



ГЕОФИЗИК БА ОДОН ОРОН СУДЛАЛ

**МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ
ОДОН ОРОН, ГЕОФИЗИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН**

№ 8. 2021

УЛААНБААТАР ХОТ

2021 он

ISSN 2709-1538 (Print)

ISSN 2709-1546 (Online)

Монгол Улсын Шинжлэх Ухааны Академийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн “Геофизик ба Одон орон судлал” сэтгүүл, № 8, Улаанбаатар, 2021, 124 хуудас.

Редакцийн зөвлөл:

ШУ-ны доктор, профессор С.Дэмбэрэл
Доктор, дэд профессор Ч.Одонбаатар
Доктор Ү.Сүхбаатар
Доктор Ч.Лхагважав
Доктор Д.Батмөнх
Доктор М.Өлзийбат
Доктор Б.Цэгмэд
Доктор Н.Тунгалаг
Доктор Ч.Баярсайхан
Доктор Ц.Батсайхан
Доктор А.Мөнхсайхан
Доктор Ц.Баатарчулуун
Доктор Х.Цэдулам
Доктор А.Баясгалан
Доктор Г.Баянжаргал
Докторант С.Мөнхбаатар
Докторант Б.Даариймаа

Дугаарыг эрхлэн гаргасан:

Доктор, дэд профессор Ч.Одонбаатар
Докторант Б.Буянтогтох
эшда Э.Номин-Эрдэнэ

Редакцийн хаяг:

Улаанбаатар хот-13343, БЗД, 5-р хороо, Ж.Лхагвасүрэнгийн гудамж-42,
ШУА-ийн 7-р байр, Монгол улс
Утас: +976-11-453685
Факс: +976-11-455204
И-мэйл: journals@iag.ac.mn
Вэб хаяг: www.iag.ac.mn

ГАРЧИГ

Д.Баатархүү, Б.Батбаяр, Ш.Амаржаргал “НАРЫГ ТОЙРОХ ДЭЛХИЙН ТЭНХЛЭГЭЭ ЭРГЭХ ХӨДӨЛГӨӨНИЙ ХУРДАТГАЛ ИОНОСФЕРИЙН ЭЛЕКТРОНЫ НИЙТ АГУУЛАМЖИЙН УТГАД НӨЛӨӨЛӨХ НЬ”.....	5
Д.Баатархүү, Ш.Амаржаргал “GPS ИОНОСФЕРИЙН ЭЛЕКТРОНЫ НИЙТ АГУУЛАМЖИЙН УРТ ХУГАЦААНЫ ӨӨРЧЛӨЛТИЙН ФУРЬЕ, ВЕЙВЛЕТ ХУВИРГАЛТ”.....	14
Д.Батсайхан ”БОР ТЭЭГ, ЦАНХИЙН ХЭСГИЙН АШИГЛАЛТЫН ХАЙГУУЛЫН ЦООНОГИЙН ГЕОФИЗИКИЙН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН”	22
Г.Болдбаатар, Э.Батмагнай, Э.Номин-Эрдэнэ, Ц.Батсайхан “БАГА ГҮНИЙ ХАГАРЛЫГ ИЛРҮҮЛЭХ СЕЙСМИК СУДАЛГАА: 2D ИНВЕРС БА МИГРАЦЫН ХАРЬЦУУЛАЛТ”.....	29
Л.Дагзинмаа, Тацухико Хара, Буничиро Шибасаки, Тошиаки Еокой, Хидео Фукуй “2012 ОНЫ БАЯНБУЛАГИЙН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН ГОЛОМТЫН ГҮНИЙГ “sPg” ДОЛГИОН АШИГЛАН ТООЦООЛОХ НЬ”.....	38
С.Загдсүрэн, П.Батбаяр, Б.Диймаа “ХОВД ХАГАРЛЫН ДАГУУХ ГАЗАР ХӨДЛӨЛИЙН ГОРИМЫН СУДАЛГАА”.....	46
Ад.Мөнхсайхан, Л.Тунгалаг, Д.Ганзориг, Г.Ариунаа, Л.Дагзинмаа, М.Долгормаа, А.Дөлгөөн, Э.Номин-Эрдэнэ, М.Оюун-Эрдэнэ, Д.Хонгор “ХАНХЫН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТ (2021/01/11 21:32:56 UTC, M16.5).....	58
Ам.Мөнхсайхан, Ч.Одонбаатар “МОНГОЛЫН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН ХУРДАТГАЛЫН МЭДЭЭЛЭЛД ТОХИРОХ ХӨРСНИЙ ШИЛЖИЛТИЙГ ТААМАГЛАХ ТЭГШИТГЭЛҮҮДИЙН СТАТИСТИК ТООЦООЛОЛ”.....	68
Т.Насан-очир, Г.Баянжаргал, Ш.Цэрэндүг, С.Ганцогт, Б.Амаржаргал “МОНГОЛЫН НУТАГ ДЭВСГЭР ДЭХ ГЕОСОРОНЗОН ОРНЫ D-ЭЛЕМЕНТИЙН ТҮГЭЛТИЙН ЗУРАГЛАЛ 2020”.....	81
Л.Тунгалаг, А.Нармандах, С.Одбаяр “АРХАНГАЙ АЙМГИЙН ЦЭНХЭРИЙН ХАЛУУН РАШААН ОРЧМЫН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ”.....	86
Б.Энхзул, Э.Батмагнай “НЭГ ХЭМЖЭЭСТ МАГНЕТОТЕЛЛУРИКИЙН ОРНЫ ЗАГВАРЧЛАЛЫГ ДЕТЕРМИНИСТИК ИНВЕРСИЙН АРГААР”.....	94
Б.Энхзул, Ш.Цэрэндүг, Э.Батмагнай “МАГНЕТОТЕЛЛУРИКИЙН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ БА ЗАГВАРЧЛАЛ” ЛЕМИ-423 СТАНЦЫН ЖИШЭЭНД ”	106
Д.Цэдэнбалжир “МОНГОЛ ГАЗРЫН ТОС БОЛОВСРУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН ТҮҮХИЙ ЭДИЙН ХАНГАМЖИЙН АСУУДАЛД”.....	119

НАРЫГ ТОЙРОХ ДЭЛХИЙН ТЭНХЛЭГЭЭ ЭРГЭХ ХӨДӨЛГӨӨНИЙ ХУРДАТГАЛ ИОНОСФЕРИЙН ЭЛЕКТРОНЫ НИЙТ АГУУЛАМЖИЙН УТГАД НӨЛӨӨЛӨХ НЬ

Д.Баатархүү, Б.Батбаяр, Ш.Амаржаргал

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн
baatarkhuu@iag.ac.mn

Хураангуй. Дэлхийн эргэлтийн хурдны өөрчлөлт буюу Дэлхий өөрийн тэнхлэгээрээ эргэх өнцөг хурд нь жигд бус байдаг учраас түүнийг хоногийн үргэлжлэх хугацааны (ХҮХ) өөрчлөлтөөр тодорхойлдог. Нарны идэвхжил ихтэй 2014 он болон идэвхжил багатай 2008 онуудад Дэлхийн эргэлтийн хурдны (ДЭХ) болон ионосферийн электроны нийт агууламжийн (ЭНА эсвэл VTEC) улирлын өөрчлөлтүүд нь хоорондоо хамааралтай байж болох түүнд график байгуулан харьцуулж, хамаарлын коэффициентууд нь 0.6, 0.8, 0.3 байгааг тогтоосон. Үүнд: Дэлхийн эргэлт удаашрах үед ионосферийн электроны хэмжээ ихсэх харин дэлхийн эргэлт хурдсах үед электроны хэмжээ багасах нь манай судалгаанаас гарсан. Нарны идэвхжилтэй үед 1 сараас 4 сар хүртэл хоногийн үргэлжлэх хугацаа дунджаар 0.5мс нэмэгдэхэд электроны нийт агууламж 8TECU, харин 7 сараас 10 хүртэл 0.8мс-ээр нэмэгдэхэд 5TECU-ээр тус тус нэмэгдэж байгаа үр дүнгүүд, Нарны идэвхжил багатай үед дээрх утгууд бага гарсан нь ажиглагдсан.

Түлхүүр үгс: Нар, Нарны идэвхжилт, Дэлхийн эргэлт, хоногийн үргэлжлэх хугацаа, ионосфер, электроны нийт агууламж

УДИРТГАЛ

Одны орчинд хөдөлж байгаа биесийг гаригууд гэж нэрлэдэг. Гаригууд нь одтойгоо таталцаж хөдөлдөг, өөрөөр хэлбэл гравитацийн хүчээр холбогдож байж таталцлын хүч үүснэ. Гариг эрхсийн хөдөлгөөн нь Кеплерийн хуулиудад захирагддаг. Дэлхийн эргэлтийн хөдөлгөөнийг (O.Dickey, 1995) (Gross, 2007) (Сидоренков., 2002) зэрэг эрдэмтэд нарийвчлан судалсан байдаг. Нарыг дэлхийн хөдөлгөөнийг тодорхойлох тооллын систем болгон ашигладаг. Дэлхийн байрлал сонгон авсан солбицлын ямар нэгэн системтэй харьцангуйгаар шилжихийг дэлхийн хөдөлгөөн гэнэ (Д.Лхагвасүрэн, 2007). Дэлхий маш олон хөдөлгөөнийг үйлддэг бөгөөд ийм хөдөлгөөн 30 орчим байдаг гэж эрдэмтэд үздэг (Д.Баасанжав, 2016). Эдгээрээс дараах 4 төрлийн хөдөлгөөнийг онцгойлон авч үздэг. Үүнд:

1. Дэлхийн эргэлт буюу Дэлхий тэнхлэгээрээ нэг бүтэн эргэх хөдөлгөөн.

2. Дэлхийн эргэлтийн тэнхлэгийн хэлбэлзэл буюу энэ тэнхлэгийн дэлхийн гадаргатай огтлолцох цэг болох дэлхийн туйлын хөдөлгөөн.

3. Дэлхий нарыг тойрон эллипс замаар нарнаас 150 сая км. орчим зайд 29.76 км/сек дундаж хурдтайгаар давших хөдөлгөөн хийдэг. Дэлхий нарыг тойрох замын энэ хурд тогтмол байдаггүй, нарнаас алсрах цэгийг дайрсны дараа 7 сард хурдсаж эхлээд наранд дөтлөх цэгт очиход 30.27 км/сек хүрч, дараа нь 3 сард удааширсаар алсрах цэгт очиход 29.27 км/сек болдог. Энэ нь дэлхий нарыг тойрох замын хурд наранд ойртох тусам ихсэж, нарнаас холдоход багасдаг (Зураг 1).

4. Нарны аймгийн бүх эрхсийн хамт манай галактикийн (Тэнгэрийн Заадлын) төвийг тойрон бараг тойрог замаар 220 км/сек орчим дундаж хурдтайгаар эргэдэг. Үүний зэрэгцээгээр нарны аймаг Тэнгэрийн Заадлын хамт 20 км/сек орчим хурдтайгаар Лира ба Геркулес ордын заагт орших

цэгийн зүгт шилжиж байдаг байна.

Эхний хоёр хөдөлгөөнийг Дэлхийн эргэлтийн параметрууд гэх бөгөөд үндсэндээ дэлхийн гадаад ба дотоод дахь геофизикийн үзэгдлүүдээс шалтгаалдаг. (Лхагвасүрэн, 2006). Дэлхийн эргэлтийн хурдын өөрчлөлт хугацааны хувьд удаан хугацааны буюу зууны, үечилсэн, улирлын, гэнэтийн буюу санамсаргүй гэсэн өөрчлөлтүүд байдаг нь тогтоогдоод байна (Сидоренков., 2002). Энэ судалгаанд улирлын өөрчлөлтэй уялдаа холбоотой байж болох ионосферийн электроны нийт агууламжийн утгыг авч үзсэн болно.

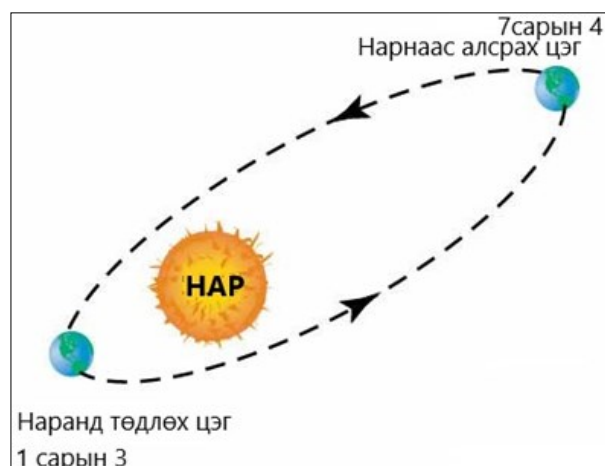
Судалгааг мөн Олон Улсын Дэлхийн Эргэлтийн Албанаас (ОУДЭА) ихээхэн анхаарал хандуулж, глобал түвшинд судалгаа явуулж байгаа билээ. Бид GNSS/GPS-ын хиймэл дагуулуудаас ирж байгаа дохиог хүлээн авагч суурин станц ашиглан Эх Дэлхийгээ хэмжин судалж байна. Үүний нэг судалгаа бол дэлхийн ионосферийн давхаргын электроны нийт агууламж юм (Sh.Amarjargal, 2016).

ОНОЛЫН ҮНДЭС БА АРГА ЗҮЙ

Дэлхийн эргэлтийн хурдны өөрчлөлт

Дэлхийн эргэлтийн өнцөг хурдын буюу хоногийн үргэлжлэх хугацааны (ХҮХ) өөрчлөлтийг тодорхойлохдоо Нар, Сар, гаригуудын байрлалын онолын ба ажиглалтын үр дүнг харьцуулах замаар гүйцэтгэдэг байлаа. Ийм аргаар сүүлийн 400 жилийн байдлаар дэлхийн эргэлтийн хурдны өөрчлөлтийг тодорхойлсон байдаг (ОУДЭА мэдээгээр тодорхойлсон, Зураг2). Энэ тооцооноос үзэхэд дэлхийн эргэлт 1972 он хүртэл ерөнхийдөө удааширч, 1973 оноос хойш хурдсаж байна. Мөн тодорхой биш хугацаанд дэлхийн эргэлтийн хурд ихсэж, багасах үзэгдэл байдаг. Тухайлбал, 1870 онд Дэлхий хурдан эргэж хоногийн үргэлжлэх хугацаа эталон хугацаанаас (86400 сек.) 0.003 секундээр богино болж байсан бол 1903 оны үед удаан эргэж хоногийн үргэлжлэх хугацаа эталон хугацаанаас 0.004 секундээр урт болж

Дэлхийн агаар мандлын 50-1000км хүртэлх орон зайг ионосферийн давхарга эзлэх бөгөөд энэ нь нарны нөлөөгөөр ионждог хэсэг юм. Ионосфер нь Нарнаас ирж байгаа өндөр энергитэй бөөмс болон өндөр эрчмийн хэт ягаан туяаг хааж өөрийн гэсэн нэмэлт давхарга үүсгэж байдаг) (Д.Баатархүү Ш. , 2020).



Зураг 1. Эллипс орбитоор Нарыг тойрох дэлхийн хөдөлгөөн

байжээ.

Өндөр нарийвчлалтай кварц болон атом цагууд буй болж цаг хугацааг нарийн хэмждэг болсноор дэлхийн эргэлтийн өөрчлөлтийн судалгаанд томоохон өөрчлөлт гарсан билээ. Астрономийн болон бусад шинжлэх ухаанд Олон улсын атомын хугацаа (Time Atomic International, TAI), СИ системийн нэгжид хэрэглэдэг болсон (O.Dickey, 1995). Энэ секундийг Олон улсын жин хэмжүүрийн албанаас тодорхойлохдоо “Цезий-133 бодисын үндсэн төлөвт байгаа атомын хэт нимгэн хоёр түвшний хооронд энергийн шилжилт явагдах үед гарах цацрагийн 9192631770 үеийн үргэлжлэх хугацаа” гэжээ (Сидоренков., 2002).

Дэлхийн эргэлтийн өнцөг хурд ω нь хоногийн үргэлжлэх хугацааны өөрчлөлт

ΔLOD

–тэй дараах томъёогоор холбогддог.



Зураг 2. Хоногийн үргэлжлэх хугацааны 1623-2020 оны өөрчлөлт. 2016 оноос хойш жилд 0.3мс-ээр богиносож байна(ОУДЭА-ны мэдээнээс)

$$\omega = \Omega^N \left(1 - \frac{\Delta LOD}{T}\right) \quad (1)$$

Атмосферийн өнцөг моментын өөрчлөлт ΔAAM болон хоногийн үргэлжлэх хугацааны өөрчлөлт LOD нь дараах харьцаагаар тодорхойлогддог.

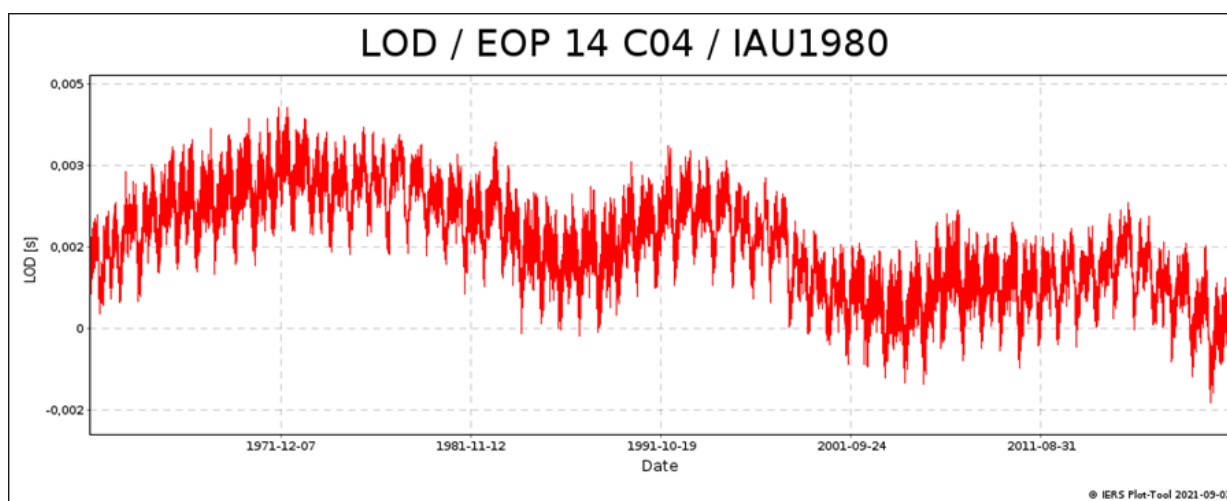
$$\Delta LOD = \frac{T}{C_m \Omega} \cdot \Delta AAM \quad (2)$$

$\Omega^N = 72\ 921\ 151.467064\ 10^{-12}$ radians/s - дундаж өнцөг хурд, $T = 86400$ s- атомын

хугацаа, $C_m = 7.1 \cdot 10^{37} \text{ kg m}^2$ -дэлхийн мантийн инерцийн момент.

1950-иад оноос дэлхийн олон Одон орон судлах оргилын эрдэмтэд өндөр нарийвчлалтай цагууд ашиглан судалгаа хийж дэлхийн эргэлтийн хурдны өөрчлөлт тодорхой үетэй, улирлын чанартай байдгийг тогтоосон.

Энэ үед английн эрдэмтэн Л.Эссен маш өндөр тогтворшилтой атомын давтамжийн стандарт (цаг) бүтээсэн нь дэлхийн эргэлтийн улирлын чанартай өөрчлөлтийг судлахад томоохон дэвшил болсон (Зураг3).



Зураг 3. Дэлхийн эргэлтийн үечилсэн болон улирлын өөрчлөлт (1963-2020, ОУДЭА)

Энэ төрлийн өөрчлөлтөөс болж хоногийн үргэлжлэх хугацаа жилийн турш ± 0.002 секундээр өөрчлөгддөг нь тогтоогдоод байна. Дэлхийн тэнхлэгийн дагуух эргэлт 3-4 сард хамгийн удаан буюу урт хоног, 7-8 сард хамгийн хурдан буюу богино хоног байдаг. Мөн 1-р сард хурдан, 11-р сард удаан эргэдэг, 1 ба 11-р сарын хэмжээ дээрх саруудын хэмжээнээс бага байна. Энэ үзэгдэл жилээс жилд нэлээд тогтвортой үелэн давтагддаг. Хоногийн үргэлжлэх хугацааны үелсэн хэлбэлзэл нь жилийн ба хагас жилийн үетэй хоёр хэлбэлзлийн нийлбэрээс бүрддэг. Үүний математик илэрхийлэл нь:

$$\Delta d = a \cdot \sin(t + \varphi_1) + b \cdot \sin(2t + \varphi_2) \quad (3)$$

энд $t = 2\pi t^d / T$, t^d - хугацаа (хоногоор), T – жилийн үргэлжлэх хугацаа (хоногоор), далайц $a = 0.0005$ сек орчим, $b = 0.0003$ сек орчим, φ_1 , φ_2 -дэлхийн эргэлтийн хурд хамгийн их, бага байх үеийн фазууд. Дэлхийн эргэлтийн үет өөрчлөлтийн амплитуд ба фаз нь жилээс жилд өөрчлөгдөж зарим жилд мэдэгдэхүйц хэмжээнд хүрдэг.

Өнөө үед дэлхийн эргэлтийн улирлын чанартай өөрчлөлтийг нэг өдрийн нарийвчлалтайгаар тодорхойлдог болсон. (<https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>, 2014)

Дэлхийн эргэлтийн хурд буюу хоногийн улирлын чанартай өөрчлөлт нь үндсэндээ агаар мандлын улирлын чанартай өөрчлөлтөөс (циркуляц) болон бусад сансрын цаг агаарын улирлын өөрчлөлтөөс болдог гэж ихэнх судлаачид үздэг (Gross, 2007) (Сидоренков., 2002) (O.Dickey, 1995). Дэлхийн гадаргатай харьцуулахад агаар мандал нам өргөрөгт зүүнээс баруунд (дорнодын салхи), дунд болон өндөр өргөрөгт баруунаас зүүнд (барууны салхи) чиглэлтэй байдаг.

Дорнодын салхины импульсын момент эсрэг, барууных эерэг байдаг. Импульсын момент нь шинээр үүсдэггүй, мөн устаж үгүй болдоггүй, харин дахин хуваарилагддаг буюу хадгалагддаг физик

хэмжигдэхүүн юм. Тухайн нөхцөлд агаар мандал ба дэлхийн хооронд импульсын моментыг дахин хуваарилалт явагдаж байгаа болно. Дэлхийн эргэлт удаашрахад агаар мандлын импульсын момент ихсэж өөрөөр хэлбэл барууны салхи нэмэгдэж зүүний салхи буурахад дэлхийн импульсын момент багасдаг. Харин дэлхийн эргэлт хурдсахад агаар мандлын импульсын момент багасдаг (барууны салхи буурч зүүнийх ихсэхэд). Дэлхий ба агаар мандлын импульсын моментыг нийлбэр өөрчлөгдөхгүй. Сар, Нарны зүгээс дэлхийд үзүүлэх түрэлтийн улмаас бөмбөрцөг деформацилагдах үед дэлхийн инерцийн момент өөрчлөгдөнө. Үүний улмаас дэлхийн эргэлтийн хурдны үет өөрчлөлт ямар нэг хэмжээгээр болдог гэж үздэг (Д.Баасанжав, 2016).

Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн IGS-ULAB (47.86N, 107.06E), HOVD (48.00N, 91.66E), CHOV (48.08N, 114.53E), DALN (43.56N, 104.42) гэсэн GNSS/GPS станцуудын ажиглалтын мэдээг ашиглан Дэлхийн эргэлтийн өөрчлөлт, электроны нийт агууламжийн хэмжээ болон өөрчлөлтүүдийг тодорхойлон судалж байна. (Sh.Amarjargal, 2016), (Д.Баатархүү2020).

Мөн судалгаандаа Олон улсын IERS (Олон улсын дэлхийн эргэлтийн алба), SOHO (Solar and Heliospheric Observatory- Нар Гелиосферийн Ажиглалтын Төв), SIDC (Solar Influences Data analysis Center – Нарны нөлөөллийн Дата анализын Төв), WDC-Kyoto (World Data Center-Kyoto, Киотогийн Дэлхийн Дата Төв) зэрэг төвүүдийн өгөгдлийг ашиглан харьцуулалт хийдэг.

Электроны нийт агууламжийн арга

Ионосферт агуулагдах иончлогдсон бөөмс болон чөлөөт электронууд радио долгионы тархалтад хамгийн их нөлөө үзүүлдэг. ЭНА-ийг ионосферийн давхаргад перпендикуляр байрласан нэг метр квадрат хөндлөн огтлолтой цилиндр хоолойд агуулагдах электроны нийт тоогоор тодорхойлдог (Wilson, 1994) (Д.Баатархүү

Ш., 2020). Түүний 10^{16} electrons/m² хэмжээг ЭНА-ийн нэг нэгжээр тооцон 1TECu гэж тэмдэглэнэ ($1\text{TECu}=10^{16}\text{electrons/m}^2$). ЭНА-ийг GPS-ийн хувьд псевдо-зай (P) ба фазын (F) ажиглалтуудын аль алианаар нь тодорхойлох ба псевдо-зайгаар тодорхойлсон ЭНА нь үнэмлэхүй (Тэгшитгэл 1), харин фазын хэмжилтээс тооцоолсон нь харьцангуй утга илэрхийлдэг (Тэгшитгэл 2), (Gebreselasse, 2017) (Sh.Amarjargal, 2016).

$$TEC_p = \frac{1}{40.3} \frac{f_2^2 f_1^2}{f_2^2 - f_1^2} (P_2 - P_1 - b_r + b_s) \quad (4)$$

$$TEC_\phi = \frac{1}{40.3} \frac{f_2^2 f_1^2}{f_2^2 - f_1^2} [(\phi_1 - \phi_2) - \varepsilon_{\phi 12} - b_r + b_s - \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2] \quad (5)$$

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Дэлхийн эргэлт болон ионосфер

Дэлхийн эргэлтийг хурд (ДЭХ) нь хоногийн үргэлжлэх хугацаагаар тодорхойлдог. Хоногийн үргэлжлэх хугацаа уртсахад дэлхийн эргэлт удааширна харин хоногийн үргэлжлэх хугацаа богиносоход дэлхийн эргэлт хурдасна. Энэ нь ионосферийн электроны нийт агууламжийн (ЭНА) улирлын өөрчлөлтийн явцтай давхцаж байна.

