

Товч тэмдэглэл

Хөвсгөлийн бүс нутгийн доорх дэлхийн дээд царцдаст бүрхэвч дэх сейсмик хурдны V_p/V_s харьцаа

Ц.Баасанбат

ШУА, Одон орон, геофизикийн хүрээлэн.

Хүлээн авсан: 2022-10-03

Зөвшөөрөгдсөн: 2022-10-10

Түлхүүр үг: сейсмик хурдны харьцаа, V_p/V_s , дээд царцдас, Хөвсгөл

Холбоо барих зохиогч: Ц.Баасанбат,
ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн
хүрээлэн

И-мэйл: baasanbat@iag.ac.mn

Abstract

The ratio of P-wave velocity to S-wave velocity, and Poisson's ratio illustrate the elastic property of a medium. Using travel times of crustal P and S waves of local seismic events, the lateral variation of the V_p/V_s ratios in the upper crust of the Khuvsgul region is studied. V_p/V_s ratios in the region in question are estimated as 1.69-1.77 with an average of 1.71. A statistical bootstrapping method is used to test the stability of the result. The result of the V_p/V_s ratios correlates with the tectonics structure of the study region.

1. Оршил

Газар хөдлөлийн судалгаанд хэрэглэгддэг нэг чухал параметр бол дэлхийн дотоод бүтцээр тархаж байгаа сейсмик Р-шулуун, дагуу болон S-шулуун, хөндлөн долгионы харьцаа болон уян харимхайн Пуассоны харьцаа юм. Энэ харьцааг газар хөдлөлтийн эпицентрийг тодорхойлох, тухайн орчны сейсмшлийн төлөв байдлыг судлах, газар хөдлөлтийн синтетик сейсмограммыг тооцоолох зэрэг сейсмологийн судалгаанд өргөнөөр хэрэглэдэг.

1975 онд Цагаан шувуутын газар хөдлөлтийн (1970-05-15 ХӨ-50.18°, ЗУ-91.27°, Мl-7) давталт хөдлөлүүдээр тодорхойлогдсон (Балжинням, 1975) сейсмик хурдны харьцаа болох $V_p/V_s=1.73$ утгыг Монгол орны нутаг дэвсгэрт ажиллаж байгаа, тоон технологи бүхий газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын тоо нэмэгдэж, нэгж талбайд оногдох газар хөдлөлт бүртгэх станцын тоо харьцангуй өндөр энэ цаг үед Монгол орны газар хөдлөлийн судалгаанд одоо болтол хэрэглэгдэж буй явдал нь энэхүү судалгааны ажлыг хийх үндэслэл болж байна.

Нүүдлийн газар хөдлөлт бүртгэх станцууд тодорхой хугацаанд ажилласан Хөвсгөлийн

бүс нутгийг сонгож, тус бүс нутгийн доорх дэлхийн дээд царцдаст бүрхэвч дэх сейсмик хурдны харьцааг тус бүс нутагт болсон газар хөдлөлгүүдийн мэдээллээр судалгааг хийж гүйцэтгэв.

2. Судалгааны арга зүй

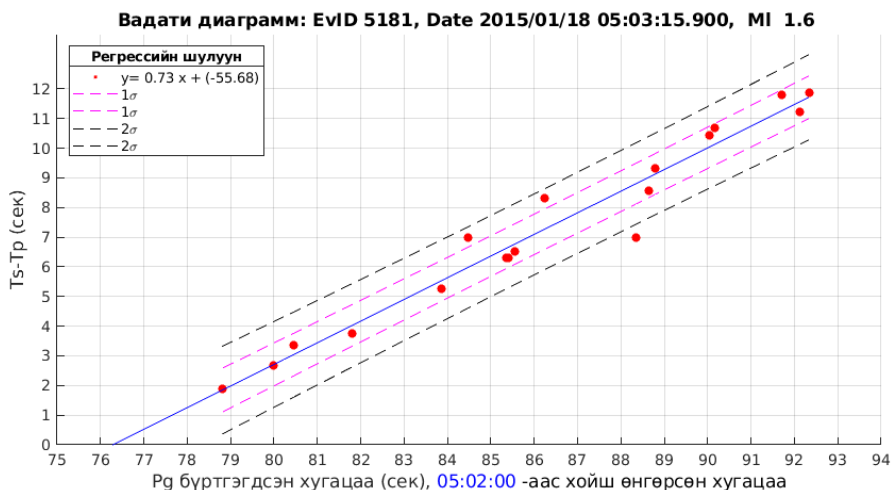
Вадатийн диаграм нь (Wadati & Oki, 1933) газар хөдлөлийн мэдээлэл боловсруулалтад хэрэглэгддэг энгийн аргуудын нэг юм. Вадатийн диаграмыг дэлхийн царцдаст голомт бүхий газар хөдлөлтийн эхэлсэн хугацаа T_0 -ийг олох, гаазар хөдлөлтийн голомтын зайг тодорхойлох, сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааг олох, сейсмик фаз авалтын алдааг шалгах зэрэгт ашиглаж болно (Hirukawa, 2015). Энэ судалгаанд Вадати аргын өөрчилсөн хувилбарыг (Eunyoung & Tae-Kyung, 2013) олон тооны газар хөдлөлтийн мэдээлэлд хэрэглэж, Хөвсгөлийн бүс нутгийн хэмжээнд V_p/V_s хурдны харьцааг тодорхойллоо.

