- Byamba, J., 2012. *Geology and Mineral Resources of Mongolia: Lithospheric Plate Tectonics, Volume IV*, MAS Press, Ulaanbaatar.
- Huang, Y.-L., Zhou, S.-Y., & Zhuang, J.-C., 2016. Numerical tests on catalog-based methods to estimate magnitude of completeness, *Chinese Journal of Geophysics*, **59**(3), 266–275, <https://doi.org/10.6038/cjg20160302>.
- Khilko, S. D., Kurushin, R. A., et al., 1985. *Earthquakes and Fundamentals of Seismic Zoning of Mongolia*, Nauka, Moscow.
- Li, C., Li, Z., Duan, M., & Zhou, L., 2025. Spatiotemporal distribution of the magnitude of completeness and b-values in mainland china based on a fused multi-source earthquake catalog, *Entropy*, **27**(11), 1137, <https://doi.org/10.3390/e27111137>.
- Mignan, A. & Woessner, J., 2012. Corssa: Community online resource for statistical seismicity analysis, Available at: <http://www.corssa.org>.
- Odonbaatar, C., 2017. *Microzonation Study of Bayan-Olgii Province*, Institute of Astronomy and Geophysics, Ulaanbaatar.
- Sokolov, S. A., Garipova, S. T., Yushin, K. I., Butanaev, Y. V., Zelenin, E. A., Ovsyuchenko, A. N., & Maznev, S. V., 2023. Recent structure of the northern margin of the Ubsunur basin and its relationship with active faults (Tuva republic, Russia), *Geotectonics*, <https://doi.org/10.1134/S001685212360001X>.

Ulziibat, M., 2006. *The 2003 Chuya Sequence (North Altay Range): Tectonic Context and Seismological Study*, Ph.D. thesis, Université Nice Sophia Antipolis.

Wiemer, S. & Wyss, M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from alaska, the western united states, and japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **90**(4), 859–869, <https://doi.org/10.1785/0119990114>.

Woessner, J. & Wiemer, S., 2005. Assessing the quality of earthquake catalogues: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **95**(2), 684–698, <https://doi.org/10.1785/0120040007>.