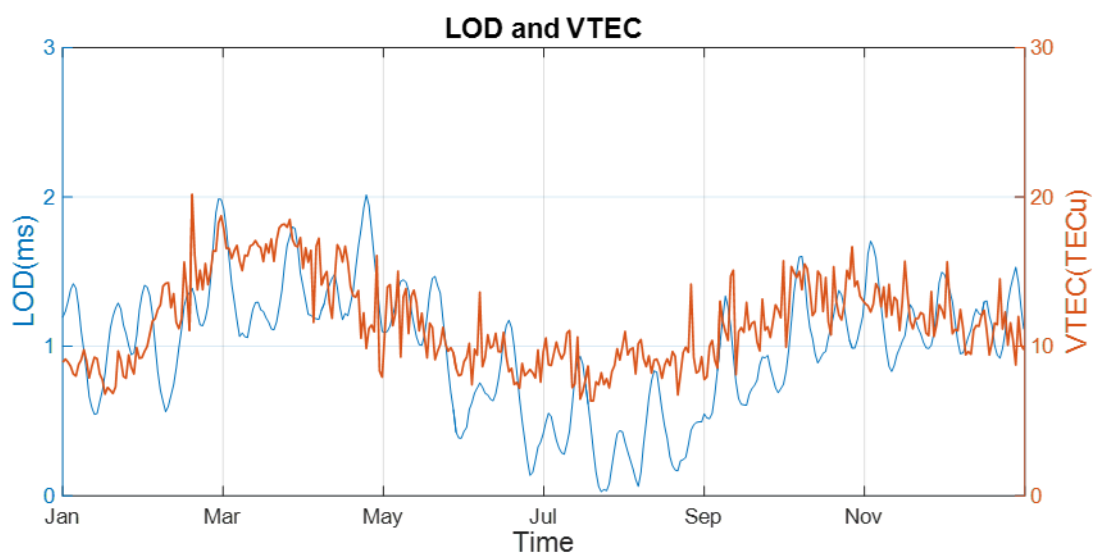
Хоногийн үргэлжлэх хугацаа (LOD) болон ЭНА) VTEC) нэг жилийн улирлын өөрчлөлтүүдийг гаргаж тэдгээрийг харьцуулсан зургийг гаргасан (жишээ болгож нарны идэвхжил ихтэй жил болох 2014 он, идэвхжил багатай жил болох 2008 оны өөрчлөлтүүдийг сонгосон). Улирлын өөрчлөлтөд аль алинд нь 1 болон 7 саруудад багасаад 4, 10 саруудад ихсэх үзэгдэл ажиглагдсан (Зураг 4, 5). Мөн Нарны идэвхжилтэй жилд корреляцийн график байгуулж, хамаарлын утга нь 0.6 болон 0,8 коэффициент байгааг, идэвхжил багатай жил болох 2008 онд 0.3 коэффициент байгааг тус тус тодорхойлсон (Зураг 6, 7). Энд 2014 оны ЭНА-ын утгыг CHOV-GPS, 2008 оныхыг HOVD-GPS станцын мэдээг ашигласан болно. Дэлхийн

энд L_1 ба L_2 нь f_1 ба f_2 давтамж дээр хийсэн зөөгч фазын хэмжилт; λ_1 ба λ_2 нь f_1 ба f_2 давтамжид харгалзах долгионы урт; $f_1=15.7542$ ГГц ба $f_2=12.2760$ ГГц - GPS-ийн зөөгч дохионы давтамжууд;

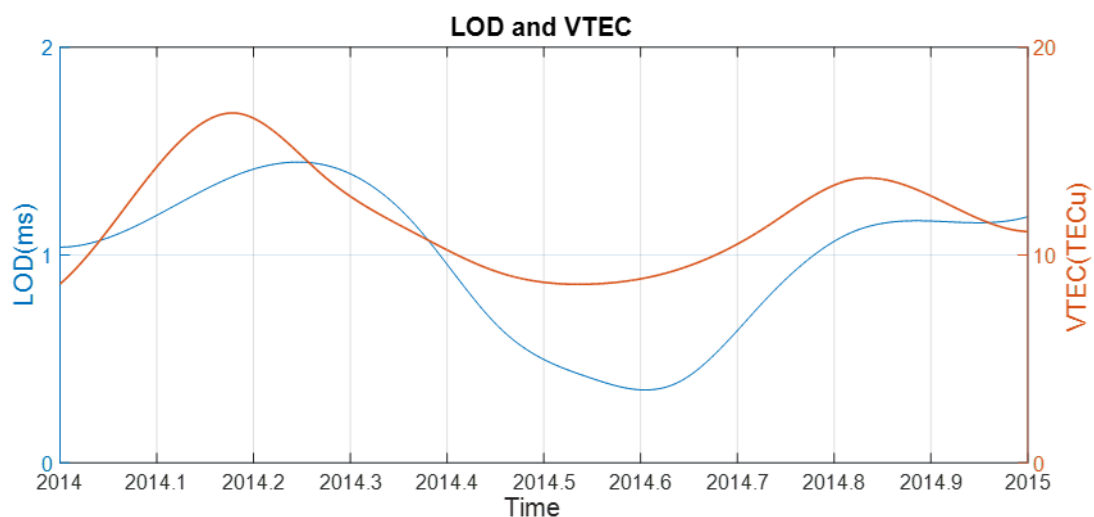
GPS техникээр байршил тодорхойлоход хамгийн том алдааны эх үүсвэр нь ионосфер юм. Харин ионосфер нь радио дохионы хувьд дисперс чанартай тул энэ чанарт нь суурилан хоёр-давтамж ашиглан дохио тархалтад үзүүлэх ионосферийн саатлыг тодорхойлж болдог. Энэ саатлын хэмжээ дохио тархалтын зам дагуу интегралчилсан электроны нийт агууламжтай (ЭНА) пропорциональ байна (Lastovicka, 2017).

эргэлтийн хурдны өөрчлөлтөөс өөрөөр хэлбэл дэлхийн эргэлтийн хурдатгалаас хамаарч ионосферийн электроны нийт агууламж өөрчлөгдсөн гэж үзэх үндэслэлтэй байж болох санааг дэвшүүлсэн. Судалгаан дээр Дэлхийн эргэлтийн хурд нь Наранд төдлөх цэг болох 1 сарын 3-ны үе болон Нарнаас алсрах цэг болох 7 сарын 4 нд хамгийн их нэмэгдээд энэ үеэр электроны нийт агууламж багасаж, хавар болон намартаа Дэлхийн эргэлтийн хурд багасахад электроны нийт агууламж ихсэх нь жил бүр үелэн давтагдаж байна (зураг 4, 5, 9 хүснэгт 1). Дэлхийн эргэлт удаашрах үзэгдлээс болж хавар, намартаа ЭНА-ийн хэмжээ ихсэж, үүний улмаас салхи, шуургатай, агаар мандлын циркуляци ихтэй байдаг нь энэхүү судалгаанаас ажиглагдаж байна.

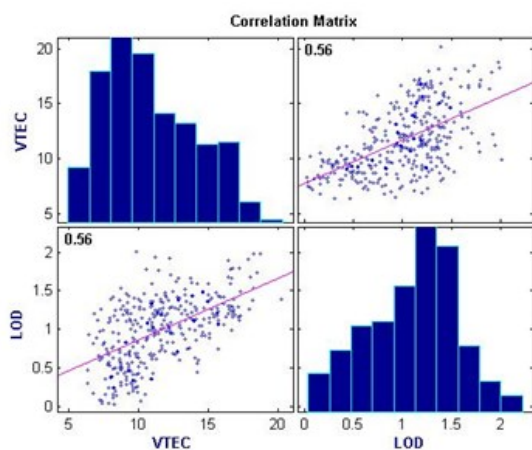
Хүснэгт 1-д Нарны идэвхжил ихтэй жилд өвлөөс хавар хүртэл хоногийн үргэлжлэх хугацаа 0.8мс-ээр уртсаж дэлхийн эргэлт хурд удаашрахад ионосферийн электроны нийт агууламж 9TECu нэмэгдсэн, харин зунаас намартаа хоногийн үргэлжлэх хугацаа 1 мс уртсахад ЭНА нь 6TECU нэмэгдэж байна.



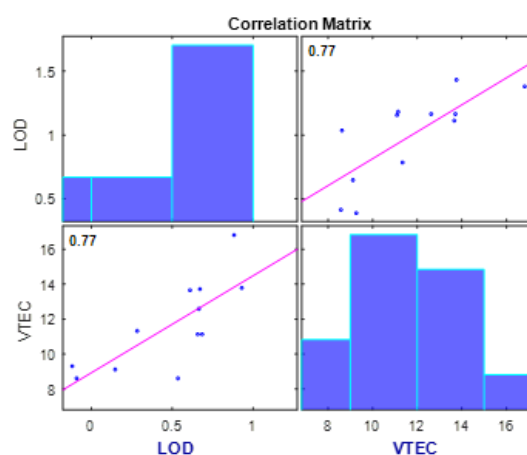
Зураг 4. Дэлхийн эргэлтийн хурд болон Электроны нийт агууламжийн улирлын өөрчлөлтүүд (өдөрт нэг утга, 2014)



Зураг 5. Дэлхийн эргэлтийн хурд болон Электроны нийт агууламжийн улирлын өөрчлөлтүүд (сард нэг утга, 2014)



Зураг 6. Корреляцийн матриц 0.6, (өдөр нэг утга, 2014)



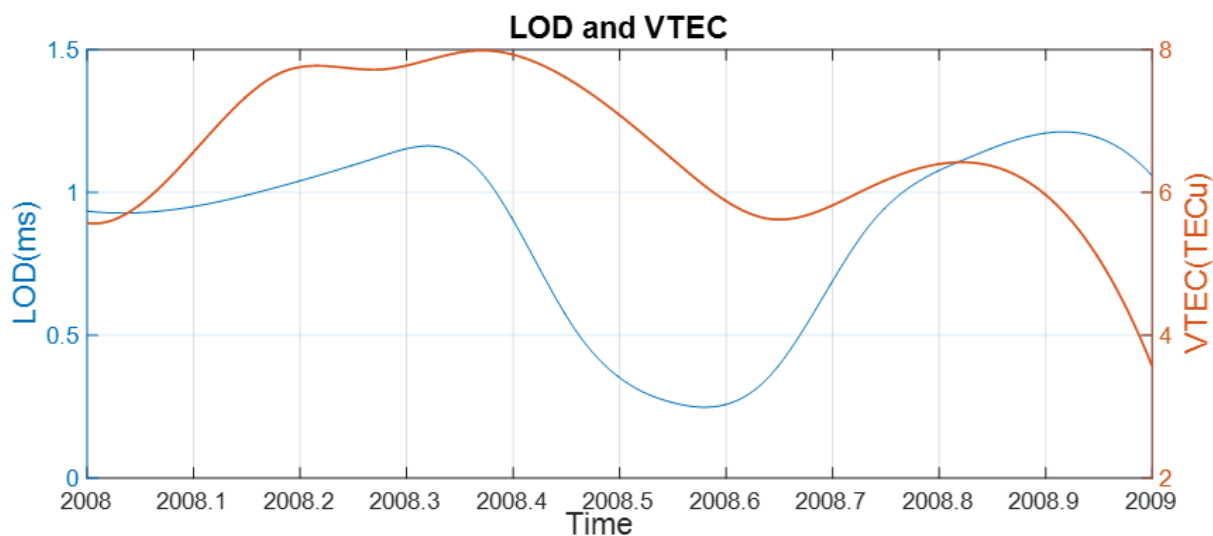
Зураг 7. Корреляцийн матриц 0.8, (сард нэг утга, 2014)

Харин Нарны идэвхжилгүй жилд буюу 2008 онд ЭНА утга 10TECu-ээр бага байгааг харж болно (зураг8). Нарны идэвхжилтэй жилд Дэлхийн эргэлт болон ЭНА өөрчлөлтийн утгуудын далайц нь идэвхжилгүй жилийнхээс их гарч байна. Зураг 9-д үзүүлснээр Нарыг эллипс

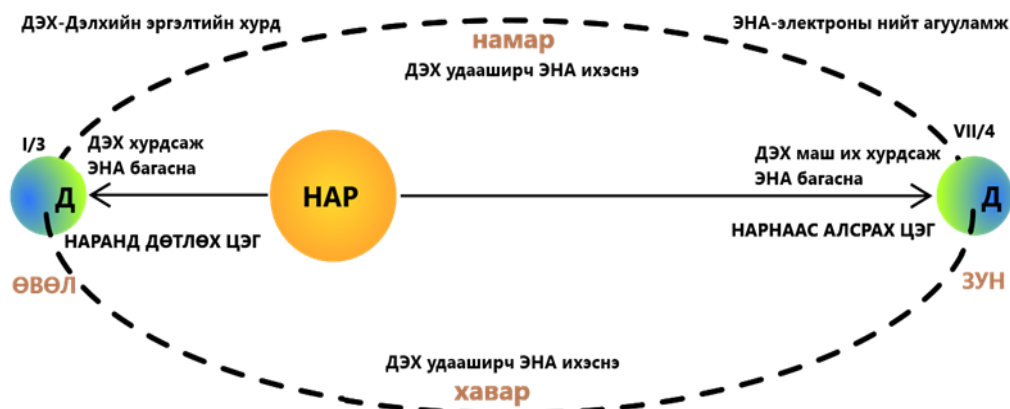
орбитоор тойрч байгаа дэлхийн 4-н гол байрлалаас хамаарч ДЭХ (тэнхлэгээ эргэх) болон ЭНА утгууд хэрхэн хувьсаж өөрчлөгдөж байгааг харуулахыг оролдсон. Дэлхийн эргэлт эерэг, сөрөг хурдатгалтай хөдлөхөд ЭНА багасаж мөн ихсэж байгааг харуулсан.

Хүснэгт 1. Өөрчлөлтүүдийг харьцуулсан хүснэгт

2014 он (Нарны идэвхжил ихтэй)	Өвөл (1 сар)	Хавар (4 сар)	Зун (7сар)	Намар (10сар)
ХҮХ(миллсекунд буюу мс)	1	1.5	0.4	1.2
ЭНА(TECu)	9	17	9	14
ΔХҮХ (мс)	Өвлөөс хавар хүртэл 0.8мс		Зунаас намар хүртэл 1мс	
ΔЭНА(TECu)	Өвлөөс хавар хүртэл 8ЭНАн		Зунаас намар хүртэл 5ЭНАн	
2008 он (Нарны идэвхжил багатай)				
ХҮХ(мс)	0.9	1.2	0.4	1.2
ЭНА(TECu)	4.5	6	4.8	5
ΔХҮХ (мс)	Өвлөөс хавар хүртэл 0.3 мс		Зунаас намар хүртэл 0.8 мс	
ΔЭНА(TECu)	Өвлөөс хавар хүртэл 1.5TECu		Зунаас намар хүртэл 1TECu	



Зураг 8. Нарны идэвхжилгүй үе дэх ДЭХ болон ЭНА-ийн улирлын өөрчлөлтүүд, корр 0.3, (сард нэг утга)



Зураг 9. Нарны байрлалаас шалтгаалж байгаа ДЭХ болон ЭНА-ийн уялдаа холбоо

ДҮГНЭЛТ

Дэлхийн эргэлтийн жигд бус хөдөлгөөний улирлын өөрчлөлт нь ионосферийн электроны нийт агууламжийн улирлын өөрчлөлттэй фазаараа давхцаж байна. Хоног уртсаж дэлхийн эргэлт удааших үед электроны хэмжээ ихсэх харин хоног багасаж дэлхийн эргэлт түргэсэх үед электроны хэмжээ багасгах нь ажиглагдсан. Нарны идэвхжил багатай үед хоногийн үргэлжлэх хугацааны улирлын

өөрчлөлт нь 4 сараас 7 сар хүртэл 0.8мс-ээр буурч дэлхийн эргэлт хурдсахад электроны нийт агууламж дунджаар 1.5 TECu хэмжээгээр буурсан (хүснэгт 1). Нарны идэвхжил ихтэй үед хоногийн үргэлжлэх хугацаа болон электроны нийт агууламжийн далайцууд их гарсан нь нарнаас шууд хамааралтай байгааг илтгэн харуулж байна.

НОМ ЗҮЙ

- <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/EarthOrientationData/eop.html>. (2014).
- Gebreselasse, H. (2017). Global Variations of Ionospheric Total Electron Content (TEC) Derived from GPS. *Research Article*, 141-161.
- Gross, R. (2007). *Earth Rotation Variations*. Elsevier, Amsterdam: Treatise on Geophysics, Vol.11.
- Lastovicka, J. (2017). Long-term trends in the total electron content. *Geophys. Res. Lett.*, 8168-8172.
- O.Dickey, J. (1995). *Earth Rotation: Theory and Observation*. American Geophysical Union: Global Earth Physics.
- Patel, N. K. (2017). GPS-TEC Variation during Low to High Solar Activity Period (2010-2014) under the Northern Crest of Indian Equatorial Ionization Anomaly Region. *Positioning*, 8,13-35.
- Sh.Amarjargal. (2016). Space geodetic activities at

- the Astronomical. *DE GRUYTER OPEN*, J. Geod. Sci.6:111–120.
- Wilson, B. a. (1994). Extracting ionospheric measurement from GPS in the presence of Anti-Spoofing. *Proceeding of ION GPS-94*, 1599-1608.
- Д.Баасанжав, Д. (2016). *Астрономи*. УБ: ISBN: 978-99973-912-6-1.
- Д.Баатархүү, Д. Ш. (2009). Дэлхийн эргэлтийн параметруудийн өөрчлөлтийн судалгаа. *Хүрэл тогоотын семинар 2009*, 29-37.
- Д.Баатархүү, Д. Ш. (2017). Дэлхийн эргэлтийн параметруудийн өөрчлөлтөд вейвлет хувиргалтыг ашигласан зарим үр дүнгүүд. *Геофизик ба Одон Орон*, №4, 123-127.
- Д.Баатархүү, Ш. (2020). GPS Ионосфер мэдээгээр сансарын цаг агаарыг судалсан зарим үр дүнгүүд. *Геофизик ба Одон орон судлал* №7, 80-86.
- Д.Лхагвасүрэн. (2007). Дэлхийн эргэлтийн

жигд бус хөдөлгөөн. ХААИС-ийн
газрын менежмент тэнхимийн
10 жилийн ойн эмхтгэл.

Лхагвасүрэн, Д. С. (2006). 50 лет

Улаанбаатарской Астрономической

Обсерваторий. Всероссийская научно-
практическая конференция. Иркутск,
21-23 ноября.

Сидоренков., Н. (2002). *Нестабильности
вращения земли*. М.: Наука.

EARTH ROTATION ACCELERATION AROUND THE SUN AFFECTS IONOSPHERIC TOTAL ELECTRON CONTENT

Abstract. In this paper we present some results of correlation investigations on the seasonal variations of the earth angular velocity or length of day (LOD) and ionospheric total electronic content (TEC) during the years both solar activity minimum(2008) and maximum(2014). In our analysis, coefficient of correlation between the LOD and TEC are 0.8 during the solar activity 2014 years and 0.3 during the solar minimum 2008 years. We used series of LOD computed by the International Earth's Rotation and Reference Systems Service (IERS), to which the ULAB IGS station of the Astronomical Observatory of IAG contributes by the uninterrupted continuous GPS data. The measurements of ionospheric TEC are conducted at mid-latitudes CHOB (114.5°E, 48.0°N Geog.) and HOVD (91.66E, 48.00 N Geog.), GPS/GNNS stations, which lies under the eastern and western crest in Mongolian region. In this study, we report the phase overlapping seasonal variations of LOD and TEC, dependence of TEC with solar activity condition. From the seasonal analysis, it is found that greater values of the LOD and TEC are observed during spring and autumn season. The results shows that GPS derived TEC seasonal variations 1.5TECu decreased when acceleration of Earth's rotation in LOD shortened by 0.8ms at the summer time for solar activity minimum years (2008). These two variations amplitude are increased for solar activity maximum years (2014).

Keywords: *Solar activity, Earth rotation, length of day, ionosphere, total electronic content*

GPS ИОНОСФЕРИЙН ЭЛЕКТРОНЫ НИЙТ АГУУЛАМЖИЙН УРТ ХУГАЦААНЫ ӨӨРЧЛӨЛТИЙН ФУРЬЕ, ВЕЙВЛЕТ ХУВИРГАЛТ

Д.Баатархүү, Ш.Амаржаргал

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн
baatarkhuu@iag.ac.mn

Товч утга. Энэхүү өгүүлэл Дэлхийн ионосферийн давхаргын Электроны нийт агууламжийн (ЭНА) урт хугацааны буюу CHOB GPS станцын 2008-2016 он, DALN-GPS станцын 2010-2014 оныг хамарсан өөрчлөлт болон түүний спектрийг тодорхойлж судалсан зарим үр дүнгүүдийн талаар авч үзсэн. Судалгаанд ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн байнгын ажиллагаатай Даланзадгад (DALN(43.56N, 104.42)), Чойбалсан (CHOB(48.08N, 114.53E)) GPS станцын өгөгдөл материалыг ашигласан. Манай оронд харгалзах ЭНА утга нь геосоронзон дунд өргөргийн ионосферийн бүсэд хамаарагддаг. ЭНА-ийн 3 болон 15 минут, өдрийн дундаж утгуудаар байгуулсан хугацааны цуваандаа фурье хувиргалт хийж дараах хэлбэлзлийг үеүдийг илрүүлсэн. Үүнд: 4.8 цаг, 6 цаг, 8 цаг, 1 хоног, 27.2 хоног, 182.5 хоног, 260 хоног 0.7 жилийн үет хэлбэлзлүүд. Эдгээр үет өөрчлөлтүүдэд вейвлет хувиргалт хийж үеүдийн эрчим нь хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг тодорхойлсон болно. Мөн эдгээр өөрчлөлт нь Нар, Дэлхийн тэнхлэгээ эргэх хөдөлгөөнтэй мөн түүнчлэн геофизикийн зарим үзэгдэлтэй буюу соронзон шуурга, туйлын туяа, холбоотой эсэхийг тодорхойлох оролдлого хийсэн.

Түлхүүр үг: ионосфер, электроны нийт агууламж, спектр анализ, нарны идэвхжилт, соронзон шуурга

ОРШИЛ

Дэлхийн агаар мандал нь хэд хэдэн үе давхаргаас бүрдэх бөгөөд Дэлхийн гадаргаас дээш хамгийн дээд хэсэг болох 50-1000км хүртэлх орон зайг ионосферийн давхарга эзэлнэ (Eltrass, 2015). Энэ нь Нарны цацрагийн нөлөөгөөр иончлогдож химийн урвал явагдаж байдаг бүс бөгөөд өндөр температуртай, иончлогдсон хий болох атом, молекулын ион болон чөлөөт электронуудыг багтаасан плазм төлөвт оршдог. Түүний шинж чанарыг тодорхойлдог гол параметруудийн нэг нь электроны нийт агууламж (ЭНА) юм. ЭНА-д дараах хүчин зүйлүүд голлон нөлөөлдөг: нарны салхи, нарны идэвхжилтийн өөрчлөлт, нарны тэсрэлт, нарны титмийн масс шидэлт, нарны энергитэй бөөмс, өндөр эрчмийн хэт ягаан цацраг, геосоронзон шуурга, туйлын туяа гэх мэт (Д.Баатархүү Ш., 2020). Ионосфер дэх чөлөөт электроны агууламжийг олон

жилийн туршид өндөр давтамжийн геостационар байрлалтай Фарадейн техникээр хийж ирсэн бол GPS техник гарч ирснээр энэ чиглэлд шинэ эрин эхэлсэн юм. Дэлхийг тойрох GPS-ийн олон дагуулууд, газрын хүлээн авагч олон станцууд нь ионосферийг судлах талбайг бага зардал, хялбар аргаар глобал масштабд хүргэсэн болно. Сансрын геодезийн бусад техникүүд байршил тодорхойлох үндсэн зориулалтаас гадна ионосфер, тропосферт дохио саатсан хэмжээнээс тус давхаргууд дахь чөлөөт электроны болон тунадасжих усны уурын агууламжийг тодорхойлдог (Sh.Amarjargal, 2016).

Бид GPS техникээс ионосферийн давхарга дахь чөлөөт электроны хэмжээг тодорхойлж Нарны идэвхт үзэгдлүүд болон бусад геофизикийн үзэгдлүүдтэй холбон судлах ажлыг хийж байна.

СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Электроны нийт агууламжийн арга

GPS техникийн хувьд хамгийн том алдааны эх үүсвэр нь ионосфер юм. Харин ионосфер нь радио дохионы хувьд дисперси чанартай тул энэ чанарт нь суурилан хоёр-давтамж ашиглан дохио тархалтанд үзүүлэх ионосферийн саатлыг тодорхойлж болдог. Энэ саатлын хэмжээ дохио тархалтын зам дагуу интегралчилсан электроны нийт агууламжтай (ЭНА) пропорциональ байна (Eltrass, 2015):

$$d_{ion} = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (1)$$

Энд, 40.3 нь плазмын давтамжийн тогтмол (m^3/s^2), f - дохионы давтамж, TEC - Total Electron Content буюу дохио тархалтын зам дагуух Электроны Нийт Агууламж (ЭНА).

Хоёр-давтамжийн GPS хүлээн авагч нь L1/L2 дээр псевдозай (код), зөөгч фазыг хоёуланг нь хэмждэг бөгөөд хоёул ЭНА-ийг тодорхойлоход ашиглагддаг (Wilson, 1994).

$$TEC_P = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} (P_2 - P_1 - b_r + b_s) \quad (2)$$

$$TEC_\phi = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} [(\phi_1 - \phi_2) - \varepsilon_{\phi 12} - b_r + b_s - \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2] \quad (3)$$

Энд, $\varepsilon_{\phi 12}$ - зөөгч фазын шуугиан; b_r , b_s - хүлээн авагч; хиймэл дагуул дахь дифференциаль саатлын засвар; $f_1 = 1.5754 \cdot 10$ Гц, $f_2 = 1.2276 \cdot 10$ Гц нь GPS-ийн ажлын хоёр давтамж;

Геодезийн хэрэглээнд ЭНА-ийг 10^{16} элек/ m^2 нэгжээр (TECu) хэмждэг. 1TECu нь L1 зайн хэмжилтэд 0.16 метрийн, L2 -т 0.27 метрийн зайн саатал үүсгэдэг.