Судалгааны эхэнд газар хөдлөлт бүрийн хувьд Вадатийн диаграмыг (Зураг 1) ашиглан сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааг тодорхойлох юм. Энэ тодорхойлогдсон сейсмик хурдны харьцааг тухайн газар хөдлөлт бүртгэгдсэн станцууд хүртлэх

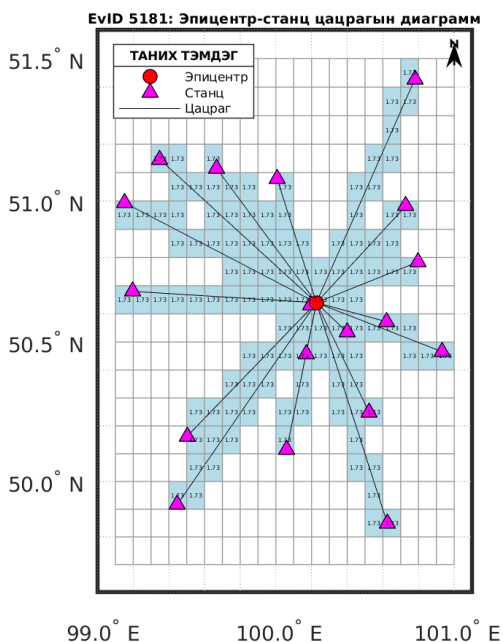
цацрагийн дагуу адилхан гэж үзэх юм (Зураг 2). Өөрөөр хэлбэл энэ цацраг дайран өнгөрч байгаа судалгааны талбай дахь нүд бүрийн хувьд тодорхойлогдсон V_p/V_s харьцаа адилхан гэж авч үзэх юм. Үүний дараа голомтын цаг нь өөр өөр олон тооны газар хөдлөлтийн хувьд бодогдсон сейсмик хурдны харьцааг нүд бүрийн хувьд статистик анализ хийж, судалгааны талбай дахь

сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааг тодорхойлно. Уян харимхайн Пуассоны коэффициент нь тухайн материалаар тархаж байгаа P болон S долгионтой дараах тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$v = \frac{1}{2} * \frac{(V_p/V_s)^2 - 2}{(V_p/V_s)^2 - 1} \quad (1)$$



Зураг 1. EVID 5181 газар хөдлөлтийн фазуудын мэдээллээр байгуулсан Вадатийн диаграм.



Зураг 2. EVID 5181 газар хөдлөлтийн эпицентр-станц цацрагийн зураг.

3. Судалгаанд хэрэглэсэн мэдээлэл

Сейсмик долгионы V_p/V_s харьцааны судалгаа хийхээр сонгож авсан талбай нь газарзүйн байрлалын хувьд Хөвсгөл аймгийн нутаг дэвсгэрт ХӨ 49.5° - 51.7°, ЗУ 98.5° - 102.0° газар нутгийг хамран оршино (Зураг 3). ШУА-ийн ООГХ болон АНУ-ын Лехайн их сургуулийн хамтарсан сейсмологийн судалгааны хүрээнд энэ бүс нутагт газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн 26 станцуудыг 2014-2016 онуудад суурилуулж мэдээлэл цуглуулжээ. Мөн түүнчлэн энэ бүс нутагт газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станц НТГМ оршино. Судалгаанд хэрэглэгдэх газар хөдлөлтүүдийг хамгийн багадаа 5 станцад бүртгэгдсэн байх, азимутын зөрүү нь $< 200^\circ$, эпицентрийн зай нь < 100 км, голомтын гүн нь < 20 км, эпицентрийн зайн 20 км тутамд 1 станц байх шалгууруудаар сонголоо. Дээрх шалгууруудаар ООГХ-ийн газар хөдлөлтийн мэдээллийн сангаас судалгаанд

хэрэглэгдэх газар хөдлөлтүүдийг сонгож авлаа. Судалгааны мэдээллийн санд 2014-08-23-аас 2016-06-01 хооронд тус бүс нутагт болсон 525 газар хөдлөл багтжээ.

Хөвсгөлийн бүс нутгийн доорх дэлхийн дээд царцдас дахь сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааны хэвтээ чиглэлийн дагуух өөрчлөлтийг статистик аргаар судлахын тулд станц-газар хөдлөлтийн цацрагийн диаграм байгуулж (Зураг 4) судалгааны талбайг $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ хэмжээтэй нүднүүдэд хуваасан (Зураг 5). Судалгааны талбай дахь станцуудын байрлал, сонгогдсон газар хөдлөлтүүдийн тоо болон тархалтаас хамаарч нэгж нүдэн дэх мэдээлэл буюу нэгж талбайгаар дайран өнгөрч байгаа цацрагын тоо харьцангуй янз бүр байгаа нь ажиглагдана. Судалгааны талбайн төв хэсгийн нүднүүдээр хамгийн олон, 100-аас дээш цацраг дайран өнгөрч байгаа бол судалгааны талбайн зах хэсгээр орших нүднүүдийн мэдээллийн тоо харьцангуй бага байгаа нь ажиглагдана. Энэ судалгаанд хамгийн багадаа 5 мэдээлэл бүхий нүднүүдийг сонгож авсан болно.

4. Үр дүн

Судалгааны талбайн нэгж нүд бүрийн медиан утгын тархалт буюу Хөвсгөлийн бүс нутгийн доорх дэлхийн дээд царцдас дахь сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааг Зураг 6-д үзүүлээ. Тус зургаас үзэхэд, судалгааны талбай дахь сейсмик хурдны V_p/V_s харьцаа хойноос урагш чиглэлд өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагдана. Судалгааны талбайн баруун хойд хэсэг, Дархадын хотгороор сейсмик хурдны харьцаа 1.71 орчим байгаа бол зүүн хойд хэсэг, Хөвсгөл нуур орчмоор дунджаар 1.70 орчим байгаа нь ажиглагдана. Харин судалгааны талбайн урд хэсгээр сейсмик хурдны харьцаа бага зэргийн өсч 1.74-өөс дээш байгаа нь ажиглагдана. Тодорхойлогдсон сейсмик хурдны харьцааны хамгийн бага утга нь 1.69 байгаа бол хамгийн их утга нь 1.77 байна.

Сонгож авсан талбайн Пуассоны харьцааг (1) тэгшитгэлийг ашиглан бодсон үр дүнг Зураг 7-д үзүүлээ. Пуассоны харьцаа нь сейсмик

хурдны харьцаа V_p/V_s -тэй шууд хамааралтай учраас V_p/V_s харьцааны тархалтын үр дүн шиг, судалгааны талбайн хойноос урагш чиглэлд Пуассоны харьцаа өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагдана. Судалгааны талбайн хойд хэсгээр Пуассоны харьцаа дунджаар 0.24 байгаа бол урд хэсгээр 0.25 утгатайгаар тархсан байгаа нь ажиглагдана.

Судалгааны үр дүнгийн үнэмшилтэй байдлыг статистикийн дахин түүвэрлэх аргаар шалгалаа. Статистикийн дахин түүвэрлэх арга нь ажиглагдсан үзэгдлүүдээс тодорхой тооны үзэгдлүүдийг давталттайгаар дахин түүвэрлэж, тэдгээрийн дундаж юм уу медиан утгыг тодорхойлдог статистикийн арга юм. Дахин түүвэрлэлтийн аргаар нүд бүрийн хувьд тодорхойлогдсон сейсмик хурдны V_p/V_s утгуудыг Зураг 8 -д үзүүлээ. Тус зургаас үзэхэд, дахин түүвэрлэлтийн аргаар тооцсон сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааны тархалт нь Зураг 6-д үзүүлсэн тархалттай тодорхой хэмжээнд төсөөтэй байгаа нь судалгааны үр дүн харьцангуй тогтвортой байгааг илтгэнэ.