ЭНА-ын үнэмлэхүй утгыг L_1/L_2 давтамж дээрх кодын хэмжилтийн шугаман комбинацаар (Тэгшитгэл 2), харьцангуй утгыг фазын хэмжилтийн шугаман комбинацаар бодож олно (Тэгшитгэл 3). Үнэмлэхүй ЭНА-ийн TECp нь фазаас гаргасан ЭНА-ийн TECф-тай

харьцуулахад шуугиан ихтэй. Харин фазаас гаргасан ЭНА нь “харьцангуй” бөгөөд фазын үл мэдэгдэх бүхэл хэсэг агуулдаг. Үүнийг TECp-ээр “тэгшилж” засдаг. Ингэж засаж гаргасан ЭНА нь дагуул, хүлээн авагч хоорондох налуу замын ЭНА болно. Налуу замын ЭНА-г эгц шулуун замын ЭНА-руу тусгалын функц ашиглан хөрвүүлнэ (Тэгшитгэл 4, 5). Ингэхдээ ионосфер дэх электроны нягт тодорхой өндөртэй маш нимгэн давхрагад төвлөрсөн гэж үзэх дан-давхрагын загварыг (ДДЗ) ашиглана (Зураг 1). Энэ өндрийг ихэвчлэн 350-500 км-ийн хооронд авдаг.

$$STEC = \frac{VTEC}{\cos(z')} \quad (4)$$

$$\sin(z') = \frac{R_e}{R_e + H_{ion}} \sin(z) \quad (5)$$

z - дагуулын өндрийн өнцөг, R_e - Дэлхийн радиус (6378.134 км), H_{ion} - ДДЗ-ийн өндөр (350 км), ϕ_u , λ_u хүлээн авагчийн өргөрөг, уртраг, Ion(IPP) - ϕ_{ion} , λ_{ion} өргөрөг, уртрагт ионосферийг дохио нэвчих цэг (IPP-ionospheric pierce point), θ - хүлээн авагчаас IPP цэг хүртэлх дэлхийн төвөөс хэмжсэн өнцөг (Зураг 1).

Ионосферийн дохио нэвчих цэгийг тухайн дагуулын өндөр, зовхисын өнцөг, хүлээн авагчийн байршил, ионосферийн өндрөөс бодож олно:

$$A = \frac{\pi}{2} - z - \sin^{-1} \left(\frac{R_e}{R_e + H_{ion}} \cos(z) \right) \quad (6)$$

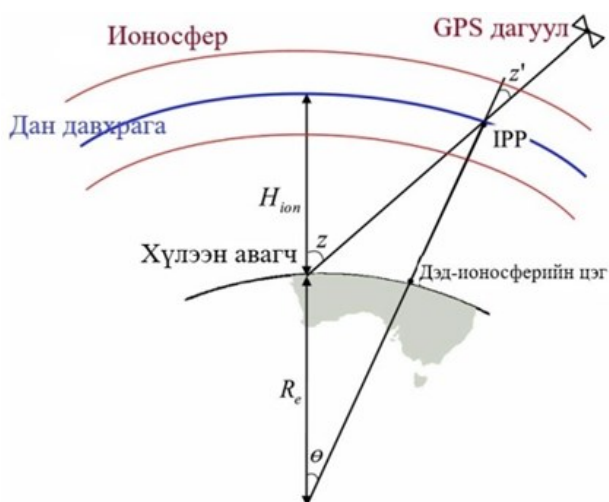
$$\phi_{ion} = \sin^{-1}(\sin \phi_u \cos \theta + \cos \phi_u \sin \theta \cos A) \quad (7)$$

$$\lambda_{ion} = \lambda_u + \sin^{-1} \left(\frac{\sin \theta \sin A}{\cos \phi_{ion}} \right) \quad (8)$$

ЭНА-ийн тооцоог хүндрүүлдэг нэг зүйл нь дагуул, хүлээн авагчид хоёуланд нь ажиглагддаг техник хангамжаас үүдэлтэй саатал юм.

Дагуулаас илгээгдэх хоёр дохио нь нэгэн зэрэг хүлээн авагчид ирж байхаар маш нарийн синхронизацлагдсан байдаг хэдий ч үнэмлэхүй синхронизаци гэж байхгүй учир дохио дамжуулалтын хугацаанд зөрүү үүсдэг. Үүнийг дагуулын L1/L2 дифференциаль саатал b_s гэх ба дагуул тус бүрт өөр өөр утгатай байна. Дифференциаль саатал хүлээн авагчид ч бас ажиглагдана. Учир нь дохионууд өөр өөр хүлээн авагчийн техник хангамжаар, өөр өөр цахилгаан хэлхээгээр дамжидаг. Энэ саатлыг хүлээн авагчийн L1/L2 дифференциаль саатал b_r гэнэ. Хүлээн авагч бүр өөр өөрсдийн дифференциаль сааталтай байна. Дагуулын болон хүлээн авагчийн дифференциаль саатлын аль аль нь ЭНА-ын тооцоонд алдаа оруулдаг. Wilson нарын (Wilson, 1994) тогтоосноор дохио тархалтын зам дагуух ЭНА-ын тооцоонд дагуулын болон хүлээн авагчийн дифференциаль засварыг оруулаагүйгээс үүдэх алдаа ± 3 ns ба ± 10 ns тус тус хүрнэ. Харин 1 ns-ийн дифференциаль засвар 2.852 TECu-тай тэнцэнэ (ШУА, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн, тайлан, 2005-2007).

Эхний шатанд дагуул болон хүлээн авагчийн дифференциаль саатлыг



Зураг 1. Ионосферийн дан-давхаргын загвар

ионосферийн ЭНА-ын хэмжээ үл мэдэгдэх төдий байх шөнийн цагийн мэдээний хэсгээс тооцоолно. Үүний дараа тодорхойлогдсон дифференциаль засварыг налуу замын ЭНА-д хавсаргаж үүнээс эгц шулуун замын ЭНА-ийг тодорхойлно.

Фурье болон Вейвлет хувиргалтын арга

Шинжлэх ухааны болон олон салбарт тохиолддог нэг чухал асуудал бол функцийг хувиргаж үзэгдлийн далд мөн чанарыг нь бодох харагдах боломжийг шинжлэх нь чухал байдаг. Тийм асуудлыг шийдэх математик хэрэглүүр бол Фурье хувиргалт юм.

Энэ хувиргалт нь $f(t)$ функцээс фурье төлөөлөлд дараах томъёогоор хувиргадаг.

$$f(\omega) = \int_0^T f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (9)$$

Энд $f(t)$ функц нь T үетэй ба ω бол гармоник $e^{-i\omega t}$ функцийг хувьслын давтамж $\omega = 2\pi/T$, Ийнхүү Фурье хувиргалт нь ямарч функц болон туршилтын тоон баримтыг тооцооны аргаар хувиргаж судлахад $F(\omega)$ функцийг бүтэц тоон түгэлтэд шилжүүлэх боломж олгодог.

Вейвлет хувиргалт нь фурье хувиргалтыг бодвол хугацаа-давтамжаар нь ялгаж өгдөг, өөрөөр хэлбэл давтамжийн далайцыг хугацаанаас хамааруулан гаргадгаараа маш чухал онцлогтой хувиргалт юм. Үүнд $f(t)$ гэсэн хугацааны цувааны Вейвлет хувиргалт нь дараах томъёогоор тодорхойлогддог.

$$W_\psi(f)_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (10)$$

$\psi(t)$ нь үндсэн вейвлет, a – тэлэлт / шахалтын хуваарийн үзүүлэлт, давтамжийн шинж чанарыг илэрхийлдэг, b – хугацааны шилжилтийг төлөөлдөг. Энд дараах схемийг Гроссман болон Морле 1982, Добечи 1992, Чао болон Найто 1995 нар боловсруулж нормчилсон.

$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2a\pi}} \exp\left[-\frac{(t-b)^2}{2a^2}\right] \exp\left[\frac{i\omega(t-b)}{a}\right] \quad (11)$$

ω —осциляцийн давтамжийн тоог илэрхийлнэ.

ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Электроны нийт агууламжийн өөрчлөлт

CHOB болон DALN GPS станцуудын Ионосфер дэх электроны нийт агууламжийн урт хугацааны өөрчлөлтийг 15 минутын хугацааны завсартайгаар боловсруулж, өдрийн болон сарын дундаж утгуудыг тооцоолон график байгуулж, түүнд фурье болон хугацаа давтамжийн вейвлет хувиргалтыг ашиглан зарим спектрүүдийг тодорхойлж, түүнд дүн шинжилгээ хийсэн.

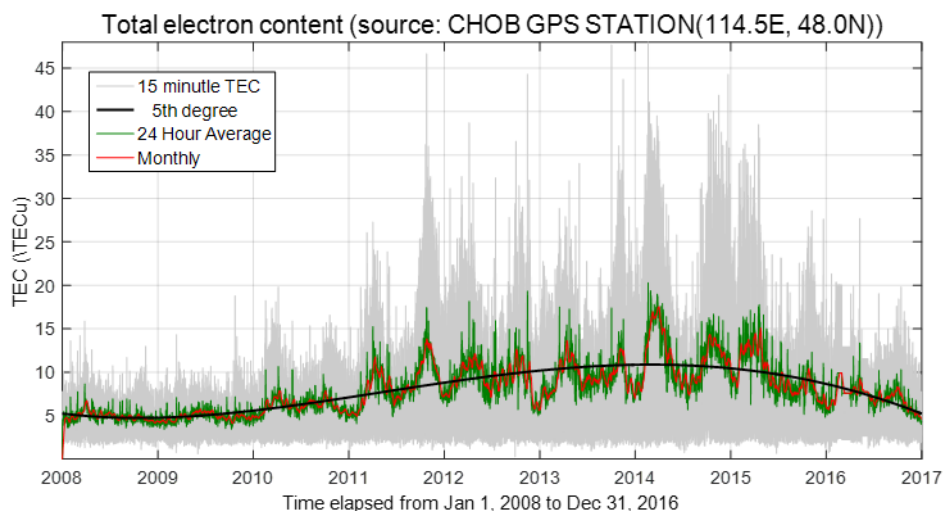
Зураг 2 дээр CHOB GPS станцаар тодорхойлсон ионосферийн ЭНА-ын өөрчлөлтийн утгыг 2016-2008 оны байдлаар гаргав. Дээрх хугацаанд CHOB-ын ЭНА дундаж утга 9TECu гарсан. Энэ 9 жилийн хугацаанд ЭНА-ын өөрчлөлт Нарны 11 жилийн идэвхжилийн үетэй шууд холбоотой байна) Д.Баатархүү Ш. , 2020) (Lastovicka, 2017). Энэхүү ЭНА-ийн урт хугацааны цуваанд фурье хувиргалт хийж хэлбэлзлийн үеүдийг тодорхойлсон (зураг3,4).

Тооцоо боловсруулалтын ажлыг МатЛаб программын олон гишүүнтээр дундажлах болон Морлет Вейвлет функцийг ашиглан гүйцэтгэсэн (Christopher Torrence, 1998) (Benjamin F. Chao 2014) .

Зураг 3 дээр ЭНА-ын урт үетэй 0.7жил, 0.5жил, 0,33 жилийн хэлбэлзлүүд байгааг харуулж байна.

Зураг 4 дээр ЭНА-ын нэг жил доторх богино үетэй спектрийг харуулав. Үүнд: 4.8, 6, 8, 12 цагууд болон 1 өдөр буюу 24 цагт хэлбэлзлүүд тод гарч байна. 3 цаг 4 цаг, 4.8 цагийн зэрэг хэлбэлзлүүдийг соронзон шуурга, туйлын туяа болон Нарны идэвхт үзэгдлээс үүдэлтэй болох нь дараах судалгааны ажил дээр тодорхой харуулсан (Д.Баатархүү Ш. , 2020).

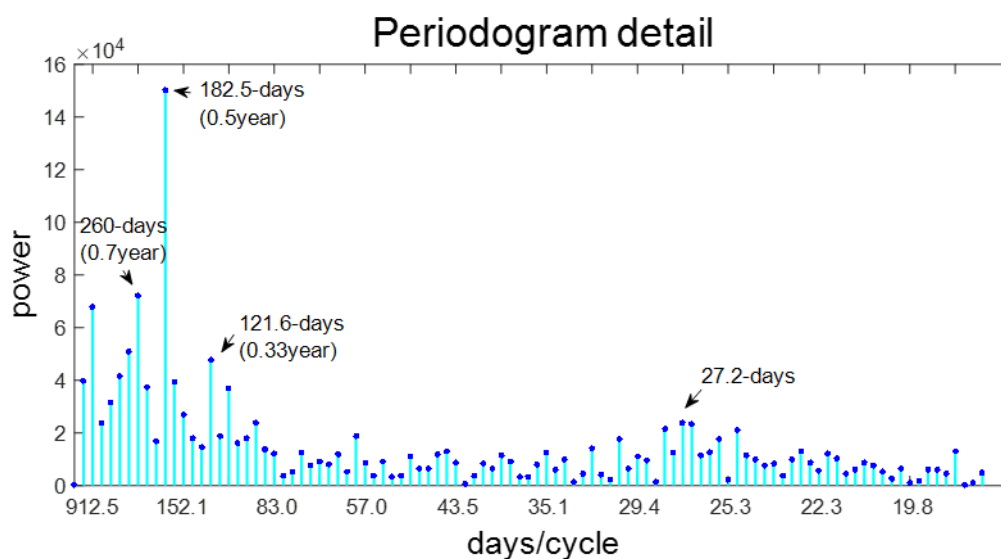
Энэхүү судалгааны ажилдаа 1 өдрөөс их үетэй ЭНА хэлбэлзлийг **урт үет**, түүнээс бага хэлбэлзлийг **бага үет** гэж ангилан үзсэн. Үүнд урт үет 182.5 хоногийн буюу хагас жилийн, хамгийн өндөр далайцтай нь 1 өдрийн хэлбэлзэл тэгээд бага үетэй буюу цагийн хэлбэлзлүүд гарсан. ЭНА өөрчлөлт нь 182.5 хоног буюу хагас жил болоод идэвхжилт явагддагийг харуулж байна. Дараах спектрүүд байгааг тодорхойлсон.



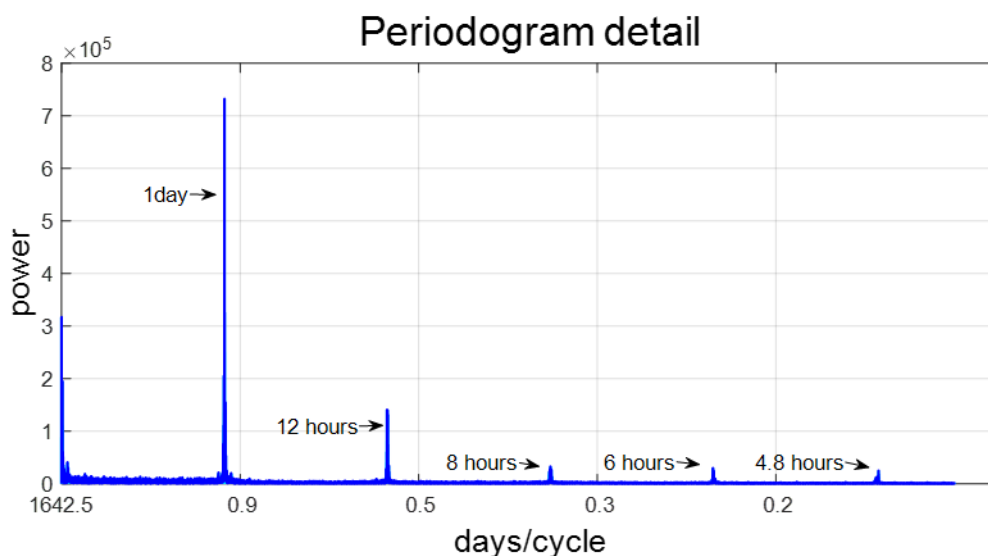
Зураг 2. CHOB GPS-ийн TEC-ын хугацааны цуваа.

Үүнд: урт үетэй 260.7 хоног (0,71 жил), 182.5 хоног (0.5 жил), 121.6 хоног (0.33 жил), 27.2 хоног, бага үет 1 хоног буюу 24 цаг, хагас хоног буюу 12 цаг, 8 цаг, 6 цаг, 4.8 цаг, 4 цаг, 3 цаг гэх мэт үетэй хэлбэлзлүүдийг тодорхойлж гаргалаа) зураг3). Энэ 27.2 болон түүний орчим гарч байгаа ,29-22 үеийг Нарны тэнхлэгээ эргэлдэх хөдөлгөөний үетэй холбоотой, 182.5 улирлын буюу Нарыг тойрох дэлхийн эргэлтийн хөдөлгөөнтэй, 1 хоногийн үеийг нь Дэлхийн тэнхлэгээ эргэх хөдөлгөөнтэй

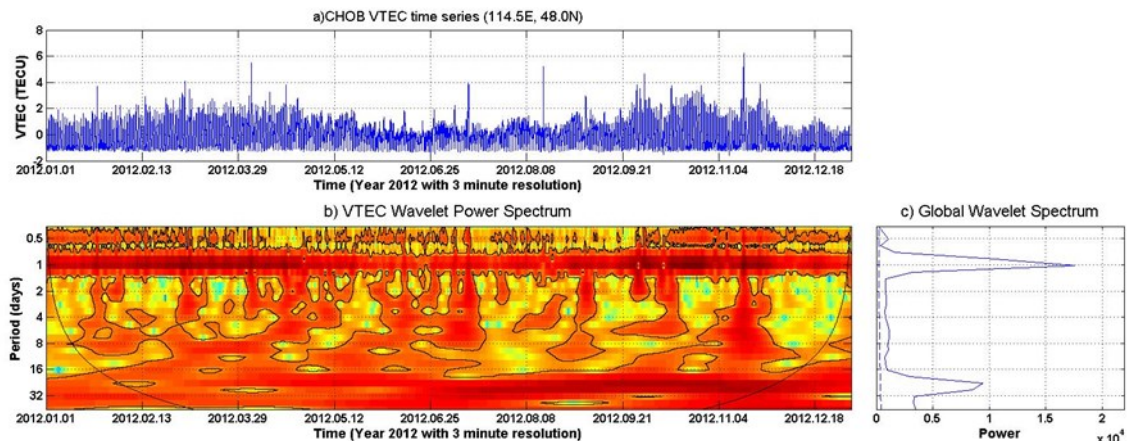
харин бага 8, 6, 4.8, 4, 3 цагийн үеүдийг соронзон шуурга болон туйлын туяа, наран дээрх хүчтэй тэсрэлттэй холбоотой гэж үзсэн. Дээрх урт богино үет хэлбэлзлийн далайц нь хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг вейвлет хугацаа давтамжийн хувиргалт харуулж өгсөн. Энэ хувиргалт ЭНА нь улирлын чанартай өөрчлөгдөж байгааг харуулж байна. Нэг хоногийн үет хэлбэлзэл нь Хавар, Намарын улирлуудад далайц ихтэй харин өвөл, зуны улирлуудад бага байгааг харж болно (Зураг5).



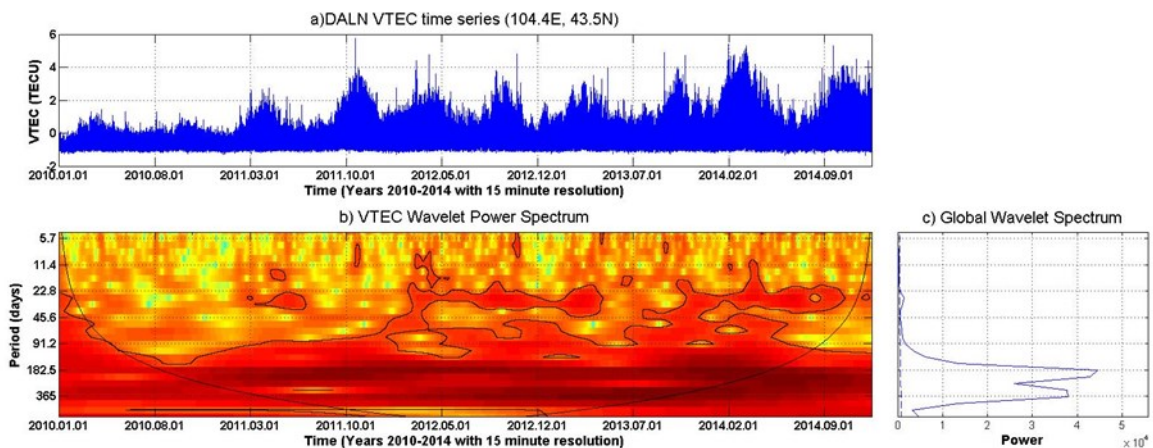
Зураг 3. ТЕС-ын урт үет спектр,) фурье хувиргалт)



Зураг 4. ТЕС-ын богино үет спектр, (фурье хувиргалт)



Зураг 5. CHOB TEC-ын вейвлет хувиргалт, 1 болон 27.2 хоногийн үет хэлбэлзэл



Зураг 6. DALN TEC-ын вейвлет хувиргалт, хагас жил болон нэг жилийн үет хэлбэлзэл

Зураг 5-д СНОВ-ийн 3 минутыг завсартайгаар байгуулсан ЭНА-ын өөрчлөлтийн вейвлет хувиргалтаар 0.5, 1, 27.2 хоногийн үет хэлбэлзлийг хугацаанаас хамааруулан гаргасан. Үүнд вейвлет спектрээс харахад нэг хоногийн үе нь 3, 4 болон 10, 11 саруудад максимумтай, 1, 7 саруудад минимумтэй байгаа нь ажиглагдаж байна.

Зураг 6-т вейвлет хувиргалтаар 182.5 хоног болон, 1 жилийн үет хэлбэлзлүүдийг хугацаанаас хамааруулан гаргалаа. Үүнд 27.2 хоногийн үе нь 2012 оны 2 сараас 2013 оны 4 сар хүртэл, мөн түүнчлэн 2013 оны 10 сараас 2014 оны 11 сар хүртэлх хугацаанд хүчтэй ажиглагдаж байна. Энэ нь Нарны идэвхжилийн болон хүчтэй тэсрэлт ихтэй үеийн хугацаатай тохирсон

(<https://www.space.com/20621-solar-maximum-sun-storm-photos-2013.html>).

СНОВ GPS станцуудын Ионосфер дэх ЭНА-ийн (ТЕС) урт хугацааны буюу 2008-2016 онуудын өөрчлөлтийн өдрийн дундаж утгыг тодорхойлж, түүнд хугацаа-давтамжийн вейвлет спектр анализ хийсэн (Зураг 7).

Зураг-7 т вейвлет хувиргалтаар дээрх олон жилийн хугацаанд 182.5 хоногийн үетэй ЭНА-ийн идэвхжилийг хугацаанаас хамааруулан гаргалаа. Үүнд вейвлет спектрээс харахад идэвхжилийн үе нь 2011-2015 онуудад их, максимум үе нь 2014 онд ажиглагдаж байна. Энэ нь Нарны идэвхжилийн үеийг илэрхийлэн гаргаж байна (Patel, 2017).

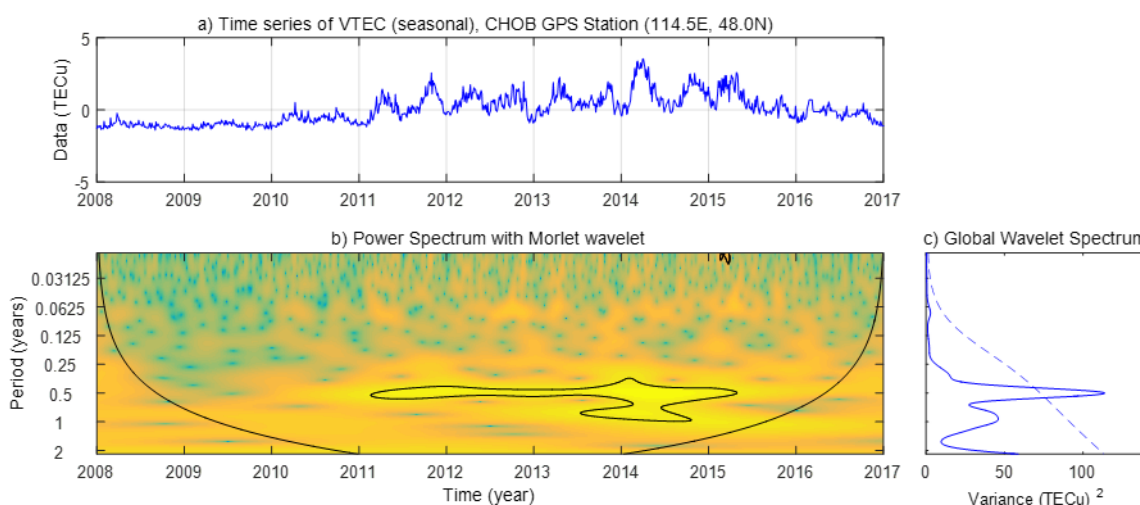
Бид дээрх судалгаанаас дараах гол үр

дүнгүүдийг гаргаж авсан.

- Электроны нийт агууламжийн 2008-2016 он хүртэлх нийт 9-н жилийн хугацааны цуваанд вейвлет болон фурье хувиргалт хийж 4.8, 5, 6 цаг, 8 цаг, 1 хоног, 27.2 хоног, 182.5 хоног, 260 хоног буюу 0.71 жил, үетэй хэлбэлзлүүд байгааг илрүүлсэн. Хэлбэлзлүүдийн далайц хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг харууллаа.
- ЭНА-ийн 1 өдрийн үетэй хэлбэлзэл нь Дэлхийн тэнхлэгээ эргэлдэх хөдөлгөөний үетэй уялдаатай болох

нь ажиглагдаж байна.

- ЭНА-ийн 27.2 үет хэлбэлзэл нь Нарны тэнхлэгээ эргэх үетэй таархаас гадна олон жилийн хугацаанд 2013 оны 10 сараас 2014 оны 11 сар хүртэл далайц ихтэй буюу идэвхжилтэй байгааг үзүүлсэн.
- ЭНА-ийн 182.5 хоног үет хэлбэлзэл нь Улирлын чанартай буюу Нарыг тойрох дэлхийн эргэлдэх хөдөлгөөнтэй холбоотой болох нь судалгаанаас гарч байна.



Зураг 7. CHOB-GPS станцын TEC-ын вейвлет хувиргалт, $T=182.5$ хоногийн үет хэлбэлзэл хугацаанаас хамаарах хамаарал

ДҮГНЭЛТ

Ионосферийн ЭНА-ийн хугацааны муруйг задлан шинжлэхэд хэд хэдэн урт болон богино үетэй цувааны нийлбэрээс бүтсэн болох нь судалгаанаас ажиглагдлаа. ЭНА цуваа нь олон хүчин зүйлүүдээс шалтгаалдаг болох нь батлагдаж байна.

Өөрчлөлтүүдийн хамгийн далайц ихтэй нь 182.5 хоногийн үе байсан бөгөөд хамгийн бага далайцтай нь цагийн хэлбэлзлүүд гарсан. Энэ өөрчлөлтүүд нь

тус бүр тодорхой байгалийн үзэгдлүүд болох Нарны идэвхжилт болон бусад геофизикийн үзэгдлүүдийн давтагдах үеүдтэй тохирч байна. Нар, Дэлхийн тэнхлэгээ тойрох эргэлт мөн түүнчлэн Нарыг тойрох Дэлхийн эргэлтийн хөдөлгөөнтэй салшгүй холбоотой болох нь дээрх судалгаанаас гаргасан үр дүнгүүд тодхон харуулж байна.

НОМ ЗҮЙ

(2005-2007). ШУА, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн, тайлан. Улаанбаатар.

Christopher Torrence, G. P. (1998). A Practi-

cal Guide to Wavelet Analysis. Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 61-79.

Eltrass, A. S. (2015). The Mid-Latitude Iono-

- sphere. PhD Thesis, Blacksburg, Virginia.
<https://www.space.com/20621-solar-maximum-sun-storm-photos-2013.html>. (огноо байхгүй).
- Lastovicka, J. (2017). Long-term trends in the total electron content. *Geophys. Res. Lett.*, 8168-8172.
- Patel, N. K. (2017). GPS-TEC Variation during Low to High Solar Activity Period (2010-2014) under the Northern Crest of Indian Equatorial Ionization Anomaly Region. *Positioning*, 8,13-35.
- Sh.Amarjargal, D. (2016). Space geodetic activities at the Astronomical Observatory of Mongolia. *DE GRUYTER OPEN, Journal of Geodetic Science*, 111-120.
- Wilson, B. a. (1994). Extracting ionospheric measurement from GPS in the presence of Anti-Spoofing. . *Proceeding of ION GPS-94*, 1599-1608.
- Д.Баасанжав, Д. (2016). Астрономи. УБ.
- Д.Баатархүү, Д. Ш. (2017). Дэлхийн эргэлтийн параметруудийн өөрчлөлтөд вейвлет хувиргалтыг ашигласан зарим үр дүнгүүд. *Геофизик ба Одон Орон*, №4, 123-127.
- Д.Баатархүү, Ш. (2020). GPS Ионосфер мэдээгээр сансарын цаг агаарыг судалсан зарим үр дүнгүүд. *Геофизик ба Одон орон судлал* №7, 80-86.

LONG-TERM VARIATIONS OF IONOSPHERIC TOTAL ELECTRONIC CONTENT WITH FOURIER AND WAVELET TRANSFORM

Abstract. In this paper we present some spectral results of investigations carried out on the variation of the earth's ionospheric total electronic content (TEC) component during the period of one year and 2008-2016 of the CHOB, 2010-2014 of the DALN. We used series of TEC computed from the Choibalsan (CHOB) and Dalanzadgad (DALN) GPS stations out of the four continuous stations of the Astronomical Department. Our GPS stations in Mongolia belong to the mid-latitude ionosphere region. The attempt was made to correlate geophysical phenomenon such as geomagnetic storm, solar flare, solar rotations with the variability of ionospheric TEC rate. The TEC with 1, 27.2, 91.2, 182.5, 260 day periods interval are obtained from the Fourier method and comprehensive time-frequency wavelet analysis. Local wavelet power spectrum of the TEC time series is calculated using the normalized Morlet wavelet. The period of 1 and 27.2, days corresponds to the period of the earth rotation and solar rotations. Also and attempted to identify any other variations in geophysical or magnetic storms, high energy particles, extreme ultraviolet and polar aurora's.

Keywords: *Ionosphere, total electronic content, spectral analysis, solar activity, geomagnetic storm*

БОР ТЭЭГ, ЦАНХИЙН ХЭСГИЙН АШИГЛАЛТЫН ХАЙГУУЛЫН ЦООНОГИЙН ГЕОФИЗИКИЙН ХЭМЖИЛТИЙН ҮР ДҮН

Д.Батсайхан

Монкаротаж ХХК
Batsaikhan@monkarotaj.mn

Хураангуй. Хайгуулаар өрөмдсөн цооногуудад цооногийн геофизикийн судалгааг хийж нүүрсний үеийн хил заагийг бусад чулуулгаас ялгаж, үеийн зузаан болон чулуулгийн уналын өнцөг азимутыг Acousticteleviewer /Цооногийн зураглал/-аргачлалаар тодорхойлсон. Бор тээг, Цанхийн хэсгийн ашиглалтын хайгуулын ажлаар Цооногийн геофизикийн судалгаа хийж нүүрсний үеийг ялгаж, нүүрсний давхаргуудын загвар гаргасан. Талбайн нүүрсний үеүд нь нягтаараа ялгарах чадвар сайн бөгөөд нүүрсний нягт нь 1.3-1.6 г/см³, нүүрсний үе дээр нуралт үүссэн үед -1.1 г/см³, элсэн чулуу, алевролитийн үе дээр 3-3.5 г/см³ утгаар ялгарсан.

Түлхүүр үгс: Цооногийн геофизикийн судалгаа, Акустик телевизр

ОРШИЛ

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд 2020 онд “Эрдэнэс-Таван толгой” ХК-ын лиценз бүхий Бор тээг, Цанхийн хэсэгт (Зураг 1) ашиглалтын хайгуулын зорилгоор хийсэн цооногийн геофизикийн судалгааны үр дүнгээр нүүрсний үеийн хил заагийг бусад чулуулгаас ялгах, үеийн зузааныг тодорхойлох, талбайн хэмжээнд нүүрс агуулсан давхаргуудын загвар зохиох, чулуулгийн үе давхаргуудын

уналын өнцөг болон азимутыг тодорхойлох зэрэг зорилтууд тавин ажиллалаа.

Судалгааны талбайд өрөмдсөн цооногт байгалийн гамма, гамма-гамма, акустик телевизр, цахилгаан эсэргүүцэл, цооногийн хазайлт, цооногийн нуралт, чулуулгийн хатуулаг зэрэг үзүүлэлтүүдийг цооногийн геофизикийн хэмжилтүүдээр тодорхойлсон болно.

СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ БА ХЭМЖИЛТ

Цооногийн геофизикийн аргын зорилго нь босоо зүсэлтийн дагуу чулуулгийг физик болон механик шинж чанараар нь ялгахад оршино (П.Дугараа, 2007). Энэхүү зорилгоор радиометрийн, цахилгаан эсэргүүцлийн, хэт авиан, чичирхийллийн болон соронзон хайгуулын аргуудад үндэслэсэн цооногийн геофизикийн арга, аргачлалуудыг ашиглан хэмжилт, судалгааг гүйцэтгэдэг. Энэ судалгааны ажлын хүрээнд дараах аргачлалуудаар хэмжилтийг хийж гүйцэтгэлээ. Үүнд:

1. Байгалийн гамма /Natural gamma/

2. Гамма-гамма /Dual Density/

3. Акустик зураглал буюу телевизр / Acoustic televiewer/

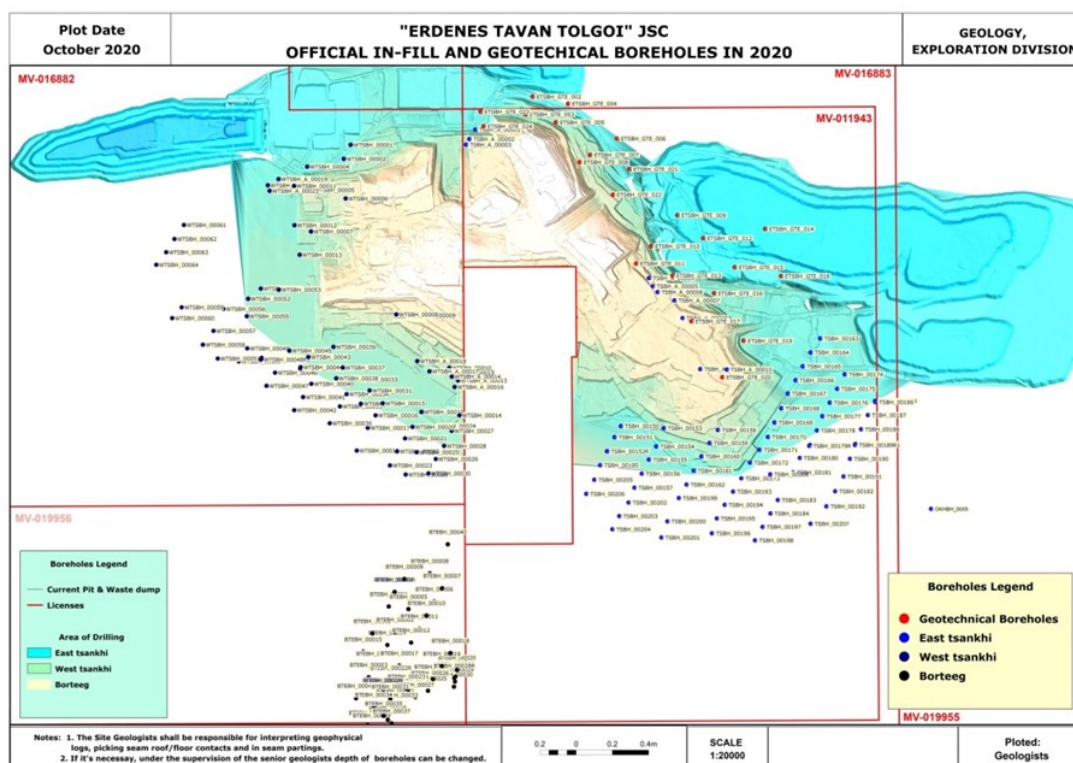
4. Цахилгаан эсэргүүцэл /Dual Resistivity PR/

5. Цооногийн хазайлт /Deviation/

6. Цооногийн нуралт /Caliper/

7. Чулуулгийн хатуулаг /Sonic/

Цооногийн геофизикийн хэмжилтүүдийг өрөмдсөн цооногийн доороос дээш чигт, тасралтгүйгээр, 7-4 м/мин хурдаар, 1 см алхамтайгаар хийж гүйцэтгэсэн. Гамма-гамма нягтын зонд нь нэг удаагийн явалтаар байгалийн гамма



Зураг.1. Хэмжилт хийсэн цооногуудын байршлын зураг

аргачлалын хэмжилтийг давхар авдаг. Харин дипметр) Dipmeter) зонд нь цооногийн нуруул болон хазайлтыг зэрэг хэмждэг давуу талтай. Цацраг идэвхт үүсгүүрийн аюулгүй байдлыг хангах үүднээс болон цооногийн хэмжилтийн мэдээллээ бүрэн авах үүднээс гамма-гамма нягтын болон байгалийн гамма хэмжилтүүдийг өрөмдлөгийн яндангийн дотуур хэмжиж авсан. Цооногийг угааж бэлдсэний дараа эсэргүүцэл, акустик каротаж, чулуулгийн унал, азимут, цооногийн хазайлт ба нуруултыг хэмжинэ.

Цооногийн усны түвшинг цахилгаан эсэргүүцлийн болон акустик аргачлалаар тодорхойлж болдог (Sierra, 1983, Hoffman 1982). Уг аргачлалууд нь цооног устай үед бодит хэмжилтийн утга авдаг учир хэмжилтийн утгаас усны түвшинг үнэлэх боломжтой.

Хэмжилтийн муруйн графикаасаа нүүрсний хил зааг, зузааныг ялган, анхан шатны боловсруулалтыг хийж өрөмдлөгийн дээжтэй харьцуулан геологийн литологийн бичиглэлийг хийдэг

(Зураг 2).

Судалгааны ажилд ашигласан зарим аргачлалын онцлог, давуу болон сул талыг доор авч үзье.

1. Цооногийн ханын дагуу байгалийн цацраг идэвхжилтийг хэмжих арга - Gamma (API)

Энэ аргачлал нь нүүрсний орд газрын судалгаанд ашиглахад тохиромжтой байдаг. Тус аргачлалыг нүүрсний үе давхаргын зузаан болон бусад чулуулгуудын хил заагийг тогтооход голлон ашигладаг. Нүүрсний үе давхаргууд нь бусад үе давхарга болон агуулагч чулуулгуудаас гамма идэвхт шинж чанараараа эрс ялгаатай буюу бага байдаг. Энэ шинж чанараар нь нүүрсний үе давхаргуудыг ялгадаг.

Байгалийн гамма аргачлалаар нүүрсний үеийн үнслэг шинж чанарыг тодорхойлж болох бөгөөд үнслэгийн агууламж ихэссэн болон өгөршсөн нүүрсний үе давхаргууд нь гамма цацаргалтын өндөр утгатай гажлаар ялгардаг (Sierra, 1983).

2. Цацраг идэвхт гамма үүсгүүрээр цооногийн ханын дагууд шарахад үүссэн хоёрдогч (сарнимал) гамма цацрагийг хэмжих арга. –Density LSD, SSD (gm/cc/)

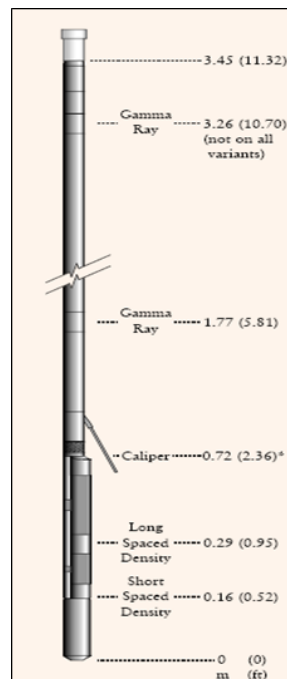
Хол (Long Spaced Density), ойр (Short Spaced Density)-ын зайн хос мэдрэгчтэй (Зураг 3) энэ арга нь чулуулаг болон нүүрсний үе давхаргыг босоо зүсэлтийн дагуу нягтаар нь ялгахад чиглэгдсэн арга юм. Нүүрсний үе давхаргууд нь бусад агуулагч чулуулгуудаасаа бага нягтаар ялгардаг. Нягтын хэмжилтийн хуваарийг 1-4 г/см³ утгаар хэмжсэн.



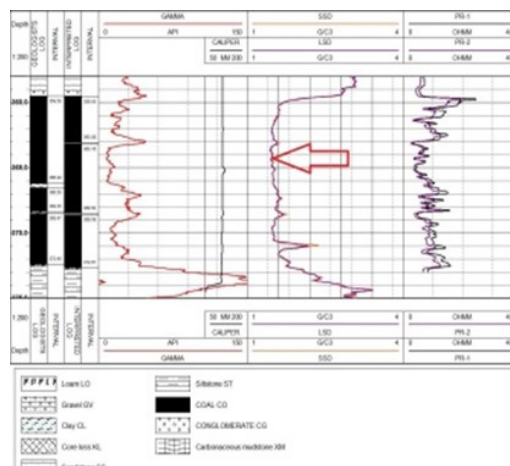
Зураг 2. Анхан шатны боловсруулалтыг нүүрсний дээжтэй тулгаж геологийн бичиглэл хийх явц

Нягт хэмжих аргачлалын үед цооногийн нурулт үүсэж хэмжээ томорсон хэсэг нь нүүрсний нягттай ижил үр дүнг үзүүлдэг. Иймд цооногийн диаметр хэмжигч багажийг давхар цогц болгон ашиглаж нурулттай хэсгийг олж илрүүлдэг (П.Дугараа, 2012).

Илэрсэн нүүрсний үеийн зузаан болон түүний шинж чанараас хамааран нягтын хэмжилтийн утга нь өөр өөр байх ба нимгэн үе буюу 10-20 см зузаан үед нягтын заах индекс их байна. Энэ нь тухайн багажны кристал буюу хүлээн авагч, цооногийн хэмжилтийн хурдаас хамааралтай. Нүүрсний үеийн зузаан их байх тусам нягтын хэмжилтийн интервал



Зураг 3. Хэмжилтийн багажийн бүдүүвч зураг (Weatherford, 2021)



Зураг 4. Density аргачлалаар нүүрсний үеийг ялгасан байдал

утга нь онолын тоон хэмжээнд бодитойгоор дөхөж байсан юм. Үүний жишээ болгон Зураг 4-д үзүүлж буй цооногт /ОВН_00030/ зузаан нүүрсний үеийн нягт нь 1.30-1.45 г/см³ байна. Хайгуул хийсэн талбайн хувьд нүүрст үеийг шалгах гол аргачлалын нэг нь нягтын хэмжилтийн арга байсан юм. Нягтын буюу гамма-гамма хэмжилтийн багажийн тохиргоо (calibration)-г хөнгөн цагаан болон усны нягтыг тодорхойлох замаар хийдэг (Зураг 5).

3. Цооногийн нурултыг тодорхойлох арга - Caliper (mm)

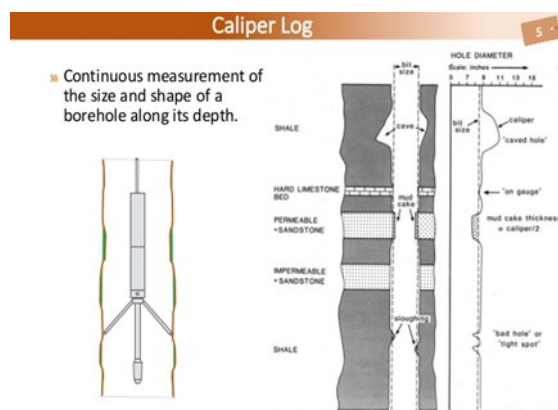
Цооногийн зүсэлтийн дагуу диаметрийн өөрчлөлт нурултыг тогтооход зориулагдсан арга юм. Энэ аргаар нурулт үүссэн хэсгийг олж илрүүлж нягтын аргачлалын үр дүнг хянах боломжийг олгодог. Нягт хэмжигч гамма – гамма багаж нь цооногийн диаметрийн өөрчлөлтөд маш мэдрэмтгий учраас цооногт нурулт үүсэж диаметр томорсон хэсэгт өндөр заадаг. Диаметр хэмжигч нь цооногийн хана нуран хөндий орон зай үүссэн ба өгөршилтэй хэсгийг тодорхойлоход чухал үүрэгтэй байдаг (Зураг 6).

4. Цооногийн цахилгаан эсэргүүцлийг хэмжих арга- Dual Resistivity Method ($\text{ohm}\cdot\text{m}$)

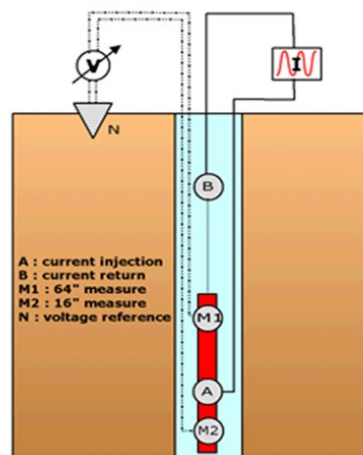
Энэ арга нь цооног дахь дотоод цахилгаан эсэргүүцлийг хэмжихэд зориулагдсан (Зураг 7). Эсэргүүцлийн утгууд нь өрөмдлөгийн цооног устай байх үед үнэн зөв мэдээллийг өгөх бөгөөд үүгээр нүүрсний хил заагийг давхар ялгах боломжтой байдаг. Мөн усны статик түвшинг тодорхойлно. Хайгуулын талбайд энэхүү аргыг бүрэн хийсэн бөгөөд ойр 4 электродот зонд ашигласан нь үр дүнгээ сайн өгч байсан юм. Нүүрсний үе дэх эсэргүүцлийн хэмжээ нэмэгдэхэд тухайн нүүрсэнд агуулагдах нүүрсний гол түүхий эд болох карбонатын хэмжээ эрс өсч нүүрсний чанар сайжирдаг. Энэ аргыг цогцолбор болгон ашигласнаар нүүрсний үеүдийг ялгахад илүү ахицтай болж байлаа. Талбайн нүүрсний үеийн цахилгаан эсэргүүцлийг тодорхойлохдоо багажийн хэмжилтийн муж 0-400 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ хооронд байхаар авсан ба босоо зүсэлтийн дагуух чулуулгийн дундаж эсэргүүцлийн хэмжээ 30-150 $\text{Ohm}\cdot\text{m}$ байсан. Энэ нь Монгол орны дундаж эсэргүүцлийн утгатай дүйж байгаа юм (П.Дугараа, 2012). Зарим тохиолдолд нүүрсний үе дээрх бутрал, цооногийн нурулт зэргээс хамааран нүүрсний үе ялгах чадвар буурч байсан юм.



Зураг 5. Гамма-гамма аргачлалын багажны тохиргоо хийж буй байдал



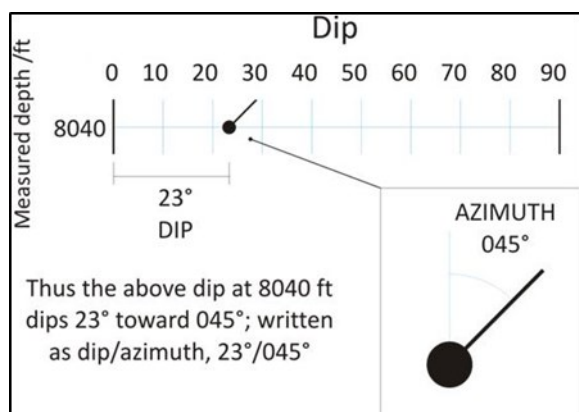
Зураг 6. Цооногийн нурулт хэмжилтийн бүдүүвч зураг



Зураг 7. Цооногийн цахилгаан эсэргүүцэл хэмжилтийн бүдүүвч зураг

5. Цооногийн хазайлт болон унал хэмжих арга- Verticality(degree) болон Dipmeter(cps)

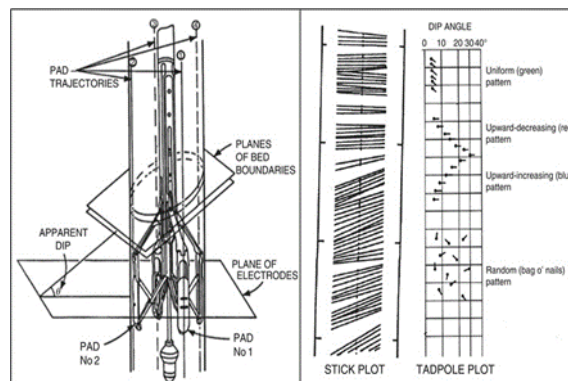
Энэ хоёр арга нь цооногт хосолсон байдлаар хэмжигддэг. Хазайлт хэмжих арга нь цооногийн ерөнхий зүг чиг аль зүгт хэдэн градусаар хазайж байна вэ гэдгийг тогтоох маш мэдрэг соронзон мэдрэгч бүхий системтэй байдаг. Хэмжиж авсан хазайлт болон азимутын утгуудаар цооногийн 3D загварчлалыг харуулж болдог. Чулуулгийн унал хэмжигч арга нь үндсэндээ хоёр хэсгээс бүрддэг. Доод калиперын буюу гарны хэсэг нь цооногийн хананд эсрэг унал хэмжигчийн падуудыг тогтоон барьж байхад зориулагдсан арга бөгөөд тэдгээр нь микро эсэргүүцлийн электродуудыг агуулж байдаг. Тус талбайд өрөмдсөн цооногууд нь бүгд -90 градусаар өрөмдөгдсөн. Иймээс цооногийн хазайлт нь харьцангуй бага байсан юм. Цооногийн хазайлт нь цооногийн гүнтэй шууд хамааралтай байдаг ба цооног эхлэхэд хазайлт байвал тэр чигтээ хайзалт нь ихсэх магадлалтай байдаг (Зураг 8,9,10).



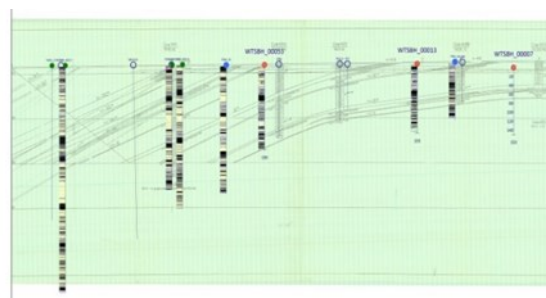
Зураг 8. 200м-220м-т 30°-аар 225°-азимутын өнцөгөөр унасан үе

6. Акустик каротаж буюу Sonic

Энэхүү арга нь багаж (Зураг 11) өөрөөсөө зохиомол авиа гарган тэрхүү авиа нь цооногийн хананд хүрч чулуулгуудтай харил-цан үйлчлэлцэж, буцан ойж багажид ирж бүртгэгдэх зарчмаар ажилладаг бөгөөд өрөмдлөгийн цооног усгүй болон яндан суулгасан үед буруу мэдээлэл өгөх буюу ажиллахгүй. Тус талбайд хийгдсэн Авиан

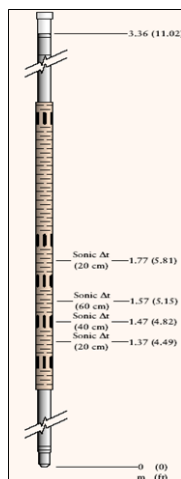


Зураг 9. Дипметр /Чулуулгийн унал хэмжих багажийн зарчим/



Зураг 10. Дипметр аргачлалын үр дүнгээр цооногийн холболт хийсэн байдал

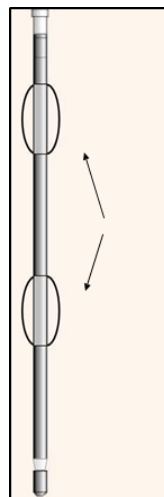
хэмжилт нь хамгийн сүүлийн үеийн тоноглол бүхий 3 хүлээн авагчид зонд бөгөөд энэ зонд нь тус 3 хүлээн авагчийн диаграммыг харьцуулан гаргадаг учир нарийвчлал өндөртэй байдаг. Түүнчлэн усны түвшинг нарийн тогтоодог бөгөөд энэхүү аргачлалын тусламжтайгаар манай талбайн усны статик түвшинг нарийн тогтоосон болно. Талбайн усны Статик түвшинг цооног тус бүрд тогтоосон бөгөөд 5м-40м-ийн хооронд хэлбэлзэж байсан (Зураг 11).



Зураг 11. Sonic багажны бүдүүвч зураг

7. Цооногийн зураглал /Acoustic televiewer/

Цооногийн төвд байрлах үүсгүүрээс өндөр давтамжтай дуу гаргах ба цооногийн хананы гадрагаас ойсон хэт авианы долгионы эрчим болон туулах хугацаан дээр үндэслэн цооногийн зураглалыг хийдэг. Хэт авиан долгион нь тусгайлан боловсруулсан пьезо-цахилгаан керамик болороор үүсгэгддэг ба ойролцоогоор 1.2 МГц-ийн давтамжтай. Пьезоцахилгаан хувиргагч нь хэт авианы импульсийн үүсгэгч болон ойсон долгионы хүлээн авагчийн үүргийг давхар гүйцэтгэдэг. Долгионы импульс үүсгүүрээс гарснаас хойш хамгийн өндөр далайцтай ойсон долгионы импульс хүлээн авагчид бүртгэгдэх хүртлэх хугацааг ашиглан хана хүртлэх зайг тодорхойлно. Долгионы эрчмийг децибел (ДБ) нэгжээр илэрхийлэгдэх ба үүсгүүрээс гарч буй долгион далайц болон хүлээн авч буй долгионы далайцын харьцаагаар тодорхойлогддог (Зураг 12).