Хөвсгөлийн бүс нутгийн доорх дэлхийн дээд царцдас дахь эзлэхүүн P -шулуун, дагуу болон S -шулуун, хөндлөн долгионы хурдны V_p/V_s харьцааны хэвтээ чиглэлийн дагуух өөрчлөлтийг Вадатийн диаграм болон статистикийн аргаар судалсан дүнг ООГХ-н Газар хөдлөл судлалын боловсруулалтанд ашиглагдаж байгаа $V_p/V_s=1.73$ гэсэн утгатай харьцуулсныг Зураг 9-д үзүүлээ. Цацрагийн нягтаршил ойролцоо хэмжээтэй байгаа судалгааны талбайн хойд хэсгээрх сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааны зөрүү нь -0.03 -оос -0.01 хооронд хэлбэлзэж байгаа нь ажиглагдана. Дунджаар $\pm 2\%$ -ийн хэмжээтэй энэ зөрүү утга газар хөдлөлтийн судалгаанд хэр нөлөөлөх вэ гэдгийг цаашид судлах нь зүйтэй хэмээн үзэж байна.

Судалгаагаанаас үзэхэд (Christensen & Mooney, 1995) чулуулгийн цахиурлаг болон суурилаг байдлаас хамаарч сейсмик хурдны харьцаа өөрчлөгддөг байна. Дархадын хотгор болон Хөвсгөл нуурын бүс орчимд тодорхойлогдсон

сейсмик хурдны бага зэргийн ялгаатай байдал нь тус бүс нутгуудын доорх гүний чулуулгийн найрлагуудын ялгаатай байдалтай холбогдож болох юм. Өөрөөр хэлбэл Дархадын хотгорын гүний чулуулаг нь Хөвсгөл нуурын доорх гүний чулуулгаас арай цахиурлаг байх бололцоотой юм. Монгол орны террейны зургаас (Badarch, Cunningham, & Windley, 2002) үзэхэд Дархадын хотгор Кембри шельфийн карбонат чулуулгууд бүхий террейнд хамаарч байхад, Хөвсгөл нуур орчмын бүс нутаг хувирмал чулуу, арлан нум бүхий террейнд хамаарч байна. Энэ террейний ялгаатай байдал нь сейсмик долгионы тархах хурдад нөлөөлж байна гэж үзэж байна.

5. Дүгнэлт

Хөвсгөлийн бүс нутгийн дээд царцдасын эзлэхүүн Р-шулуун, дагуу болон S-шулуун, хөндлөн долгионы хурдны V_p/V_s харьцааны хэвтээ чиглэлийн дагуух өөрчлөлт нь ерөнхийдөө хойноос урагш чиглэлтэй байна. Сейсмик хурдны V_p/V_s харьцаа нь судалгааны талбайн баруун хойд хэсэгт сейсмик хурдны харьцаа 1.71 орчим байгаа бол зүүн хойд хэсэгт нь дунджаар 1.70 орчим байна. Харин судалгааны талбайн урд хэсгээр сейсмик хурдны харьцаа бага зэргийн өсч 1.74-өөс дээш байгаа нь ажиглагдана. Судалгааны талбайн Пуассоны харьцаа нь хойноос урагш чиглэлд өөрчлөгдөж байгаа нь ажиглагдана. Судалгааны талбайн хойд хэсгээр Пуассоны харьцаа дунджаар 0.24 байгаа бол урд хэсгээр 0.25 утгатай байна.

Хөвсгөлийн бүс нутагт ажиглагдсан сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааны утгын ялгаатай байдал нь судалгааны талбайгаар ойрын газар хөдлөлтийн сейсмик долгион, ялангуяа S-шулуун, хөндлөн долгионы тархах шинж чанар, мөн тус бүс нутгийн геологийн тогтоц, дээд царцдасын бүтэцтэй холбоотой гэж үзэж байна.

Хэдий сонгогдсон газар хөдлөлтийн болон станцын тоо цөөхөн, тархалт нь тархай бутархай байгаа боловч судалгааны талбайн хойд хэсгээр мэдээллийн нягтаршил ерөнхийдөө адилавар

байна. Иймд судалгааны талбайн эдгээр хэсгүүдэд ажиглагдсан сейсмик хурдны V_p/V_s харьцааны утгыг цаашид сейсмологийн судалгаанд хэрэглэх бололцоотой гэж дүгнэж байна.