Зураг 12. Акустик телевизер багажны бүдүүвч зураг

Хэмжилт хийсэн цооногуудын хувьд дараах мэдээллүүдийг гаргадаг.

- Цооногийн эвдрэл гэмтэл
- Ан цав
- Шилжилтийн судалгаа
- Нарийн үе давхрагын илрүүлэлт
- Үе давхрагын уналын өнцөг
- Цооногийн хазайлтын өнцөг, азимутын өнцөг
- Чулуулгийн бат бэх байдал RQD

ҮР ДҮН БА ДҮГНЭЛТ

Судалгааны талбайд нийт 198ш цооногт 50,000 тууш метр өрөмдсөн байсан эдгээр бүх цооногийн хэмжээнд цооногийн геофизикийн судалгаа бүрэн гүйцэд хийсэн.

Хайгуулын талбайд хийгдсэн Гамма хэмжилтийн тоон интервалыг 0-150 API нэгжийн утгаар хэмжсэн болно. Зарим нүүрсний үеүд дээр болон нүүрсний үеийн хил зааг дээр Гамма аномаль нь орчны утгаас өндөр илэрч байсан. Хайгуулын талбайн байгалийн дундаж Гамма утга нь 50-100 API байсан.

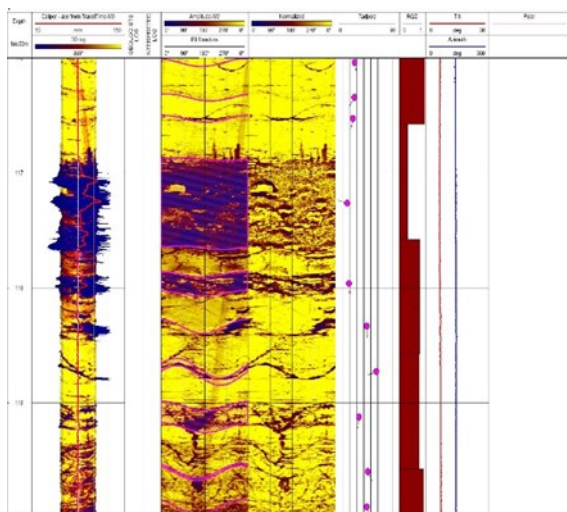
Газрын гадаргад ойр исэлдсэн, өгөршсөн нүүрсний үеүд дээр байгалийн гамма нь 150 API-аас өндөр утгатай байсан ба тухайн гажилд харгалзах нүүрсний үеийн шинж чанарын хувьд үнслэг агууламж өндөртэй, илчлэг чанар багатай байгаа нь лабораторийн шинжилгээгээр мөн батлагдсан болно.

Тус талбайн нүүрсний үеүд нь нягтаараа ялгарах чадвар сайн бөгөөд нүүрсний нягт нь $1.3-1.6 \text{ г/см}^3$ -ийн хооронд хэлбэлзэж байсан.

Нүүрсний үе дээр нуралт үүссэн үед энэ утга нь 1.1 г/см^3 хүртэл буурч байсан. Зарим нарийн ширхэгтэй элсэн чулуу, алевролитийн үе дээр $3-3.5 \text{ г/см}^3$ гэсэн өндөр утгаар ялгарч байсан.

Энэ нь цооног хоорондын зүсэлтийн зураг гаргаж буй геологичдын хувьд чухал мэдээлэл болж байв.

Акустик телевир болон Дипметр аргачлалын хувьд чулуулаг болон нүүрсний уналын өнцөг нь нарийн сайн ялгарч байсан ба эдгээр өгөгдлийн тоон утга болох *.LAS өргөтгөлтэй файлыг геологийн программд оруулж зүсэлт гаргахад чухал үүрэгтэй хэмжилт болсон (Зураг 13).



Зураг 13. Акустик телевизр аргачлалаар гаргасан цооногийн зураг.117-118 м-т хагаралын бүс ялгарсан.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгаанд зөвлөж тусалсан МУИС ШУС Геологи Геофизикийн тэнхимийн багш Ц.Баатарчулуун, хамтран ажилласан “Монкаротаж” ХХК-ийн геофизикийн инженерүүд болон “Эрдэнэ тавантолгой” ХХК-ийн геологич Б.Жавзандулам болон бусад геологич нарт талархал илэрхийлье.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

- Weatherford. (2021, 1 1). *Weatherford*. Retrieved from Weatherford: <https://www.weatherford.com/en/products-and-services/formation-evaluation/wireline-services/openhole-wireline/>
- П.Дугараа. (2007). *Геофизикийн аргын үндэс*, Улаанбаатар, МУИС Пресс.
- П.Дугараа. (2012), *Геофизикийн цогцолбор*

- арга, Улаанбаатар, Мөнхийн үсэг.
- Serra, O E. (1983) *Fundamentals of well-log interpretation. United States:*
- Hoffman, G L, Jordan, G R, and Wallis, G R. (1982), *Geophysical borehole logging handbook for coal exploration. Canada:*

THE RESULTS OF BOREHOLE MEASUREMENTS FOR THE EXPLORATION OF THE BOR TEEG AND TSANKHI SECTION

Abstract. In this paper, we've shown the geophysical borehole logging survey results to identify coal beds and create corresponding models for the exploration projects in Bor Teeg and Tsankhi areas .According to the borehole logging survey, the coal beds were well differentiated from the host rocks. Also, the structural information of the layers was estimated by acoustic televiewer measurements.

Key Words: *geophysical borehole logging, acoustic televiewer*

БАГА ГҮНИЙ ХАГАРЛЫГ ИЛРҮҮЛЭХ СЕЙСМИК СУДАЛГАА: 2-D ИНВЕРС БА МИГРАЦИЙН ХАРЬЦУУЛАЛТ

¹Г.Болдбаатар,²Э.Батмагнай,¹Э. Номин-Эрдэнэ,¹Ц.Батсайхан

¹Одон орон Геофизикийн хүрээлэн

²ETH Zurich

boldbaatar@iag.ac.mn

Хураангуй. Бид Дэрэнгийн хагарал дээр сейсмикийн судалгааг 2014 онд хийж гүйцэтгэсэн. Дэрэнгийн бүтэц нь газарзүйн байрлалын хувьд тал хээрийн буюу Говь-хангайн завсрын бүсэд оршино. Энэхүү сейсмик хайгуулын судалгаагаар Кирхгофийн миграци болон хугацааны нөхцөлт инверсийн аргаар хагарлын бүтцийг тодорхойлсон. Гаднын ямар нэгэн үйлчлэлээр деформацид орсон геологи орчин чулуулгийн болон бүтцийн хувьд тодорхой өөрчлөлт үзүүлнэ. Тэгвэл бид Кирхгофийн миграцийн үр дүнгээс геологийн үелсэн орчин нь хагарлын нөлөөгөөр өөрчлөгдөж хэв гажилд хэрхэн орсон байгааг харж чадах бол инверсийн аргаар орчны чулуулгийн шинж чанарыг буюу түүгээр тархах хурдны өөрчлөлтийг тодорхойлж дүн шинжилгээ хийх боломжтой болж байгаа юм.

Түлхүүр үг: *төгсгөлөг элемент, хэлхэхүй, хугацааны нөхцөлт инверс, Кирхгофийн миграци, хагарал, сейсмик*

1. УДИРТГАЛ

Монгол орон нь Евро-Азийн идэвхтэй шилжилт бүхий өргөгдсөн уулархаг бүсэд орших учраас газар хөдлөлийн идэвхтэй хагарал элбэг байдаг нутаг юм (Вано, 2021). Эдгээр хагарлуудын нэг бол Дундговь аймгийн Дэрэн болон Дэлгэрцогт сумыг дамнан оршдог Дэрэнгийн гэж нэрлэгдэх хагарал нь хоёр салбараас тогтож буй бөгөөд эхний хэсэг нь Дэрэн сумаас баруун тийш 12 км зайд баруун хойноос зүүн урагш чиглэлтэй 315 градусын азимутаар 27 км, хоёр дахь хэсэг нь Дэрэн сумаас зүүн урагшаа 6 км зайд зүүнээс баруун чиглэлд 50 градусын азимутаар 10 км сунаж тогтсон.

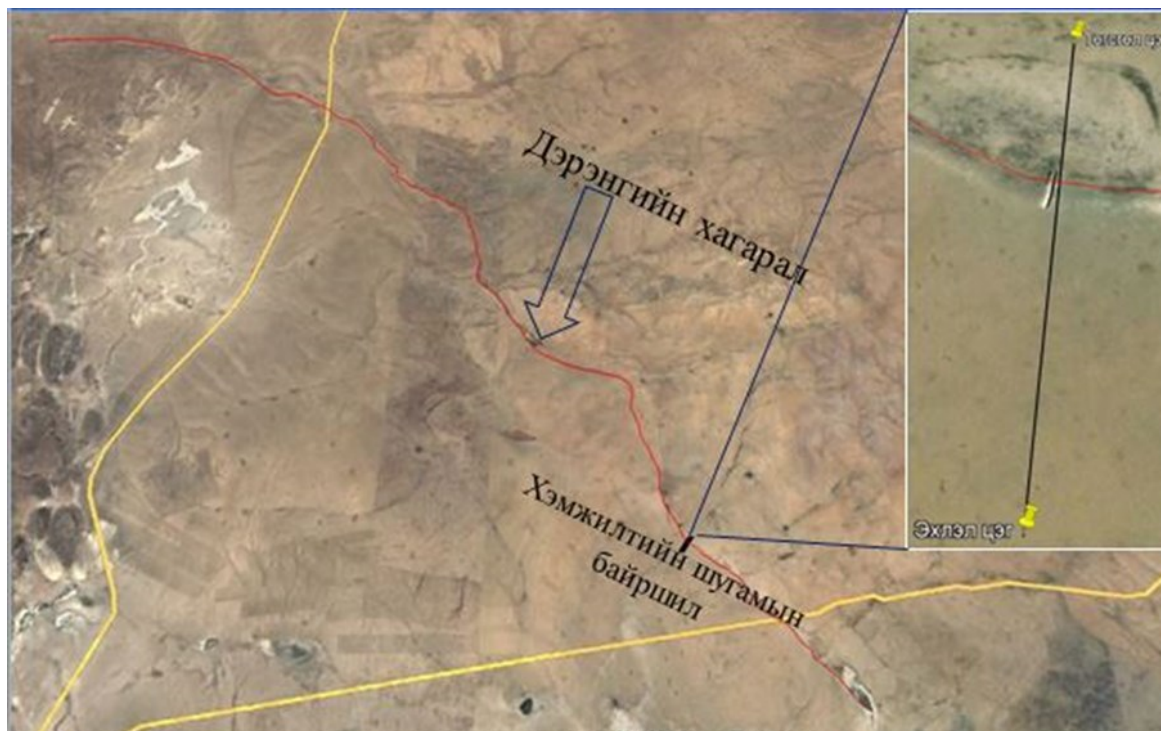
Тухайн бүсэд палеосейсмологи, голомтын механизм болон георадарын судалгаа хийгдэж байсан. Хагарлын морфологийн хувьд мөргөцөг нь нилээн урт хэмжээгээр газрын гадаргууд тод илэрсэн бөгөөд дунджаар 6 метр орчим өндөртэй, зүүн тийш налсан байдалтай байна. Улмаар палеосейсмо-геологийн судалгаагаар тохос хэлбэрийн хагарал гэдэг нь тогтоогдсон байдаг (Dugarmaa T,

2006). Чичирхийллийн арга нь хэмжилт болон мэдээлэл боловсруулалтаас хамааран хэд хэдэн аргад хуваагддаг (韩建光, 2013). Зохиомол үүсгүүрээс гарсан сейсмик долгионыг уян харимхайн орчноор шилжих физик үзэгдлээр тайлбарладаг. Сейсмикийн хугарсан долгионы өгөгдлөөр эхлэлийн хугацааг бүртгэж, хугацаа болон зайнаас хамаарсан годограф байгуулж инверсийн аргаар хурдны зүсэлт гарган авч тухайн үе давхаргуудаар тархсан сейсмик долгионы хурдыг тодорхойлж зүсэлт дээр үндэслэн тухайн орчны хөрсний мэдээллийг харж болно. Харин ойлсон долгионы өгөгдлөөр газрын гүний дотоод бүтцийн хил заагийг ялгах, хагарал, эвдрэл, шилжилтийн бүсийг тодорхойлох улмаар нүүрс, газрын тос гэх мэт геофизикийн томоохон хайгуулын ажилд өргөн ашигладаг. Энэхүү хагарлын орчимд урьд өмнө нь хийгдэж байсан сейсмикийн судалгааны материал хараахан байхгүй байгаа бөгөөд энэ удаагийн судалгаагаар зөвхөн хагарлын тухай мэдээллээс гадна орчинд тархах

сейсмик долгионы хурд, сэвсгэр хурдас болон суурь чулуулгийн гүний мэдээллийг сейсмикийн хурдны загвараас олж авах боломжтой болж байгаа юм.

Энэ судалгааны ажилд бид сейсмик загварчлал ба миграцийн аргыг харьцуулсан судалгаа хийж газар

хөдлөлтийн улмаас үүссэн хагарлын хувьд ямар өөрчлөлт үзүүлэх улмаар уг шинжид тулгуурлан цаашид хагарлыг илрүүлэх арга зүй хөгжүүлэхэд чиглэсэн нь судалгаа арга зүй ба практикийн хувьд ач холбогдолтой байдал нь судалгааны ажлын давуу тал болж байна.



Зураг 1. 1. Дэрэнгийн хагарлын болон хэмжилтийн цэгийн байршлын зураг

2. АРГА ЗҮЙ

2.1. Ойсон долгионы арга

Сейсмик ойсон долгионы арга бол Дэлхийн үе давхаргуудын тухай мэдээллийг тодорхойлох зорилго бүхий хайгуулын геофизикийн нэгэн арга юм. Уг аргын үндсэн зорилго бол хиймлээр Үүсгэсэн акустик долгионыг дэлхий рүү нэвтрүүлэх бөгөөд үе давхаргын нэгэн төрлийн бус шинж чанараас болж уг долгион нь ойж акустик импеданс хэлбэрээр энергийг буцаадаг. Эдгээр ойсон долгионы энерги нь сейсмик мэдрэгчид (хүлээн авагчид) бүртгэгдэх ба бүртгэгдсэн өгөгдлөөр үе давхаргуудыг зурагладаг.

2.2. Төгсгөлөг элементийн арга

Тухайн уламжлалт дифференциал тэгшитгэл $u(r)$ нь тэгээс ялгаатай f Пуассон хэлбэрийн тэгшитгэлийг $r \in \Omega$ мужид загварчилахаар авч үзье,

$$-\Delta u = f \quad \in \Omega \quad (2.1)$$

$$u = g \quad \text{т} \quad \partial \Omega \quad (2.2)$$

Энд Лапласын оператор $\Delta = \nabla \cdot \nabla$ болох градиентийн дивергенц нь $u(r)$ орны тухайн уламжлалт дифференциал

тэгшитгэлүүдийн нийлбэр юм. Тэгш
өнцөгт координатын системд $\mathbf{r} = (x)$
нөхцөлд 1-D, $\mathbf{r} = (x, y)$ нөхцөлд 2-D,
 $\mathbf{r} = (x, y, z)$ нөхцөлд 3-D байна. Орчны
захын нөхцөл дээр $\frac{\partial \Omega}{\partial t}$ бид $\mathbf{u} = \mathbf{g}$ -ийн
шийдийг олох нь бодлогын зорилго юм.
Энэ төрлийн бодлогын шийдийг олох
үндсэн дөхөлт бол $\Delta u_h + f = R$, энд
 $u_h \approx u$ байна. Иймээс загварын огторгуйд
 R

функцийг минимумчлах бодлогод
шилжинэ (Nagel, 2012).

$$\int_{\Omega} R \omega = 0 \quad (2.3)$$

энэ нь

$$\int_{\Omega} \Delta u_h \omega \int_{\Omega} f \omega, \quad (2.4)$$

байх нөхцөлийг интеграл тэгшитгэлийн
шийд нь

$$u_h = \sum_i u_i N_i \quad (2.5)$$

болно. Төгсгөлөг элементийн арга нь u_h
тасралтгүй шийдийн дискрет утгыг
огторгуйг хэлхсэн тор бүрд олгох явдал
юм. Төгсгөлөг элементийн аргад өргөн
ашиглах нэгэн төрлийн элементийн арга
бол Галеркийн арга юм. Бид энд функц
 $\omega = N_i$ гэж үзэх тул

$$\int_{\Omega} \sum_i u_{ii} \nabla N_j = \int_{\Omega} f_i N_i + \int_{\partial \Omega} h N_j = \frac{\partial u}{\partial n} \quad (2.6)$$

Дээрх хэлбэрийн тэгшитгэл нь $h = 0$ үед
дараах хэлбэрээр бичигдэнэ.

$$A u = b \quad (2.7)$$

уг шугаман тэгшитгэлийн шийд нь $u = u_i$

-ийн дискрет гаргалгаа болно.

Харин инверсийн бодлого нь муу
тавилттай, шугаман бус хэлбэртэй байх тул
үүнийг шийдэх үндсэн арга оршдоггүй.
Энэ ажилд инверсийн бодлогын шийд нь
хосмог градиентийн аргад суурилсан
алгоритмд суурилсан. Судалгааны ажилд
бид python-д суурилсан Pygimli
геофизикийн кодыг ашигласан. Уг код нь
ажигласан долгион тархах хугацаагаар
орчны хурдны загварыг тодорхойлох
төдийгүй төгсгөлөг элементэд суурилсан
шууд бодлогын операторыг агуулдаг.

2.3. Кирхгофийн миграцийн арга

Сейсмик миграцийн аргаар багажид
бүртгэгдсэн долгионуудын газрын үе
давхаргаар тархах проекцыг дүрсэлдэг
(Gray, 1999). Миграцийн хэд хэдэн төрлийн
арга байх ба ерөнхийдөө стакийн дараах
миграци (/Post-stack migration) ба стакийн
өмнөх миграци (Pre-stack migration) гэж
хоёр ангилна. Кирхгофын миграци нь
стакийн өмнөх миграцид хамаарах ба
долгионы тэгшитгэлийг өөр өөр төрлийн
мужид шийдэж болох бөгөөд хугацааны
мужид Кирхгофын интегралаар бодож
болох юм (Gazdag, 1984). 2-D Долгионы
тэгшитгэлийг Кирхгофын интеграл
хэлбэрээр бичвэл:

$$P(x, y, z, \tau) = \frac{1}{4\pi} \int_A \left(\frac{1}{r} \left[\frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\cos \theta}{r^2} + \frac{\cos \theta}{ur} \left[\frac{\partial P}{\partial \tau} \right] \right] \right) \quad (2.8)$$

Энд $\tau = t - r/v$ ба тэгшигэл нь орчноор
тархах сейсмик долгионы градиент
өөрчлөлт ба түүний замхралтыг илэрхийлж
байна.

3. СЕЙСМИК ӨГӨГДӨЛ

Хээрийн судалгааг 2014 онд
Дэрэнгийн хагарлыг хөндлөн огтолж
баруун хойноос зүүн тийш чиглэсэн 321 м
урттай нэг профилийн хэмжилт хийсэн.

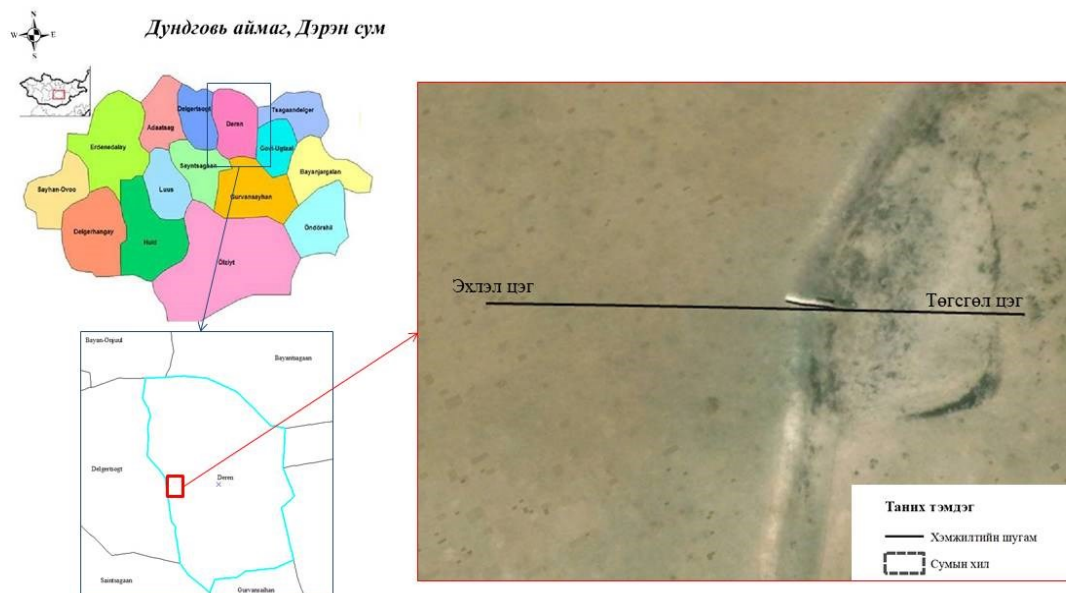
Бид хэмжилтийг 4.5 гц давтамжтай 48
сувагтай Summit II Compact багажаар 6
удаа 12 ширхэг хүлээн авагчаар шилжилт

хийж дан-цохилтын /Single shot/ аргад тулгуурлан хэмжсэн бөгөөд хүлээн авагч хоорондын зай 3м, үүсгүүр хоорондын зай 30м байхаар хэмжилтийн дизайныг тохируулсан (Зураг 3.2).

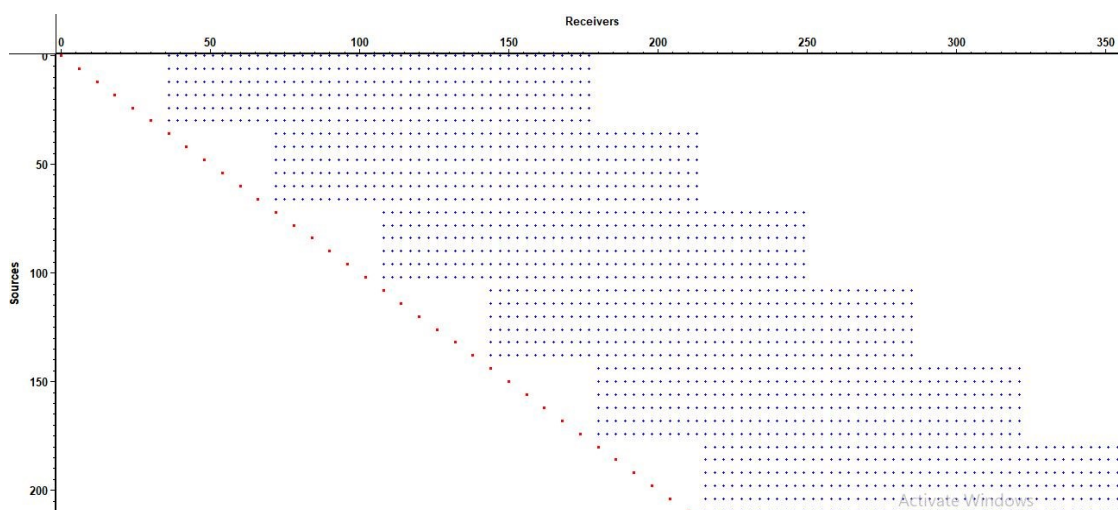
Нэг цохилтын дараагаар сейсмограмд бүртгэгдэх сигналууд нь бүгд нэг үүсгүүрт харгалзах тул бидний хэмжилтийн арга нь нийтлэг гүний цэгт хамаарна (Nanafy, 2012). Үе давхаргын тодорхой нэг цэгийн мэдээллийг нэгээс олон удаа өөр өөр байрлалаас бүртгэн авахын тулд олон удаагийн цохилт, олон тооны хүлээн авагчийг ашигладаг. Үр дүнд нь

сейсмограм дээрх тухайн цэгээс үүссэн бүх долгионы ойлтыг тодорхойлж чадна.

Нэг цэгт бүртгэгдсэн олон сигналуудыг нэгтгэн анализ хийснээр сигнал ба шумын харьцааг сайжруулах юм. Бидний ашигласан хүлээн авагч нь нам давтамжтай (4.5Гц) учраас орчны шуугиан нь өгөгдлийн чанарт илүү нөлөөлөх боломжтой. Гэсэн хэдий ч бид хэмжилт хийх явцдаа хүлээн авагчийг газарт булж хэмжилтийг хийсэн. Өгөгдлийн чанарын хувьд тийм ч сайн байгаагүй ч бодолт болон үр дүнгийн зурагт нөлөөлөх хэмжээнд байгаагүй гэж үзэж байна.



Зураг 3. 1. Хэмжилтийн шугамын байршил



Зураг 3. 2. Сейсмик шугамын хэмжилтийн дизайн

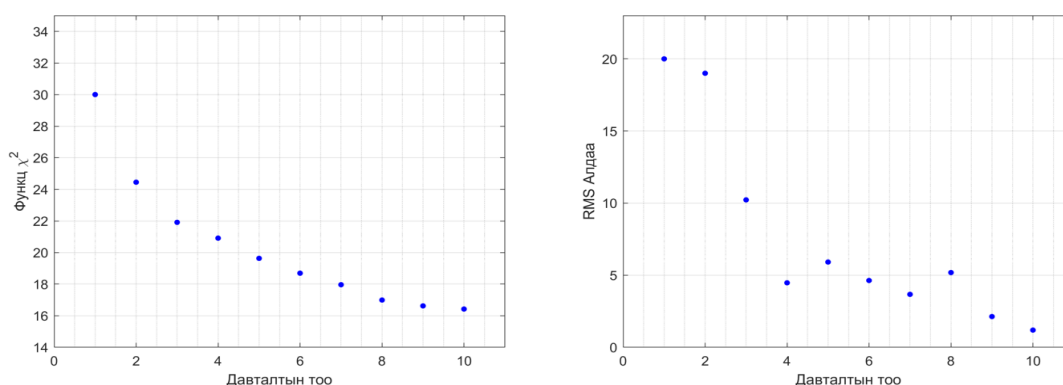
4. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Дэрэнгийн хагарал дээр хийсэн сейсмик шугамын хэмжилтэд бид хугацааны-нөхцөлт инверс ба крихгофийн миграцийн арга ашиглан сейсмик долгионы хугацаа тархалтын шинж чанар ба орчныг загварчилсан. Дэрэнгийн хагарлын мөргөцгийн өндөршилтэй холбогдох орон зайн засвар хийхийн тулд бид хэмжилтийн шугамын дагуух орчныг зөв-структурын бус (unstructured) төгсгөлөг элементийн аргаар хэлхэж 2-D инверс хийсэн (Зураг 4.1).

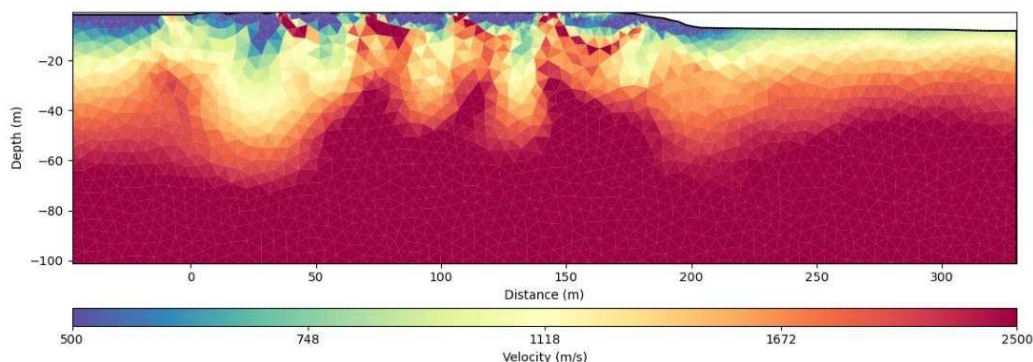
2-D сейсмик инверсийн бодлогоор бид орчны хурдны загварыг тодорхойлохын тулд 1) бид тооцооллын огторгуй хэлхэхүйн нарийвчлалыг хянахын тулд тоон загварын анализ хийсэн. Энд А (50 м ' 300 м, загварын дискрет нь 30 м), Б (200 м ' 300 м,

загварын дискрет нь 50 м) ба С (100 м ' 300 м, загварын дискрет нь 25 м) гэсэн загваруудад тооцоолол хийсэн. Эдгээрийн шууд бодолтын алдаа нь 20, 6, 3 хувийн алдаа үзүүлсэн тул бид инверсд С - төрлийн хэлхэхүйг сонгон ашигласан. Энэ төгсгөлөг элементийн хэлхэхүйг бид зөв структурын бус элементээр 3 удаагийн сайжруулалттай үүсгэсэн бөгөөд нийт 2304 тор үүсгэсэн ба орчны өндөршлийг оруулж өгсөн. бид [500-5000 м/с] бүхий хурдны утгыг градиентчилах замаар хэлхэхүйн нүд бүрийг параметрчилсний эцэст анхны загварыг бүрэн тодорхойлсон (Rücker, 2017).

Сейсмик хурдны загвар нь нийт 10 итерацийн дараа объектив функцийн утга 16.4 байхад алдааны утга 1.19-д хүрч (Зураг 4.2) хамгийн-сайн-тохирсон загвар тодорхойлогдсон. Дэрэнгийн хагарлын 2-D



Зураг 4.1. Инверсийн процессийн төлөв



Зураг 4.2. Инверсийн процессийн төлөв.

сейсмик хурдны загвар нь өнгөн хөрсний буюу 0-100 м гүний тогтцыг үзүүлсэн ба энд > 2000 м/с хурдны орчин загварын доод хэсэгт (40-100 м) давамгайлж буй бөгөөд эхний 40 метрт 500-1500 м/с хурдтай орчны хөндлөн ба босоо чиглэлийн дагуу өөрчлөгдсөн байдлаар тодорхойлогдсон байна. Мөн энэ ажлын хүрээнд бид долгионы деконволюцын аргад суурилсан Крихгофын миграцийн зураглалын үр дүнг харуулсан (Зураг 4.3).

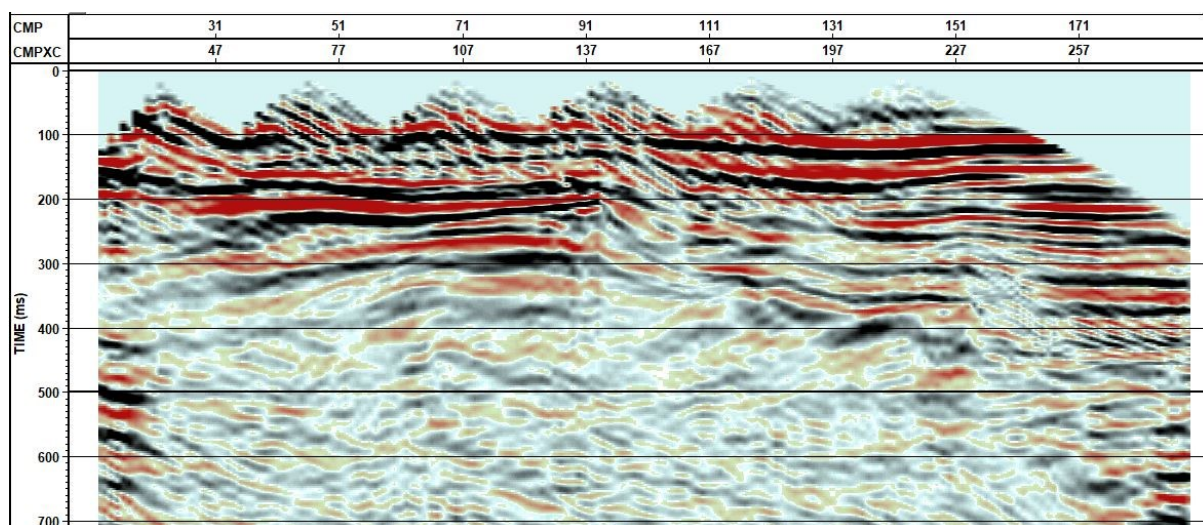
Өгөгдөл бэлдэж боловсруулалтын үндсэн шатанд оруулсны дараа үндсэн дөрвөн алхмыг хийснээр гарч ирдэг. Миграцийг үнэн зөв, илүү нарийвчлалтай гарган авахад нөлөөлдөг параметр бол хурдны утга байдаг. Харин хурдны утга нь динамик засварын үр дүнгээс хамаарна. Тэгвэл бид шугамын дагуух үүсгүүр бүрээс хүлээн авагчуудад бүртгэгдсэн бүх сигналуудыг ерөнхий дундаж цэгийн аргаар сорт хийж үүсгүүрээс гарсан долгионы зайнаас хамаарсан хугацааны хоцрогдлыг динамик засвараар арилгаж, гүний хил зааг бүр дээр ойсон долгионы хурдыг бүртгэж ойролцоох ерөнхий дундаж цэгүүдээр стак хийснээр миграци хийх өгөгдөл бэлэн болох ба ийнхүү доорх миграцийн зураглалыг гарган авсан.

Сейсмик хурдны загвараас үзэхэд судалгааны талбайг ба хурдны орчнуудаас бүрдсэн гэж ойлгож болох хэдий ч

геологийн экзоген процесс ба газар хөдлөлттэй холбон тайлбарлаж болох ба орчин ажиглагдаж байна (Зураг 4.4).

Мөн v_1 орчны хурдны утгыг авч үзэхэд тундасжилтаар үүссэн байх магадлалтай тунамал чулуулгийн төрөлд ангилагдах шохойн буюу элсэн чулуутай эсвэл занартай холбогдож болох бол орчин нь сэвсгэр хурдастай болон өнгөн хөрстэй холбон ойлгож болно. Харин хурдны орчин нь маш бага нягт бүхий сэвсгэр хурдасны өнгөн хэсэг байх боломжтой төдийгүй орчин нь хагарал үүсэх явцад бий болсон эвдрэлийн бүсийг илэрхийлж байна. Миграцийн зураглалаас үзэхэд бид сейсмик долгионы тархалтын хувьд гажил үүсгэж буй 2 өөр орчныг ажиглаж чадаж байна. Шугамын эхний цэгээс харьцангуй тогтвортой тархаж байсан сейсмик долгион Y_1 орчинд сейсмик долгион хугарч байгаа нь тухайн хэсэгт тогтцын өөрчлөлт буюу сейсмик хурдны аномаль орчин буйг илэрхийлж байна.

Харин долгионы энергийн алдагдлын хувьд авч үзэхэд сэвсгэр хурдас буюу нягт багатай орчинд өндөр байгааг бид Зураг 4.1 -т үзүүлсэн хурдны загварын шугамын 0 - 50 м дүрслэгдсэн бага хурдны гажил орчныг Зураг 4.2-тай харьцуулан тодорхойлж болно. Долгионы энерги Y_1 орчноор нэвтрэн хугаран гарсан долгион Y_2 орчноор тархахад энергийн алдагдал



Зураг 4.3. Крихгофийн миграци

бага байгаа төдийгүй хугарлын өнцөг ижил буй нь нь эдгээр орчнуудын хувьд ижил материалтай боловч өөр нягттайг болохыг нотолж байна.

Сейсмик долгионы миграци дээр ажиглагдаж буй Y1 орчин нь Дэрэнгийн хагарлын чулуулгийн эвдрэл өөрчлөлттэй холбогдох ба Y2 орчин нь хүчтэй эвдрэлийн буюу хагарлын өндөршлийн өөрчлөлтийн бүсэд үүссэн байна. Иймээс миграцийн арга нь газар хөдлөлтөөс үүссэн хагарлыг танихад ашиглаж болох тохиромжтой аргуудын нэг болох нь үзүүлэгдэж байна.

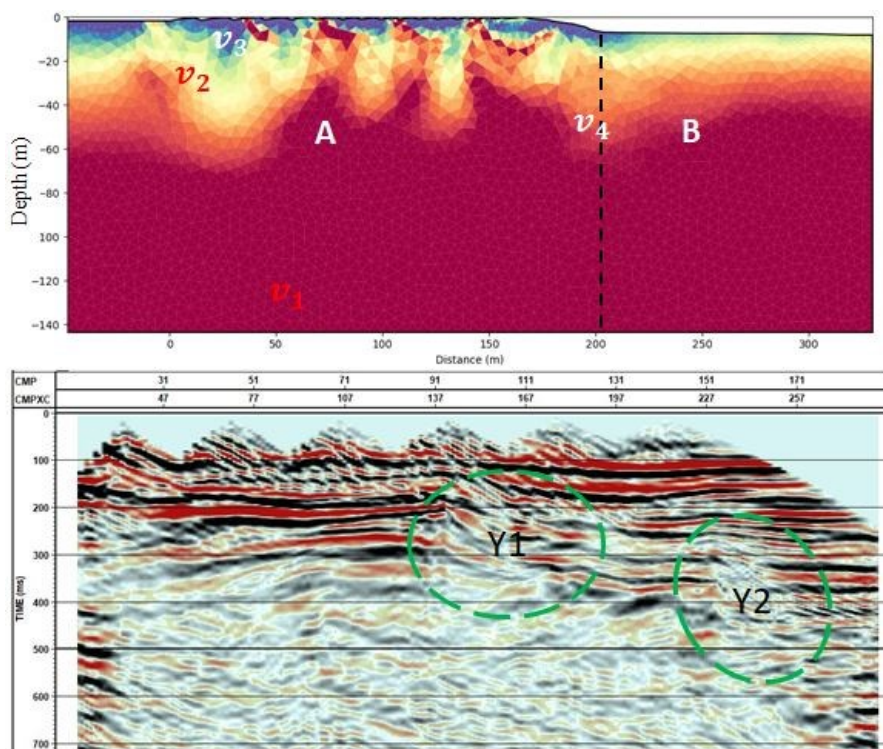
Энэ ажлын өөр нэгэн давуу тал бол бид 2-D загварчлалыг зөв структурын бус төгсгөлөг ялгаврын аргаар хийсэн нь орчны зөв бус геометр дүрслэлийг бүрэн тодорхойлох боломжийг олгож чадсан.

Зураг 4.4-т үзүүлсэн хурдны орчин нь бидний судалгааны талбайн хувьд хагарлыг таних үндсэн хэмжүүр бөгөөд тухайн загварын гүнийг утлан оршиж буй уг чулуулаг нь газар хөдлөлтийн улмаас дээш өргөгдөж тогтсон байгаа нь уг хагарал нь тохош хагарал болохыг баталж буй бөгөөд загвараас үзэхэд гадарга хүртэл

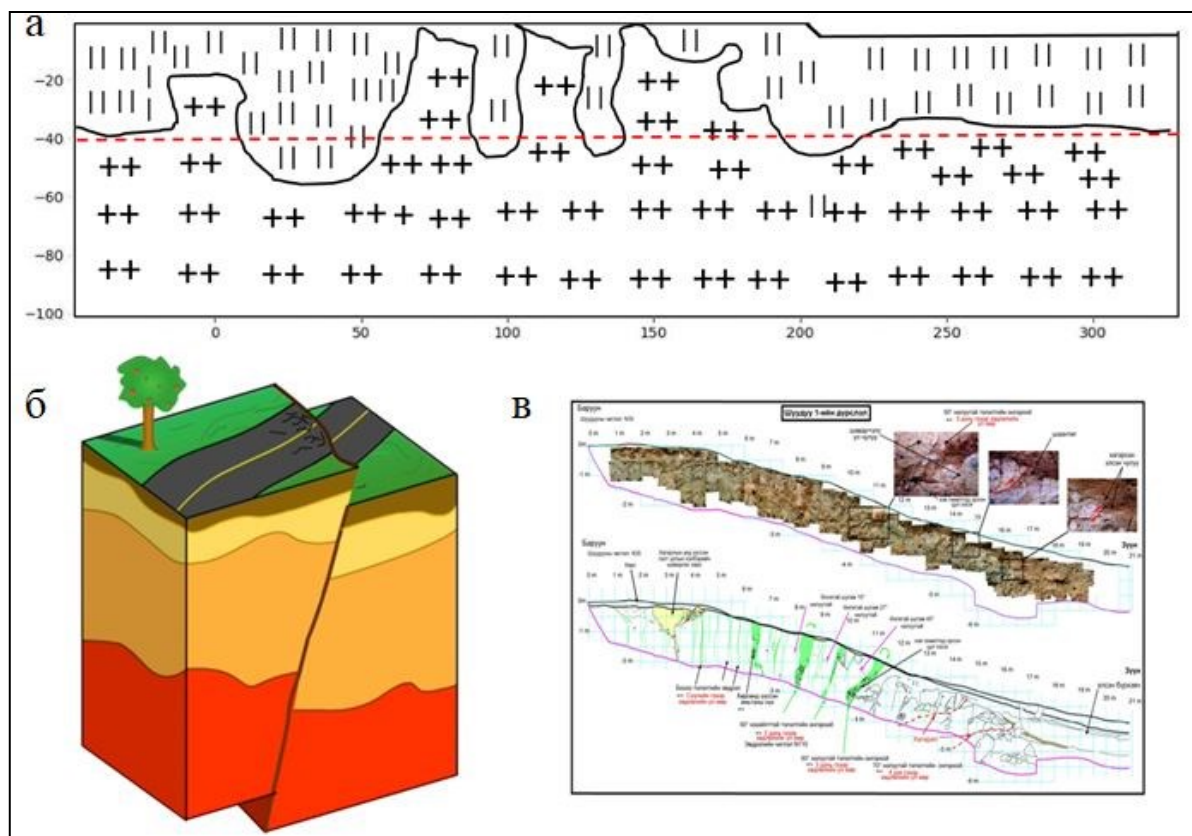
өргөгдсөн чулуулаг нь хурдсаар хоорондоо дүүргэгдсэн 3 салаа мөргөцөг хэлбэртэй тогтсон байгааг нотолж болно. Энэ нь урьд хийгдсэн геологи ба палеосейсмологийн судалгаатай нийцэж байна.

Бидний тодорхойлсон 2-D загвараас тодорхойлж чадах өөр нэгэн геологийн ойлголт бол сэвсгэр хурдасны зузаан юм. Палеосейсмологийн судалгаагаар уг хагарал нь тохош хагарал болох нь батлагдсан тул бид Зураг 4.4-т бид орчныг А ба В гэсэн 2 хэсэгт хувааж үзсэн. Ингэснээр бид шилжиж буй блок А ба тогтвортой блок В гэж үзэх бөгөөд А блокийн хувьд өргөгдсөн чулуулгийн топологийг ойлгож чадах бол В хэсгийн ерөнхий хурдны загвараар бид сэвсгэр хурдаст давхаргын дундаж гүнийг тодорхойлж чадаж байна.

Зураг 4.5 (а) орчныг хурдны хувьд (++) ба (||) болгож 2 ангилсан ба (++) орчны топологийг үзүүлсэн. Энэ нь сэвсгэр хурдас ба тунамал чулуулгийг (элсэн чулуулаг) заагладаг гэвэл бид сэвсгэр хурдасны зузаан нь тухайн орчинд [0-60 м] дунджаар 40 метр болохыг тодорхойлж чадсан (Зураг 4.5в).



Зураг 4.4. Хурдны загвар ба миграцийн харьцуулалт



Зураг 4.5. Хурдны загварын тайлал

5. ДҮГНЭЛТ

Дэрэнгийн хагарал дээр 2014 онд хийсэн сейсмик хэмжилтийн өгөгдлийг ашиглан бага гүний хагарлын сейсмик загвар ба миграцид дүрслэгдэх байдлын талаар харьцуулсан судалгаа хийсэн. Миграцийн зураглалд хагарал нь долгионы хугарлаар тодорхой харагдаж буй бөгөөд

тухайн орчны чулуулгийн талаарх мэдээллийг илэрхийлж болно гэсэн дүгнэлтэд хүрч байна. Харин 2-D сейсмик загварын хувьд тухайн хагарлын геометр шинж чанарын талаар илүү дэлгэрэнгүй тайлбар өгөх боломжтой гэж дүгнэж байна.

НОМ ЗҮЙ

- Bano, M. N. (2021). Ground-Penetrating Radar Imaging of Near-Surface Deformation along the Songino Active Fault in the Vicinity of Ulaanbaatar, Mongolia. *Applied Sciences*, 8242, 11(17).
- Dugarmaa T, S. A. (2006). *Seismic hazard assessment of Ulaanbaatar, capital of Mongolia*. Ulaanbaatar: Research center of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Science.

- Gazdag, J. &. (1984). Migration of seismic data. *Proceedings of the IEEE*, 72(10), 1302-1315.
- Gray, S. H. (1999). Speed and accuracy of seismic migration methods. *foothills seismic data: Can. Soc. Expl. Geophys*, 47-83.
- Hanafy, S. M. (2012). Detection of subsurface faults with seismic and magnetic methods. *Arabian Journal of Geosciences* 5 (5), 1163-1172.

Nagel, J. R. (2012). Introduction to the finite element method.

Rücker, C. G. (2017). An open-source library for modelling and inversion in geophysics. *Computers & Geosciences*, 109, 106-123.

韩建光, 王. 芦. (2013). 弹性波 Kirchhoff 叠前深度偏移速度分析. *石油地球物理勘探*, 48 (5), 694-699.

AN ACTIVE SEISMIC INVESTIGATION IN SHALLOW DEPTH FAULTS: CONPARISON OF THE 2-D INVERSION AND MIGRATION

Abstract. We conducted an active seismic survey at Deren fault in Mongolia in 2014. The structure of the Deren fault is geographically located in the steppe and Gobi-Khangai intermediate zone. In this research, we focused on to determine structure of the present seismic fault by using Kirchhoff's migration and 2-D time-term inversion methods. Theoretically, a geological medium and its rock composition is changed by any external processes such as an earthquake. In the result, migration gives us information about a near surface geological stratum is cracked and 2-D seismic velocity model estimated by inversion technique represents the non-uniform rock formations within elastic field.

Key Words: *Finite element, Grid, time-term inversion, Kirchhoff's migration, fault, Seismic*

2012 ОНЫ БАЯНБУЛАГИЙН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН ГОЛОМТЫН ГҮНИЙГ “sPg” ДОЛГИОН АШИГЛАН ТООЦООЛОХ НЬ

Л.Дагзинмаа¹, Тацухико Хара², Буничиро Шибасаки²,
Тошиаки Еокой², Хидео Фукуй³

¹ШУА-ООГХ-Газар хөдлөлийн судлалын салбар,

²Building Research Institute,

³National Graduate Institute for Policy Studies

dagzima@iag.ac.mn

Хураангуй. sPg долгион нь газар хөдлөлтийн голомтын гүнийг тодорхойлох “Бүс нутгийн шинж чанартай гүний фазуудын загварчлал” техникт ашиглагддаг гүний фазуудын нэг юм. Бид энэ судалгааны ажлаар Монгол орны газар хөдлөлүүдийн хувьд боломжит sPg фазуудыг судалж үзсэн. Уг фаз хайлтын ажлын үр дүнд Төв Монголд суурилуулсан газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн станцад бичигдсэн 2012 оны Баянбулагийн газар хөдлөлт дээр анализ хийхээр болсон. Дээрх хөдлөлийн бичлэгт үндсэн Pg долгионы бичлэгийн араас sPg фаз байж болзошгүй Р долгионы багц ажиглагдаж байсан нь энэхүү хөдлөлтийг сонгон энэхүү судалгааны ажлыг хийх үндэслэл болсон. Pg болон эдгээр үл мэдэгдэх Р долгионууд хоорондын бүртгэгдсэн хугацааны ялгавар 55 км-ээс 70 км –ийн зайд харьцангуй тогтмол байсан бөгөөд бид эдгээр ажиглагдсан фазуудыг sPg фаз хэмээн үзэж байна. Бид Өмнөд-Төв Монголын нэг хэмжээст хурдны загварыг ашиглан долгионы хугарлын онол дээр суурилан синтетик сейсмограммуудыг үүсгэж түүн дээрх sPg болон Pg долгионыхоо бүртгэгдсэн хугацааны ялгаврыг хэмжсэн болно. Онолын хувьд тооцоолон гаргасан болон бодит хөдлөлтийн ажиглагдсан бичлэг дээрх фазуудын бүртгэгдсэн хугацааны ялгавруудыг хооронд нь харьцуулан үзэхэд 55 км-ээс 70 км-ийн эпицентрийн зайд харьцангуй тогтмол байсан. Энэхүү зайд харгалзах тогтмол утгууд дээр тулгуурлан сонгон авсан Баянбулагийн газар хөдлөлтийн хувьд голомтын гүнийг нарийвчлахад ойролцоогоор ~10 км-ийн орчимд гэж тооцоологдсон. Энэ нь тодорхой төвийн зайн хүрээнд (55 км-ээс 70 км -ийн хооронд) синтетик сейсмограммуудыг дээр тулгуурлан sPg-Pg хосмогийн ялгаврыг ашиглан голомтын гүнийг нарийвчлан тогтоох боломжтойг харуулж байгаа юм.

Түлхүүр үгс: Газар хөдлөлтийн голомтын гүн, Бүс нутгийн шинж чанарт гүний фаз, sPg, Баянбулагийн газар хөдлөлт, Синтетик сейсмограм (Онолын хувьд тооцоолон үүсгэсэн долгионы бичлэг)

УДИРТГАЛ

Газар хөдлөлтийн голомтын гүн нь газар хөдлөлийн мониторинг болон тухайн бүс нутгийн газар хөдлөлийн зүй тогтлын судалгаанд хэрэглэгдэх чухал параметруудийн нэг юм. Газар хөдлөлтийн голомтын гүнийг нарийвчлан тодорхойлох нь цаашлаад газар хөдлөлийн аюулгүйн үнэлгээний судалгаа, сейсмогеник үеийг тогтоох судалгаа зэрэг олон төрлийн суурь судалгаанд чухал ач холбогдолтой болно.

Монгол орны хувьд энэ төрлийн судалгааг урьд өмнө явуулж байсан бөгөөд ялангуяа газар хөдлөлийн идэвхтэй бүсүүдэд үүссэн зарим нэг хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн хувьд голомтын гүнийг нь нарийвчлан тодорхойлж байсан. (Huang and Chen, 1986; Schlupp and Cisternas, 2007).

Монгол оронд ажиллаж буй газар хөдлөлт бүртгэх сүлжээ станцуудад бүртгэгдэж буй бүх газар хөдлөлийн

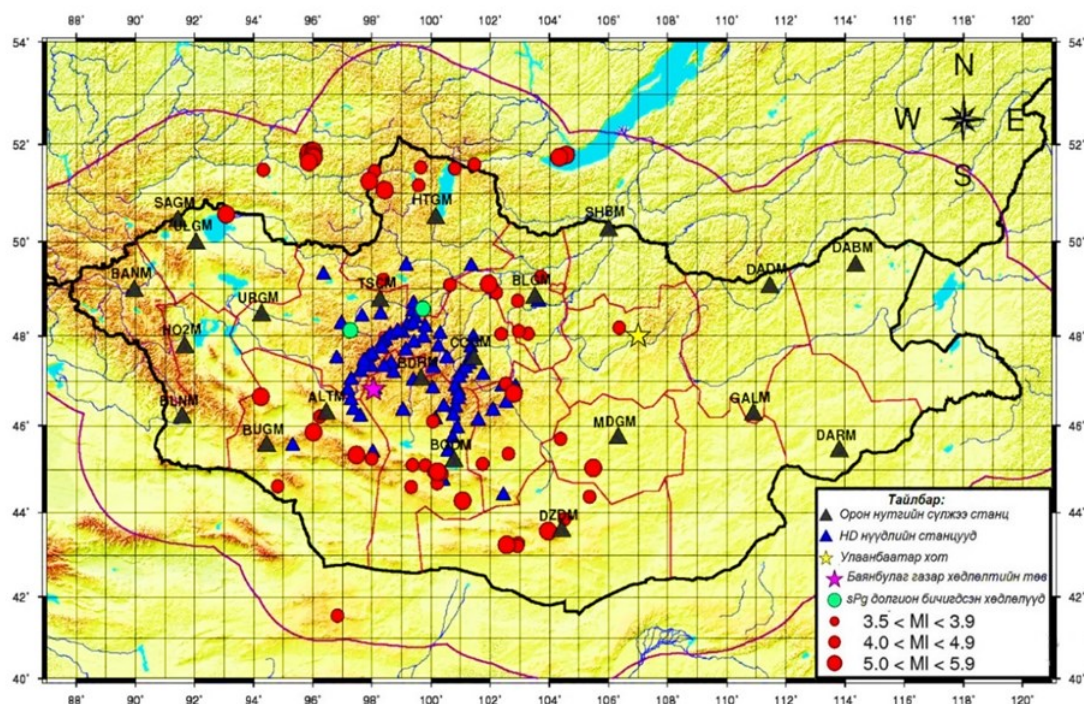
мэдээллийг ООГХ-Үндэсний Мэдээллийн Төв дээр хийгдэх өдөр тутмын мэдээлэл боловсруулалтын ажлын хүрээнд тухайн хөдлөл тус бүрийн хувьд газар хөдлөлт эхлэсэн хугацаа (T_0), газар хөдлөлийн төвийн газар зүйн байршил (Уртраг, Өргөрөг), хүч (Магнитуд) болон гүнийг (h , км) тодорхойлон гаргадаг. Энэхүү өдөр тутмын мэдээлэл боловсруулалтаар ихэнх хөдлөлүүдийн голомтын гүнийг нарийн тодорхойлох боломж хязгаарлагдмал байгаа нь газар хөдлөлийн голомтын гүний мэдээллийг дахин нарийвчлан бодуулах судалгааны үндэслэл болсон. Цаашид хийгдэх нарийвчилсан сейсмологийн судалгаануудын хувьд, газар хөдлөлийн гүнийг нарийвчлан тогтоох нь маш сонирхолтой чухал асуудлуудын нэг юм.