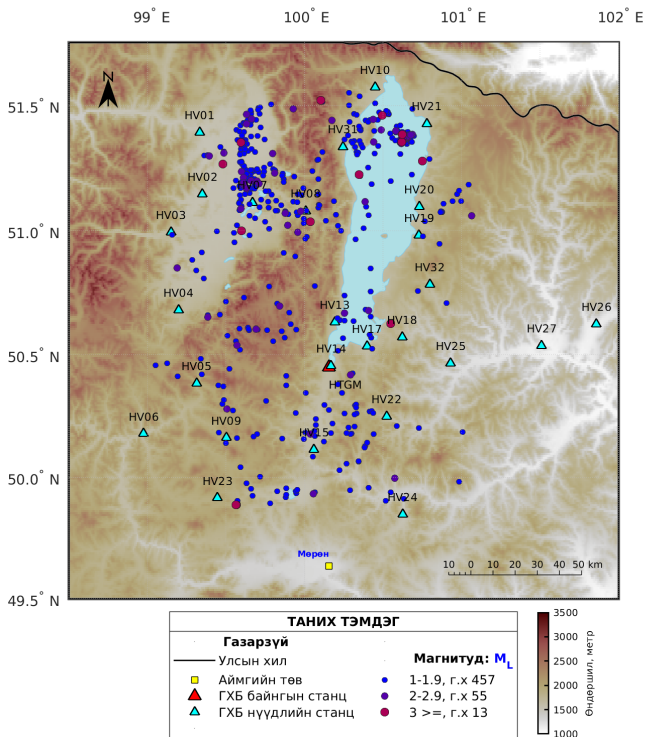
Талархал

Энэхүү судалгааг хийхэд Хөвсгөлийн бүс нутгийн газар хөдлөлтийн бюллетинээр тусласан ШУА-ийн ООГХ-ийн Газар хөдлөл судлах секторын хамт олонд гүн талархал илэрхийлж байна.

Ишлэл

- Badarch, G., Cunningham, D. W., & Windley, B. F. (2002, November 30). A new terrane subdivision for Mongolia: implications for the Phanerozoic crustal growth of Central Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21(1), 87-110.
- Christensen, N. I., & Mooney, W. D. (1995, June 10). Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 9161-9788.
- Eunyoung, J., & Tae-Kyung, H. (2013, January 26). V_p/V_s ratios in the upper crust of the southern Korean Peninsula and their correlations with seismic and geophysical properties. *Journal of Asian Earth Sciences*, 204-214.
- Hurukawa, N. (2015). Practical Analyses of Local Earthquakes. Tsukuba, Kanto, Japan.
- Wadati, K., & Oki, S. (1933). On the Travel Time of Earthquake Waves. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 11(11), 14-28.
- Балжинням, И. (1975). Монголын газар хөдлөхүй. 42-52.

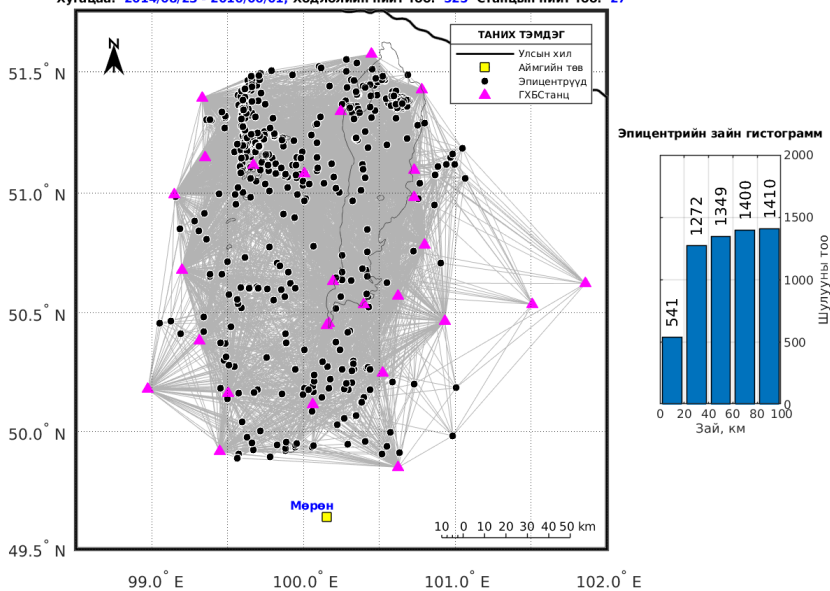
Сонгож авсан газар хөдлөлтүүдийн тархалт
 Хугацаа: 2014/08/23 - 2016/06/01 Нийт хөдлөл: 525 Нийт станц: 27