Энэхүү судалгааны ажлын үндсэн зорилго нь газар хөдлөлтийн голомтын гүнийг тодорхойлоход ашигладаг бүс нутгийн шинжтэй гүний фазуудын нэг болох sPg фазыг Монгол орны газар хөдлөлүүдийн хувьд бичигдсэн байгаа эсэхийг мөрдөн судалж улмаар энэхүү фаз ажиглагдах боломжит хөдлөлтүүд дээр “Бүс нутгийн шинж чанарт гүний

фазуудын загварчлал” (RDPM; Ma et al., 2003; Ma and Atkinson, 2006; Ma, 2010) аргыг ашиглан голомтын гүнийг нарийвчлах судалгааг өргөжүүлэх явдал юм. Үүнээс гадна RDPM техник нь магнитуд (m_N) 2.8 болон түүнээс сул хүчтэй жижиг хөдлөлтүүдийн хувьд ч ашиглагдах боломжтой байдаг (Ma and Atkinson, 2006 and Ma, 2010) нь манай орны газар хөдлөлийн идэвхжилтийн ерөнхий шинж чанартай илүү сайн уялдаж, харьцангуй олон хөдлөлүүд дээр энэхүү техникийг нэвтрүүлэх боломжтой гэж үзсэн.

Судалгаанд ашигласан мэдээлэл

Бид Хангайн нуруу орчмын нутаг дэвсгэрт суурилуулсан Төв Монголд суурилуулсан газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн станцад бичигдсэн (Meltzer et al., 2012) газар хөдлөлийн мэдээллийг авч ашигласан. Энэхүү нүүдлийн 72 станцыг 2012 оны 6-р сараас 2014 оны 4-р сар хүртэлх 2 жилийн хугацаанд Хангайн өргөдлийн бүсэд суурилуулсан байдаг. (Зураг 1-т хөх гурвалжин-аар тэмдэглэсэн байна).



Зураг 1. Төв Монголд суурилуулсан газар хөдлөл бүртгэх нүүдлийн сүлжээ станцын тархалт (Hangay Dome-HD) (Meltzer et al., 2012).

Эдгээр нүүдлийн сүлжээ станцуудыг 500 х 600 км харьцаатай талбайд тархаан суурилуулсан бөгөөд станцын кодын тэмдэглээ нь Hangay Dome –нэрийн товчлол “HD” гэж нэрлэгдсэн байдаг. Энэхүү сүлжээ станцад бүртгэгдсэн хөдлөлүүдийн бичлэг нь IRIS (Олон улсын Сейсмологийн Судалгааны албан ёсны

Институт)-ын мэдээллийн төвд хадгалагдсан байдаг бөгөөд сүлжээ станцын код нь XL-2012-2016 (Meltzer et al., 2012) гэсэн байдаг. Энэхүү судалгааны ажлаар бид 2012 оны 10-р сарын 3-нд болсон. Баянбулагийн газар хөдлөлт дээр анализ хийсэн болно.

СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Бүс нутгийн гүний фазын загварчлал

“Бүс нутгийн шинж чанарт гүний фазуудын загварчлал” (RDPM; Ma et al., 2003; Ma and Atkinson, 2006; Ma, 2010) техник нь бүс нутгийн шинж чанартай гүний фазууд болон тэдгээрийн харгалзах референс (жишиг) фазуудын бүртгэгдсэн хугацааны ялгаврыг ашиглан газар хөдлөлтийн гүнийг тодорхойлдог арга юм. Ма Шутяны 2010 онд хэвлүүлсэн судалгааны ажилд дурдсанаар эдгээр фазуудын бүртгэгдсэн хугацааны ялгавар нь газар хөдлөлтийн голомтын гүнээс хамааран ихээхэн хувирамтгай байдаг ч эпицентрийн зайнаас хамаарах өөрчлөлт нь маш бага байдаг. Энэ судалгаанд бид sPg фазын бичлэгийг (ажиглалт) судлан үзэж, онолын хувьд тооцоолсон синтетик сейсмограммууд үүсгэн загварчлал хийх гэж оролдсон байгаа.

Газар хөдлөлтийн голомтоос S буюу хөндлөн долгион газрын гадарга руу тархан газар хөдлөл бүртгэх станцад P долгион болон хувиран хүрч ирж бичигдсэн сейсмик долгионыг sPg хэмээн нэрлэнэ.

Энэхүү судалгаанд бид Pg фазын араас бичигдсэн өөр төрлийн долгионуудыг хайж шинжилсэн болно. Бид энэхүү фаз бүртгэгдсэн байх магадлалтай зарим хөдлөлүүдийн бичлэгийг олсон бөгөөд хэмжигдсэн хугацааны зөрүүг загварчлан эдгээр нь үнэхээр sPg фаз мөн эсэхийг батлан шалгахын тулд долгионы ойлтын онол дээр тулгуурлан онолын хувьд тооцоологдсон буюу синтетик сейсмограммуудыг ашигласан болно.

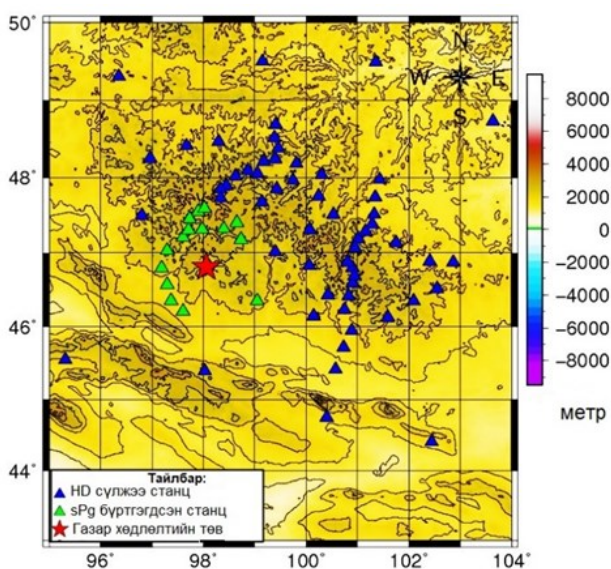
Долгионы ойлтын онол

Сейсмик долгионы ойлтын онолыг синтетик сейсмограммуудыг үүсгэхэд ашигладаг (Fuchs, 1968; Fuchs and Muller 1971). Энэхүү техникт давтамжаас хамаарсан синтетик сейсмограммуудыг s-словнессээс (сейсмик долгион тухайн орчноор тархах хурдны урвуу хэмжигдэхүүн) интеграл аван тэдгээрийг Фаст-Фурье Трансформ ашиглан хугацаанаас хамаарсан синтетик сейсмограммууд руу хувиргадаг. Бид 1993 онд Б.Л.Н.Кеннеттийн үндэслэн хөгжүүлсэн “ERSZOL3” гэж нэрлэгдэх цогц програмыг ашигласан. Үүнийг ашиглан цэгэн момент тензор үүсгүүрийн хувьд хэвтээ үелсэн орчин дахь сейсмик респонсийг тооцоолох боломжтой болох юм. Бид дээрх сонгож авсан програмын оролтын утгуудыг тохируулахдаа минимум словнессийн утгыг 0.0001; максимум словнессийн утгыг 0.3001; словнессийн тоог 3600 гэж тус тус харгалзан оруулж өгсөн. Энэхүү програмд хоёр тодорхой давтамжийн интервалд харгалзах косинус тэпер (газар хөдлөлийн сигнал процессод хэрэглэдэг, хязгааргүй урттай үргэлжлэх цагийн цуваанд хязгаарлалт хийхэд Фурье шилжилт хийхээс өмнө ашигладаг стандарт функц юм)-ийг хэрэглэгддэг. Бид бага давтамжийн мужид 0.25 Гц болон 0.5 Гц, харин өндөр давтамжийн мужид 2 Гц болон 4 Гц –ийн утгуудыг тус тус ашигласан. Гадаргын нөхцөлийн хувьд, бид бүх тооцоололдоо уян харимхай чөлөөт орчин бүхий хагас бөмбөлөг орчинг авч үзсэн.

СУДАЛГААНЫ ХЭМЖИЛТ

“sPg” долгионы ажиглалт

Энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд бид 2012 оны 10-р сарын 3-нд Монгол орны Төв Монголын нутаг дэвсгэр Баянхонгор аймгийн Баянбулаг сум, Өмнөд Хангай хагарлын дагуу магнитуд $m_b = 4.6$ хүчтэй болсон газар хөдлөлт дээр анализ хийсэн. Энэхүү хөдлөлтийг “Баянбулагийн газар хөдлөлт” хэмээн нэрийдэх бөгөөд газар хөдлөлийн төв нь өргөргийн 46.8105° N, уртрагийн 98.0587° E-д гэж Үндэсний Мэдээллийн Төв-д тодорхойлсон байдаг. Мөн энэхүү хөдлөлтийн голомтын гүнийг USGS /United States Geological Survey/ нь 10 км-ийн гүнд хэмээн тодорхойлсон байна.



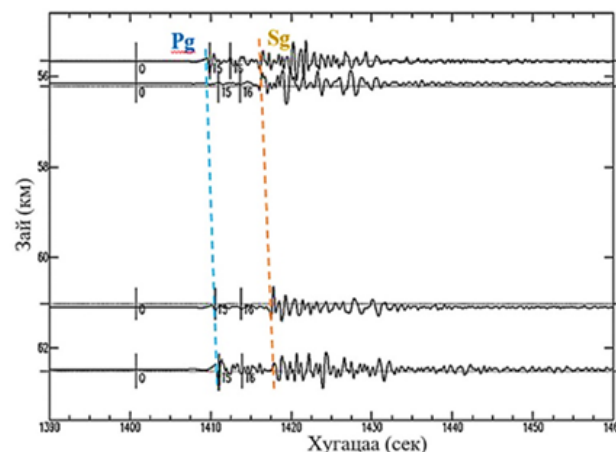
Зураг 2. 2012 оны 10-р сарын 3-нд Өмнөд Монгол, Баянхонгор аймгийн Баянбулагийн сумын нутаг дэвсгэрт $m_b = 4.6$ хүчтэй болсон (уртрагийн 98.058 ; өргөргийн 46.812) газар хөдлөлтийн төв (улаан таван хошуу дүрсээр) болон HD сүлжээ станцын байршил (гурвалжин дүрсээр), sPg долгион бүртгэгдсэн станцыг (ногоон гурвалжин дүрсээр) ялган харуулж байна.

Pg долгионууд болон түүний араас бичигдсэн үл мэдэгдэх багц долгион хоёрын хоорондох хугацааны ялгаврыг хэмжихийн тулд бид юуны түрүүнд деконволуц хийж сигналын хурдны

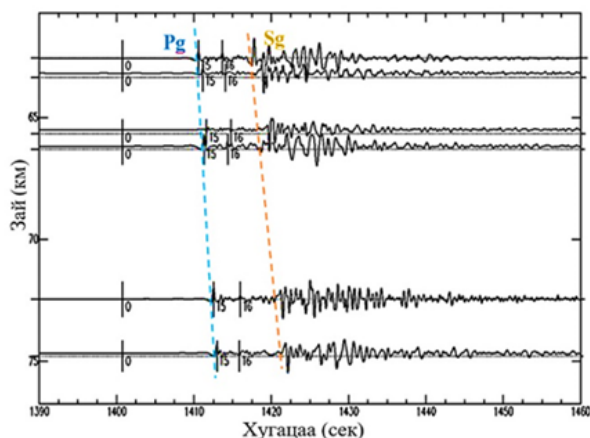
бичлэгийг шилжилтийн бичлэгт хөрвүүлсэн байгааг зураг 3,4 болон 5-д харуулсан байна. Эдгээр шилжилтийн сигналууд дээрээ 0.5 Гц-ээс 2 Гц хооронд давтамж бүхий үелсэн-давтамжит филтр хэрэглэсэн болно.

2010 оны Ма Шутяны хэвлүүлсэн өмнөх судалгааны ажлыг үндэслэн бид фаз хэмжилтийн алдааг хамгийн бага байлгах үүднээс харгалзах долгион тус бүр дээрх хамгийн өндөр амплитуд бүхий хэсгээр фаз авалтыг хийсэн.

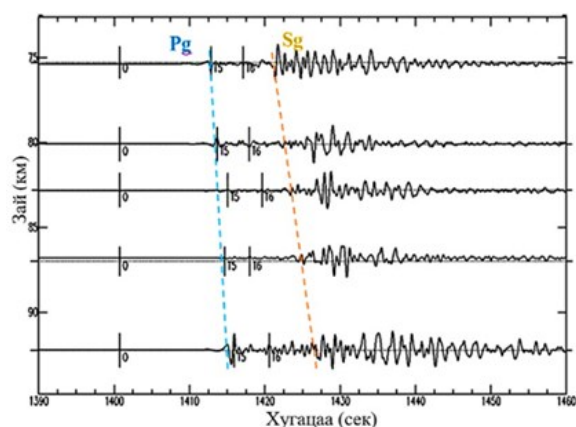
Эдгээрийг Зураг 3,4 болон 5-д харуулж байгаачлан “T5”-аар Pg, “T6”-аар sPg төлөөлүүлэн тус тус хэмжилтүүдийг хийж гүйцэтгэсэн. Бид 50 км-ээс 100 км-ийн хооронд байрласан станцуудын бичлэгийг сонгон авч анализ хийсэн бөгөөд долгионы бичлэгийн харагдах байдлыг харгалзан үзэж 50 км-ээс 64 км, 64 км-ээс 74 км болон 76 км-ээс 100 км гэсэн хүрээнд тус тус салган зуруулсан. Үүнээс гадна sPg долгион бичигдсэн байх боломжит хоёр хөдлөлийг судалгааны мэдээллийн сангаас олсон.



Зураг 3. Тухайн хөдлөлтөөс 50 км-ээс 64 км-ийн зайд орших станцуудад бүртгэгдсэн долгионы бичлэгүүд. Энд: “T5”-аар Pg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, “T6”-аар sPg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, “o”-р хөдлөл эхэлсэн цагийг тус тус тэмдэглэсэн болно.



Зураг 4. Тухайн хөдлөлтөөс 64 км-ээс 74 км-ийн зайд орших станцуудад бүртгэгдсэн долгионы бичлэгүүд. Энд: "Т5"-аар Pg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, "Т6"-аар sPg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, "о"-р хөдлөл эхэлсэн цагийг тус тус тэмдэглэсэн болно



Зураг 5. Тухайн хөдлөлтөөс 76 км-ээс 100 км-ийн зайд орших станцуудад бүртгэгдсэн долгионы бичлэгүүд. Энд: "Т5"-аар Pg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, "Т6"-аар sPg долгионы максимум үе дээр хэмжсэн фазын хэмжилт, "о"-р хөдлөл эхэлсэн цагийг тус тус тэмдэглэсэн болно.

**Синтетик сейсмограм ашиглан
бүртгэгдсэн хугацааны ялгаврыг
тооцоолох**

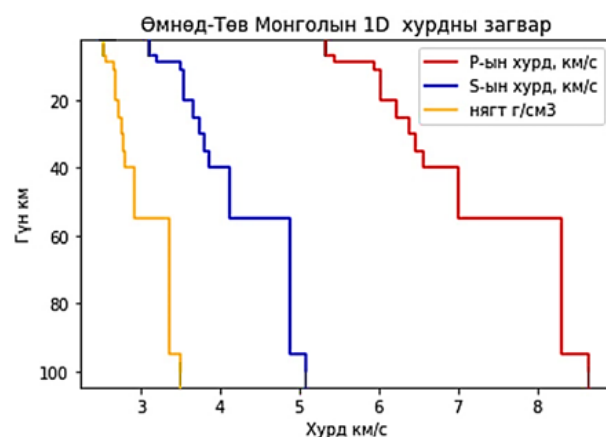
Царцдасын хурдны загвар

Бид Өмнөд-Төв Монголын нэг хэмжээст хурдны загвар (Б.Баттулга, 2015) дээр тулгуурласан загварыг ашиглан

ойлтын хууль дээр үндэслэн синтетик сейсмограммуудыг үүсгэсэн. Онолын хувьд тооцоолон гаргасан sPg болон Pg долгионуудынхаа бүртгэгдсэн хугацааны ялгаврыг хэмжсэн байдаг. Энэхүү хурдны загвар нь Монгол орны Төв болон Өмнөд нутгийг бүхэлд нь хамарч тооцоолсон RMS 0.1-ээс 0.8 хооронд алдааны хүрээ бүхий загвар болно. Сонгон авсан ERZSOL програмд энэхүү моделийг оруулж өгөхийн тулд бид нэмэлтээр нягт болон S долгионы хурдыг үе тус болгон дээр бодуулан гаргах шаардлагатай болсон юм. Зураг 6-д өмнөх судлаачийн бодуулан гаргасан P долгионы хурд дээр тулгуурлан нэмэлтээр S долгионы хурд болон нягтыг нэмж тусган оруулж синтетик сейсмограм үүсгэхэд ашигласан эх загвараа харуулж байна. Бид нягтыг бодуулахдаа 1973 онд Курита-гийн эмпирик тэгшитгэлийг ашиглан тооцоолсон.

$$\rho = 2.35 + 0.036(V_p - 3.0)^2 \quad (1)$$

S долгионы хурдыг олохдоо $V_p/V_s=1.70$ (2015 онд Б.Баттулга судлаачийн ашигласан хурдны харьцааны утга) хурдны харьцааны зарчмаас мөрдөн гаргасан болно.



Зураг 6. Ашигласан хурдны загвар. Улаан шугамаар P долгионы хурд (км/с) (Б. Баттулга 2015); Шар шугамаар нягтын утга, хөх шугамаар S долгионы хурдыг тус тус харуулсан байна.

Ойлтын онол дээр тулгуурлан тооцоолсон синтетик сейсмограммууд

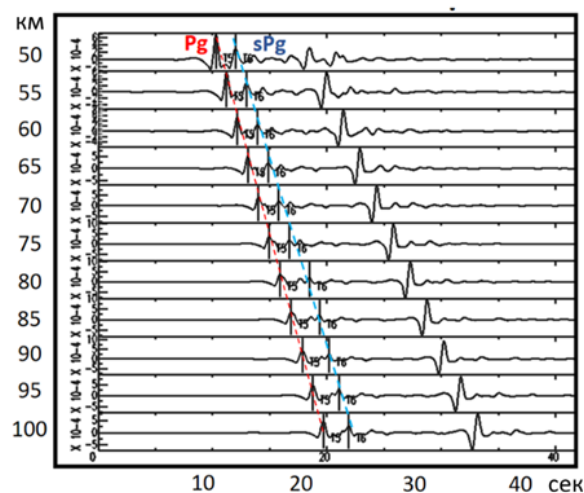
Бид Олон улсын Центройд Момент Тензор гэх олон улсын төслийн дор хэрэгждэг газар хөдлөлтийн момент тензорын каталог дээрх 2012 оны Баянбулагийн газар хөдлөлтийн момент тензорын утгад суурилсан дабль-копл үүгэврийг ашигласан.

Бид үүсгэврийн үргэлжлэх хугацааг 0.8 секундээр (Singh et al., 2000) тооцон оруулж өгсөн. Үүсгэсэн синтетик сейсмограмм дээрх Pg долгион болон түүний араас бичигдэж буй үл мэдэх Р-ийн төрлийн фаз хоёрын хоорондох хугацааны ялгавар нь эпицентрийн зай буюу газар хөдлөлтийн төвийн зайнаас хамаарч өөрчлөгдөх өөрчлөлт багатай бараг тогтмол байсан. Хэдий тийм ч гэсэн, дараах зургуудад харуулж байгаагчлан эпицентрийн зай нь холдох тусам эдгээр фазуудын хугацааны ялгавар нь маш алгуураар ихсэж байгааг ажиглаж болох юм. Эдгээр шинж төрхүүд нь энэхүү үл мэдэх Р-ийн төрлийн фаз нь sPg байж болохыг магадалж байгаа юм. Бид 50 км – ээс 100 км-ийн эпицентрийн зайд голомтын гүнийг 5 км, 10 км, 15 км болон 20 км байх тохиолдол тус бүр дээр синтетик сейсмограммууд бодуулсан байдаг. Зураг 7, 8 -д эдгээр тооцоолон үүсгэсэн сейсмограммуудыг харуулж байна.

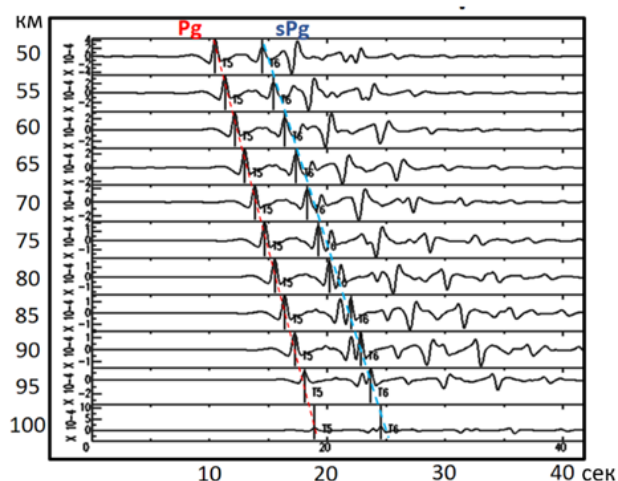
Эдгээр үүсгэсэн сейсмограммуудаас бид зарим нэг чухал онцлог шинжүүдийг харж болох юм. Жишээ нь: эдгээр үүсгэсэн синтетикүүд нь sPg болон Pg –ийн хугацааны ялгавар өгөгдсөн голомтын гүнээс хамааран аажмаар ихсэж байгаа бол эпицентрийн зайнаас хамаарах өөрчлөлт тун бага байгаа юм.

УРЬДЧИЛСАН БАЙДЛААР ТОДОРХОЙЛСОН ҮР ДҮН

Газар хөдлөлтийн бичлэг дээр ажиглагдсан sPg болон Pg фазуудын хугацааны ялгавар нь эпицентрийн 55 км – ээс 70 км-ийн зайн хооронд бараг л тогтмол байсан. Бид уг харгалзах зайн интервалыг (55 км-ээс 70 км) газар



Зураг 7. Голомтын гүн нь 5 км дээр үүсгэсэн синтетик сейсмограммууд. T5 болон T6-аар Pg болон sPg –ын хамгийн их далайцаар хэмжсэн хэмжилтийг харгалзан тэмдэглэжээ.



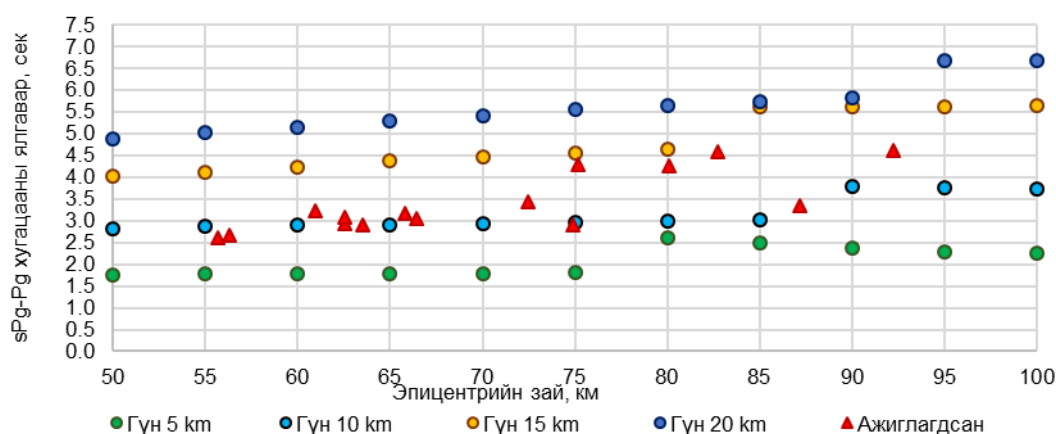
Зураг 8. Голомтын гүн нь 15 км дээр үүсгэсэн синтетик сейсмограммууд. T5 болон T6-аар Pg болон sPg –ын хамгийн их далайцаар хэмжсэн хэмжилтийг харгалзан тэмдэглэжээ.

хөдлөлтийн голомтын гүнийг тодорхойлоход ашигласан. Зураг 9-д синтетик болон ажиглагдсан фазын бичлэгээс хэмжиж авсан sPg болон Pg-ийн бүртгэгдсэн хугацааны ялгавруудыг хооронд нь харьцуулсан үр дүнг харуулж

байна. Ажиглагдсан хугацааны ялгавар нь 10 км-ийн голомтын гүнээр үүсгэсэн синтетик дээрх хэмжилтүүдтэй давхцаж байгаа нь энэхүү газар хөдлөлийн голомтын гүнийг ойролцоогоор 10 км-д байна гэдгийг харуулж байгаа юм.

Доорх үр дүнгээс үзэхэд энэхүү сонгож авсан хөдлөлтийн голомтын гүн нь 10 км-ийн орчимд гэж тодорхойлогдож байгаа нь энэхүү хөдлөлтийн гүнийг 11 км гэж тодорхойлсон байсан өмнөх

судалгааны (Meltzer et al. 2019) үр дүнтэй ойролцоо үр дүнг харуулж байгаа учир бидний тодорхойлсон утга илүү үнэмшилтэй хэмээн үзэж байна. Мөн Олон Улсын Сейсмологийн Төв (ISC)-ийн каталогид энэхүү хөдлөлтийг, холын зайн гүний фазыг ашиглан 15,9 км-т хэмээн тодорхойлсон байсан. Тиймээс бид цаашдаа сонгож авсан хөдлөлтийн хувьд холын хөдлөлийн фазуудыг ашиглан судалгаа явуулах хэрэгтэй гэж үзэж байна.