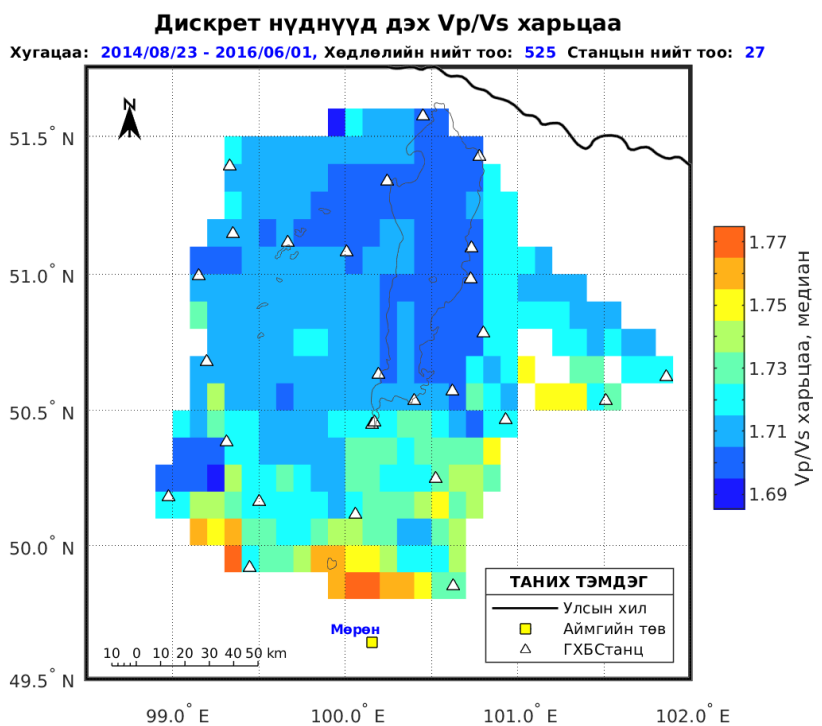
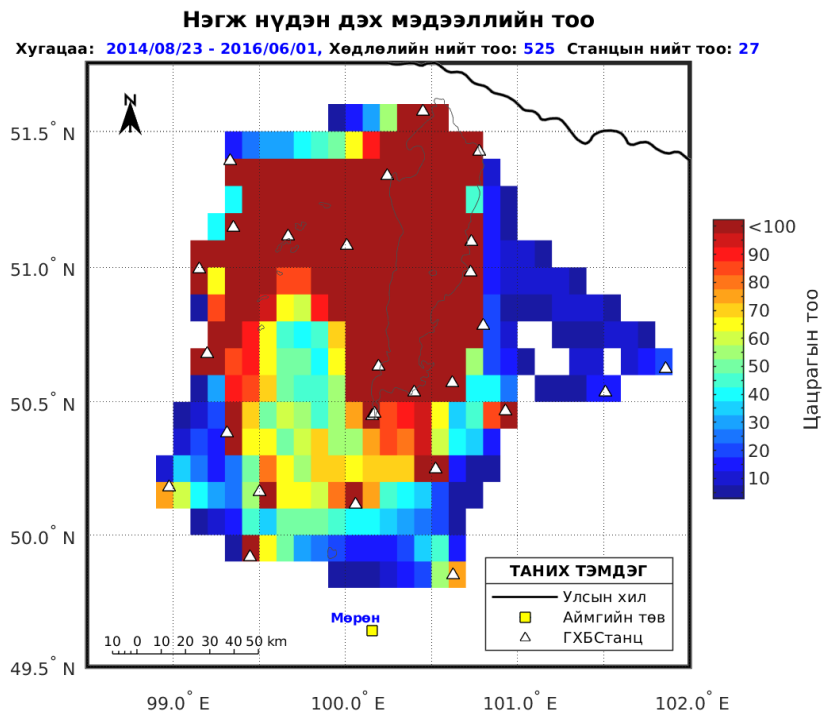
Зураг 3. Газар хөдлөлт бүртгэх станцууд болон сонгож авсан газар хөдлөлтүүдийн тархалт

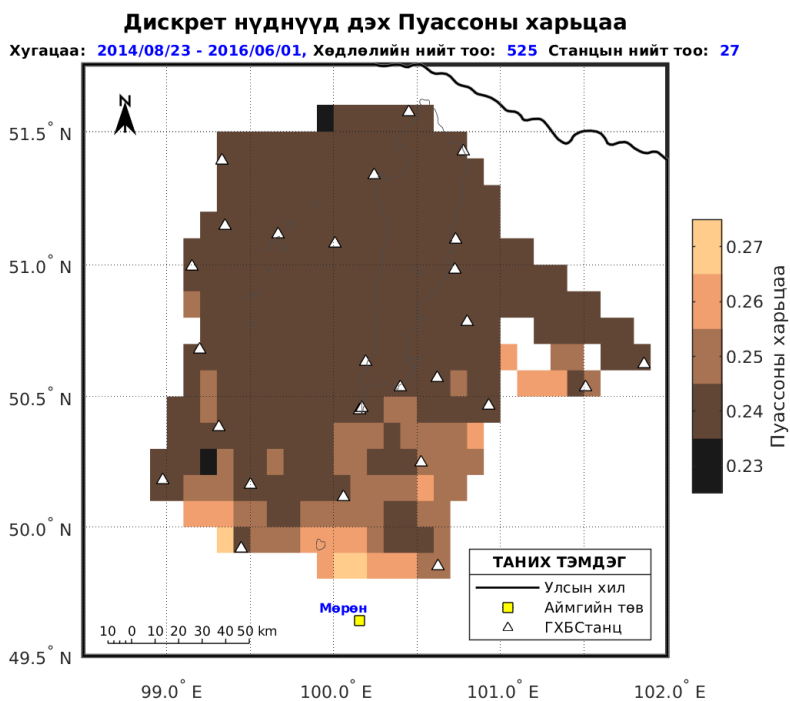
Станц-газар хөдлөлтийн цацрагын диаграмм

Хугацаа: 2014/08/23 - 2016/06/01, Хөдлөлийн нийт тоо: 525 Станцын нийт тоо: 27



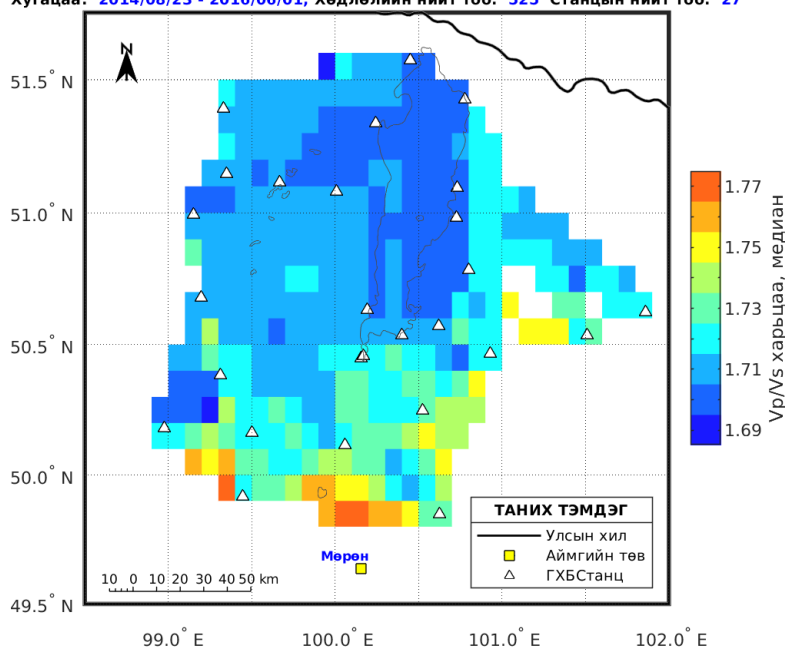
Зураг 4. Станц-газар хөдлөлтийн цацрагын диаграмм.





Зураг 7. Дискрет нүднүүд дэх Пуассоны харьцаа.

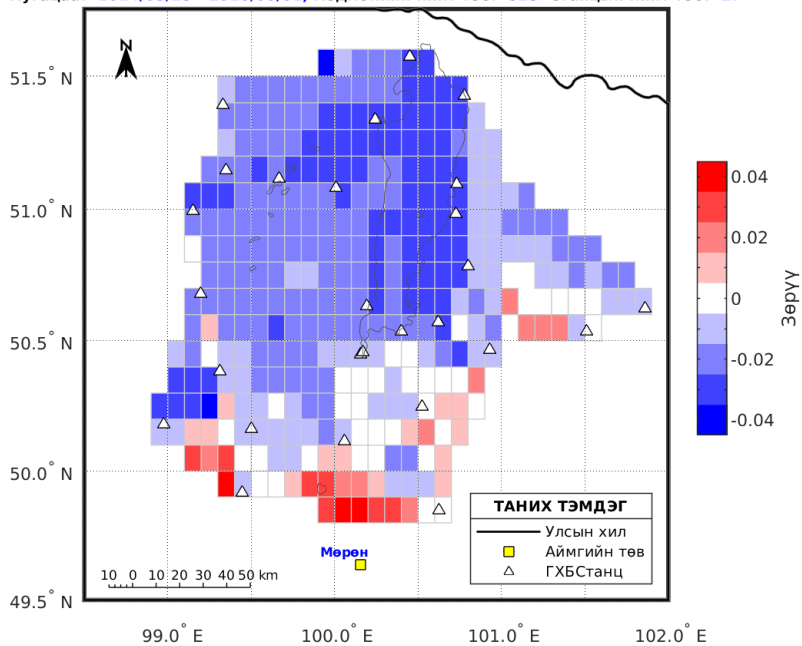
Тогтворжилтийн тест: V_p/V_s харьцааг дахин түүвэрлэх аргаар тооцсон нь
Хугацаа: 2014/08/23 - 2016/06/01, Хөдлөлийн нийт тоо: 525 Станцын нийт тоо: 27



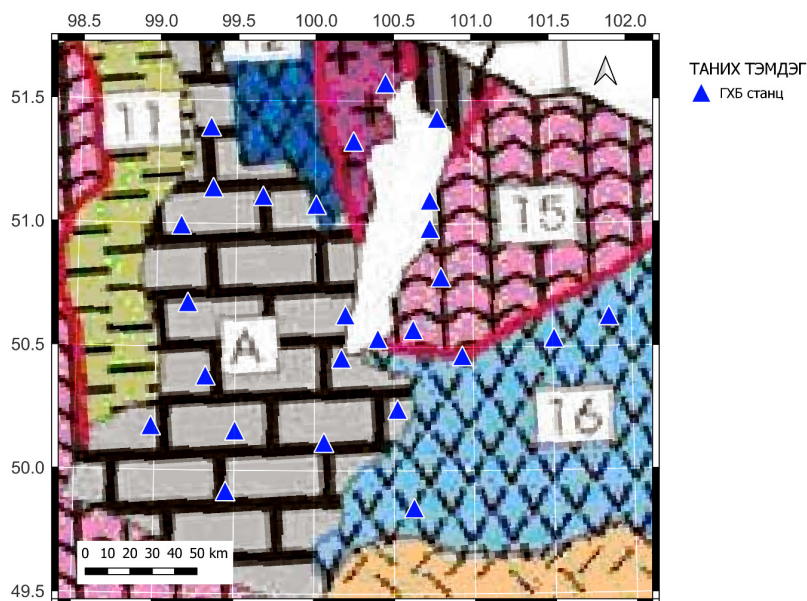
Зураг 8. Дахин түүвэрлэх аргаар тооцсон сейсмик хурдны V_p/V_s харьцаа.

V_p/V_s : ООГХ-1.73 болон энэ судалгааны үр дүнгийн ялгаа

Хугацаа: 2014/08/23 - 2016/06/01, Хөдлөлийн нийт тоо: 525 Станцын нийт тоо: 27



Зураг 9. Судалгааны үр дүнд тодорхойлогдсон сейсмик хурдны V_p/V_s харьцаа болон ООГХ-д хэрэглэгдэж байгаа сейсмик хурдны харьцааны зөрүү.



Зураг 10. Хөвсгөл орчмын террейнууд болон газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын тархалт. А-Кембри шельфийн карбонат чулуулгууд бүхий террейн, 11-Акрецийн шаантаг террейн, 15-Хувирмал чулуу террейн, 16-Арлан нум террейн (Badarch, Cunningham, & Windley, 2002)