Зураг 9. 5 км, 10 км, 15 км болон 20 км-ийн гүн тус бүр дээр үүсгэсэн синтетик сейсмограммууд дээр хийгдсэн хэмжилтүүдийн болон бодит газар хөдлөлтийн бичлэгт ажиглагдсан фазуудын (sPg болон Pg) бүртгэгдсэн хугацааны ялгаврууд харьцуулалтын график

ДҮГНЭЛТ

Энэ судалгаанд бид Монгол орны нутагт sPg фазууд бүртгэгдсэн байгаа эсэхийг мөрдөн шалгаж улмаар “Бүс нутгийн шинж чанарт гүний фазуудыг загварчлал” техникийг шинээр нэвтрүүлж байна. Бид цуглуулсан газар хөдлөлийн сигналуудаас боломжит sPg фаз бичигдсэн хэд хэдэн хөдлөлүүдийг олсон.

Эдгээрээс 2012 онд Өмнөд Хангайн хагарлын дагууд үүссэн Баянбулагийн газар хөдлөлтийн сигналыг сонгон анализ хийсэн. Боломжит sPg болон Pg долгионуудын бүртгэгдсэн хугацааны ялгавар нь 55 км-ээс 75 км-ийн эпицентрийн зайд бараг тогтмол утгатай байсан бөгөөд энэ нь ойролцоогоор 3 секунд орчимд байсан. Бид Өмнөд-Төв Монголын нэг хэмжээст хурдны загварыг

ашиглан долгионы хугарлын онол дээр тулгуурлан синтетик сейсмограммуудыг бодуулж гаргасан.

Түүний дараагаар бид эдгээр синтетик сейсмограммууд дээрх онолын хувьд тооцон үүсгэсэн sPg болон Pg фазууд болон бодит газар хөдлөлтийн бичлэг дээр бүртгэгдсэн фазуудын хугацааны ялгаврыг хооронд нь харьцуулах замаар газар хөдлөлтийнхөө гүнийг тодорхойлох боломжтой болсон юм.

Бид 55 км-ээс 70 км хүртэлх эпицентрийн зайд харгалзах sPg-Pg-ийн утгаар голомтын гүнийг тодорхойлсон. Энэхүү аргыг ашиглан голомтын гүнийг тооцоолоход ойролцоогоор 10 км-ийн орчимд гэж тодорхойлогдож байгаа юм.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэхэд хязгааргүй их дэмжлэг туслалцаа үзүүлсэн удирдагч багш Доктор Тацухико Хара-д өөрийн мэдлэг оюунаа харамгүй хуваалцан, бүхий л цаг үед дэмжин ажиллаж байсан түүний тэвчээр, хичээл зүтгэлд гүн талархлаа илэрхийлж байна.

Мөн судалгааны ажлыг хянан засварлахад үнэтэй зөвлөгөө, чиглэл өгч байсан Сейсмологи болон газар хөдлөлтийн гамшгаас урьдчилан сэргийлэх инженерчлэлийн олон улсын байгууллага, Барилга Судлалын

Институтийн профессор Доктор Т. Еокой, Б.Шибасаки болон Кита багш нартаа талархаж байна.

Түүнчлэн ШУА-Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн захирал Шинжлэх ухааны Доктор С.Дэмбэрэл, эрдэмтэн нарийн бичгийн дарга Д.Одонбаатар, Газар хөдлөл судлал салбарын дарга М.Өлзийбат болон салбарын бүх судлаач нартаа байнгын залуу судлаачдаа дэмжин өсөн хөгжих боломжийг олгож хамтран ажиллаж байдагт талархаж байна.

НОМ ЗҮЙ

- Batkhuu, B., 2015., Progress Report of the 3D tomography research.
 Dziewonski, A. M., Chou T.-A. and J. H. Woodhouse., 1981, J. Geophys. Res., 86, 2825-2852.
 Fuchs, K., 1968., Z. Geophys., 34, 389-411.
 Fuchs, K. and Muller, G., 1971, Geophys. J. R. Astr. Soc., 23, 417-433.
 Kennett, B.L.N., 1993, Cambridge University press.
 Ma, S., V. Peci, J. Adams, and D. McCormack., 2003, EGS- AGU-EUG Joint

- Assembly.
 Ma and Atkinson 2006, Bull. Seism. Soc. Am., 96, 2, 609.
 Ma, S., 2010, Focal Depth Bull. Seism. Soc. Am., 100, 1073-1088.
 Meltzer, A., 2012, International Federation of Digital Seismograph Networks.
 Meltzer, A., Stachnik, J., Sodnomsambuu, D., Munkhuu, U., Tsagaan, B., Dashdondog, M., Russo, R., 2019, Seismol. Res. Lett., 90, 1364-1376.

sPg WAVES OBSERVED FOR THE 2012 BAYANBULAG EARTHQUAKE

Abstract. The sPg wave is one of the regional depth phases useful for focal depth determination in the Regional Depth Phase Modeling Technique. We investigated whether sPg phases were observed for events in Mongolia. We analyzed data from the Central Mongolia Seismic Experiment for the 2012 Bayanbulag earthquake to investigate whether sPg were observed. There are phases that arrived after Pg on the observed records. The arrival time differences in the distance range between these phases and Pg do not change much in the epicentral distance range from 55 km to 70 km, which suggests that the observed phases are sPg waves. We calculated synthetic seismograms using the code of the reflectivity method using a model recently obtained for South-Central Mongolia and measured arrival time differences between sPg and Pg waves from them. A comparison of the arrival times from the synthetic and observed seismograms in the epicentral distance range from 55 km to 70 km suggests that the depth of the Bayanbulag earthquake is around 10 km. It indicates that this epicentral distance range (55 km to 70 km) is good to be used to determine focal depths using the sPg-Pg pair based on the synthetic waveforms.

Keywords: Focal depth, Regional depth phase, sPg, Bayanbulag earthquake, Synthetic waveform.

ХОВД ХАГАРЛЫН ДАГУУХ ГАЗАР ХӨДЛӨЛИЙН ГОРИМЫН СУДАЛГАА

С.Загдсүрэн, П.Батбаяр, Б.Диймаа

ШУА-ийн Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн Ховд салбар

Хураангуй. Ховд аймгийн төв нь Монгол Алтайн уулсын дунд орших бөгөөд газар хөдлөлтийн хувьд идэвхтэй бүс нутагт хамаардаг. 1983 онд зохиосон Монгол орны ерөнхий мужлалын зургаар Ховд хот нь IX баллын давтагдал 1000 жилд нэг удаа болох боломжтой бүсэд хамаардаг. Харин 1982 онд хийгдсэн Ховд аймгийн газар хөдлөлтийн бичил мужлалын судалгаагаар Буянт голын дагуу болон Зүүн хаалганы /Шаврын тохой/ хэсгээр IX балл бусад хэсгээр нь VIII баллын бүсэд хамаарахаар үр дүн гарсан байдаг. Гэтэл Ховд аймгийн төвөөс баруун тийш 20 гаруй км зайнд томоохон хагарлын систем оршиж байдаг нь газар хөдлөлтийн гамшгийн эрсдлийг дагуулж байж болох талтай юм. Энэхүү судалгааны ажлаар Ховд хагарал (Ар хөтөл-Чихтэй)-ын дагуух бүс нутагт болж байгаа газар хөдлөлийн идэвхжилт болон давтагдалтыг тооцоолон гаргахыг оролдсон бөгөөд тухайн бүс нутгийн газар хөдлөлийн горим нь хэр идэвхтэй явагдаж байгааг тодорхойлсон юм. Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн горимын судалгааны ажилдаа 1964-2020 оны хооронд болсон 12809 удаагийн газар хөдлөлтийн мэдээлэлд анализ хийж 1964-2020 онд магнитуд нь 2.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд, 2000-2020 онд магнитуд нь 1.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд, 2012-2020, 2016-2020 онд магнитуд нь 1.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэж тус тус тооцож тухайн хагарлын дагуу газар хөдлөлийн идэвхжилт болон давтагдалтыг Гутенберг-Рихтерийн хуулиар тооцоолон үр дүнг гаргасан. Ховд хагарлын дагуух бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтагдалтын утга 0.961, газар хөдлөлтийн идэвх нь 2,9 гарсан нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлийн давтамжаас хамааралтайгаар газар хөдлөлийн идэвхжилт харьцангуй дундаж байгааг харуулж байна.

Түлхүүр үгс: *Хавтан, магнитуд, газар хөдлөлийн идэвх, хүчтэй газар хөдлөлтийн давтагдал*

ОРШИЛ

Газар хөдлөл нь гол төлөв дэлхийн дотоод хүчний нөлөөгөөр үүсэж буй газрын давхаргын чичирхийлэн доргих хөдөлгөөн юм. Өөрөөр хэлбэл газар хөдлөлт гэдэг нь газрын гүн дэх чулуулгуудын гэнэтийн шилжилт хөдөлгөөн ба нуралтын улмаас хуримтлагдсан энерги чөлөөлөгдөх процессыг хэлж байгаа юм. Хавтангуудын хөдөлгөөн нь шилжилт үүсгэх, атираа үүсгэх, галт уул идэвхжих гэсэн 3 төрлийн тектоник үйл явцыг дагуулна. Тэдгээрийн хөдөлгөөний улмаас энерги ялгаран гарч чичирхийллийн долгион үүсэн газар хөдлөлт тохиолдоно. Хавтангууд нийлж

байвал ялгарах энергийн хэмжээ их, газар хөдлөлт хүчтэй болно. Харин тэдгээрийн холдон салж буй хэсгээр харьцангуй бага энерги ялгарч хүч багатай газар хөдлөлүүд мэдрэгддэг (Девяткин, 1975).

Газар хөдлөлийг үүсгэж байгаа хөдөлгөөн хэдхэн секунд, хамгийн их гэхэд л хэдхэн минут үргэлжлэх боловч аймшигт аюулд хүргэдэг хөдлөл байдаг. Энэ нь газар хөдлөлийн хүч янз бүр байдгаас болдог. Байшин барилгад ямар нэг эвдрэл учруулахгүй, өлгөөтэй байсан гэрлийг ганхуулах төдий, хүмүүсийг сандаргаад өнгөрдөг тийм хөдлөл байхад, дэлхийн өнцөг булан бүрд, цаг үргэлж болж байдаг

боловч тусгай нарийн багаж төхөөрөмжөөр ажиглахаас нааш мэдрэгддэггүй тийм ч хөдлөл байдаг. (Зорин Ю.А, 1982)

Алтайн уулс нь Төв Азийг бүрхсэн томоохон нурууны нэг бөгөөд ойролцоогоор 100000 км.кв талбайг эзлэн баруун Монгол, баруун хойд Хятад мөн Оросын нутагт оршдог. Дундаж өндөр нь 2500 м-ээс давах ба нилээд хэдэн оргил нь 4000 м-ээс өндөр байдаг. Уг нуруу нь баруун хойшоо чиглэсэн ба Оросын өмнөд Саяны нуруутай гадаргуугаараа холбогддог бөгөөд энэ нь түүний баруун хойд төгсгөл юм.

Алтай нь зүүн урд зүгт Зүүнгарын хөндий, зүүн хойд зүгт Монголын Их нуруудын хотгортой хил залгадаг. Уламжлал ёсоор, Монголын газрын зурагт бүх баруун болон баруун өмнөд Монголын уулс нь Алтайн нурууны хэсэг болон дүрслэгддэг. Хэдий тийм боловч, геологийн 3 хэмжээст тусгал зургаас харахад Алтай нь 2 тусдаа нуруунаас тогтох ба гадаргуугийн хувьд ойролцоогоор 45°N, 95°E –д нийлэх Баруун Алтай ба Говь-Алтайн нуруунуудаас тогтоно. (Cunningham D, 1996)

Өөр өөр кинематик түүхтэй хагарлын системийн дагуу Баруун Алтай ба Говь-Алтайн нуруунууд үүсгэгдсэн учраас энэ ялгаа гарсан. Мөн Баруун Алтай нь илүү үргэлжилсэн уулын гадаргуугийн загвар болсон бол харин Говь-Алтай нь бие даасан шугаман нуруунуудаас тогтох ба том уулс хоорондын хөндийд хуваагддаг.

XIX зууны 80-аад онд Оросын эрдэмтэн А.П. Орлов, И.В. Мушкетов нар Орос түүний залгаа нутгийн хүчит газар хөдлөлтийн макро мэдээг сурвалжлан цуглуулж каталог хийсэн нь өнөө хүртэл ШУ-ны утга агуулгаараа төгөлдөр хэвээрээ байгаа энэ жагсаалтад (И.В. Мушкетов, А.П. Орлов 1893) Монгол оронд тохиолдсон хэд хэдэн хүчит газар хөдлөлтийн мэдээ тэмдэглэсэн байдаг.

Энэнээс И.В. Мушкетов, А.П. Орлов нарын жагсаалтад тэмдэглэгдсэн 1761 оны газар хөдлөлтийн мэдээг мөшгөн

сурвалжилж 1761.XII.9-нд Монгол Алтайн нуруунд тохиолдсон 215км хагарал үүсгэсэн сүйтгэлт газар хөдлөлт мөн болохыг олж тогтоосон (Д. Мөнхөө-1983) байдаг.

Ховд аймгийн төвөөс баруун тийш 20 гаруй км зайнд 215 орчим км урт хагарлын ул мөр байдаг. Энэ хагарлын ул мөрийг 1761 онд магнитуд нь 8.3-тай болсон сүйрүүлэх хүчтэй газар хөдлөлтөөс үүссэн гэж таамагладаг ба Ар хөтлийн хагарал хэмээх энэхүү хагарал нь 4-10м баруун гарын шилжилттэй гэж судлаачид тодорхойлсон байдаг.

Ар хөтлийн хагарал нь Хилько нарын тодорхойлсноор дунджаар баруун хойш 330о-аар чиглэсэн бөгөөд Ховд хотоос баруун тийш хойд өргөргийн 47.5°, зүүн уртрагийн 91.8° районд оршино. Мөн ар хөтлийн хагарлын төгсгөл хэсэгт Чихтэйн гэх хагарал үргэлжилдэг бөгөөд энэ хагарлын сегмент нь хойд өргөргийн 49.2°, зүүн уртрагийн 90.3° районд орших бөгөөд урт нь 27 км юм. Эдгээр Ар хөтөл, Чихтэйн хагарлуудыг Ховд хагарал гэсэн нэг бүсд авч үзэж болохыг судлаачдын гаргасан судалгаанаас харж болох юм.

Жил бүр энэхүү хагарлын бүсийн дагуух газар хөдлөлтийн идэвхжил нэлээд болдог, гэхдээ сул газар хөдлөлтүүд илүү зонхилж байдаг, сүүлийн үед хүчтэй газар хөдлөлтүүд цөөхөн болж байгаа нь анхаарал татдаг юм.

Ховд хагарлын дагуух бүс нутаг нь сул газар хөдлөлт маш ихээр болдог төдийгүй, түүхэн хүчтэй газар хөдлөлт 2 удаа тохиолдсон байдаг. Тухайлбал, Ар хөтлийн түүхэн газар хөдлөлт (1761/12/09, M8,3), Ачит нуурын газар хөдлөлт (1938/10/19, M6,6) юм.

Энэ бүс нутагт 1964-2020 оны хооронд нийт 12809 удаагийн газар хөдлөлт болсноос магнитуд нь 1.0-ээс бага сул газар хөдлөлт 10236 удаа, магнитуд 1-тэй газар хөдлөлт 2039 удаа, магнитуд 2-той газар хөдлөлт 478 удаа, магнитуд 3-тай газар хөдлөлт 51 удаа, магнитуд 4-тэй газар хөдлөлт 3 удаа, магнитуд 5-тай газар

хөдлөлт 1 удаа, магнитуд 6-тэй газар хөдлөлт 1 удаа тус тус болсон байна (Зураг 1).

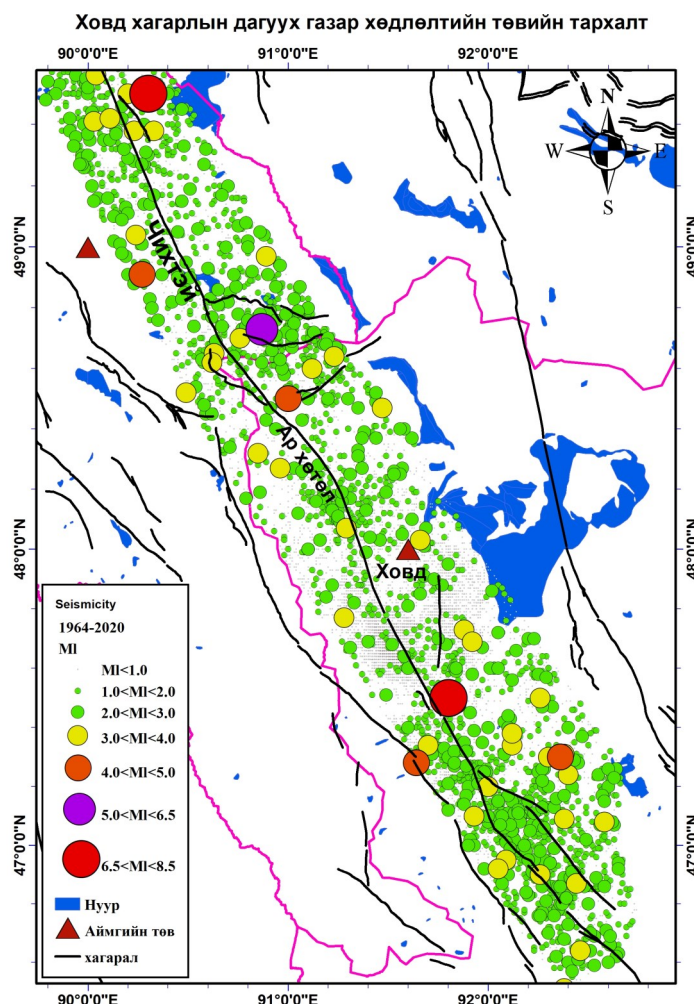
Эдгээр газар хөдлөлтүүдээс хамгийн хүчтэй нь Ар хөтлийн хагарлын төгсгөл хэсэгт 1988 оны 7 дугаар сарын 23-нд болсон магнитуд нь 6.0-тай Цамбагарав хайрханы хойд талд болсон газар хөдлөлт юм. Уг газар хөдлөлт голомтондоо IX балл хүрсэн гэж үздэг. Иргэдийн аман яриагаар Цамбагаравын цас нурж ойролцоох хавцалд байсан айлын азарга адуу, зэлтэй тугал болон гэрийн эзэгтэй өртсөн гэсэн мэдээ байдаг.

Мөн Ховд хагарлын бүс нутагт тохиолдсон онцлог нэг 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 юм.

Тус хөдлөлт нь Ховд аймгийн төвөөс 37 км, Манхан сумаас 42 км, Зэрэг сумаас 99 км, Дуут сумаас 32 км, Мянгад сумаас 56 км, Буянт сумаас 51 км, Ховд сумаас 57 км, Чандмань сумаас 70 км, зайд Буянт сумын Наранхайрхан багын Ямаат улаан уулын орчимд болсон.

Голомтын орчимдоо III-IV балл болж, аймгийн төвийн иргэдийн ихэнх нь чичирхийлэл мэдэрч, макро мэдээний судалгаагаар II-III балл болсон гэж гаргасан байдаг.

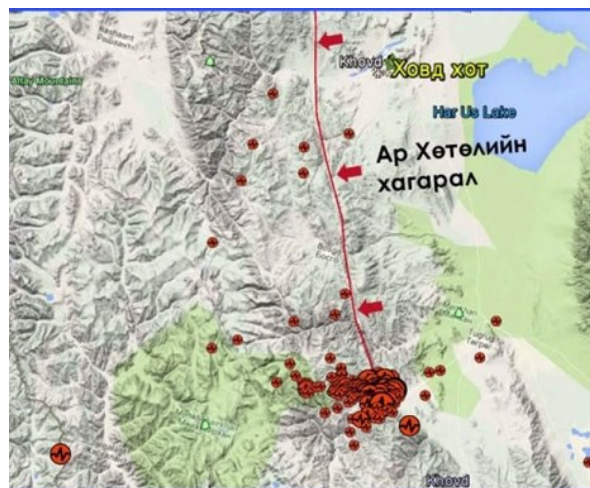


Зураг 1. Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн төвийн тархалт (1964-2020 он, ногоон дугуй нь түүхэн газар хөдлөлт 1761 оны Ховдын, 1938 оны Ачит нуурын газар хөдлөлт)

Макро мэдээгээр мэдрсэн хүмүүсээс ихэнх нь хүнгэнэсэн дуу гарсан, гэр чахран дуу гарч яндан зуух харшин дуугарах, зарим нэг хүмүүс дотор муухайрах зэргээр иргэдэд мэдрэгдсэн зэргээс хамаатуулан үзэхэд Аймгийн төвийн иргэдэд уг газар хөдлөлт IV-V баллаар мэдрэгдсэн байсан. Ховд сумын иргэдээс мэдээлэл авахад газар хөдлөлт болж байх үед толгой эргэж дотор муухайрах, яндан зуух харших зэргээр мэдрсэн гэсэн.

Мөн 2015 оны 10-р сарын 01-02-нд шилжих шөнө орон нутгийн цагаар 03 цаг орчмоос эхлэн Мөнххайрхан сумаас хойд зүгт 20 орчим км-ийн зайд сулавтар /магнитуд <2.5/ газар хөдлөлтүүд ойр ойрхон ажиглагдаж эхэлсэн. Тухайн Газар хөдлөлтүүдээс хамгийн хүчтэй нь 2015/10/02-ны өдрийн Орон нутгийн цагаар 06:03 минутад болсон бөгөөд газар хөдлөлтийн төвийн байрлал нь хойд өргөргийн 47.24, зүүн уртрагийн 91.97-д

болсон. Хөдлөлтийн хүч нь Рихтерийн шаталбараар магнитуд нь 2,3-тай байсан. 2015 оны 10 дугаар сарын 09-н хүртэл энэ бүс нутагт 560 орчим удаагийн сул болон сулавтар хөдлөлтүүд ажиглагдсаар байсан. (Зураг 2).



Зураг 2. Ар хөтлийн хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн идэвхжил (2015 он)

ХОВД ХАГАРЛЫН ДАГУУХ ГОРИМЫН СУДАЛГАА

Судлагдсан байдал

Монгол оронд газрын гадаргуу дээр байгаа хагарлуудыг гадаад, дотоодын эрдэмтэн судлаачид нэлээд судалсан байдаг. Ар хөтлийн хагарлын дагуух хэмжилт, судалгаа, тайлбар зэргийг 1982 онд Хилько С.Д, Кирушин Р.А, Кочетков В.М и др (I. Baljinnyam, 1993) номнуудад тодорхой оруулсан байдаг. С.Д.Хилько, (1985) нарын гаргасан газрын зургаас үндэслэж Газар хөдлөлтөөс үүссэн гадаргуугийн хагарлын Монгол орны баруун бүс нутгийн хагарлын зургийг зурагласан байдаг (Зураг 3), (I. Baljinnyam, 1993).

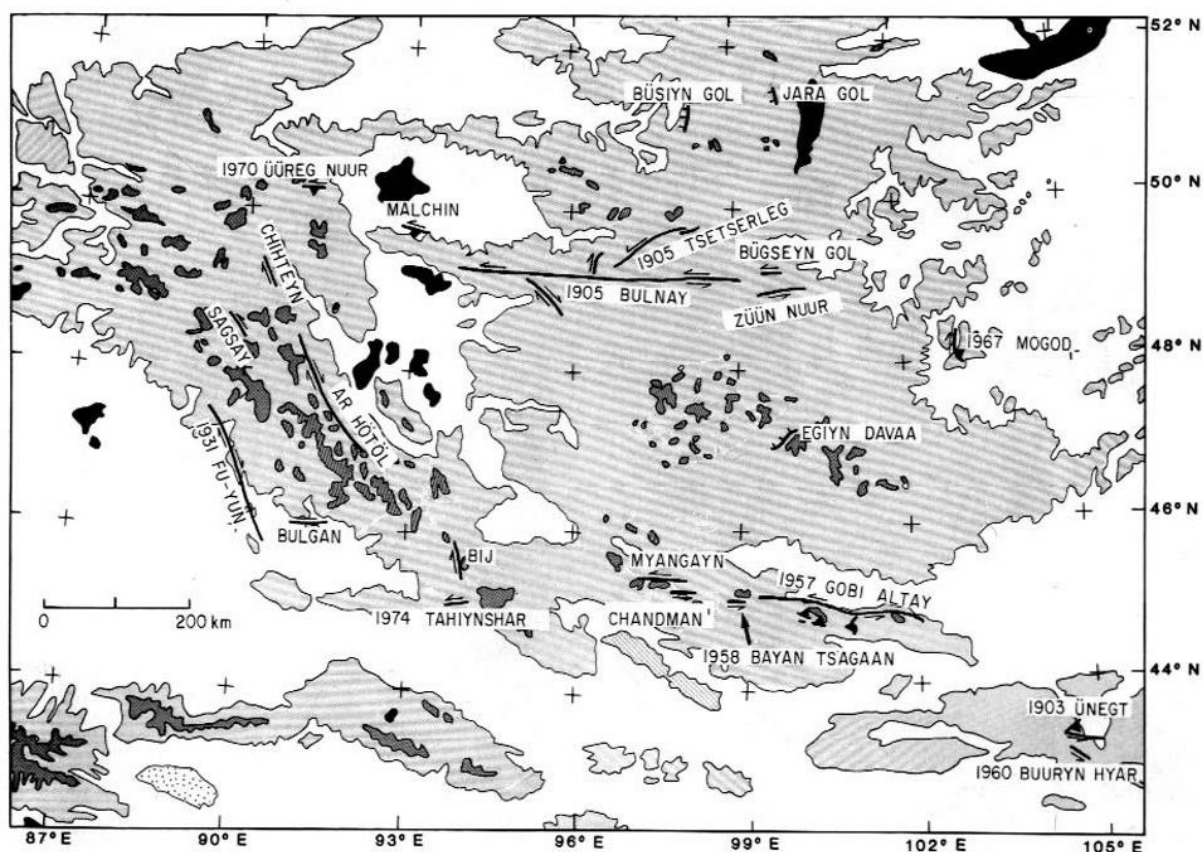
Зураг 3-аас Ар хөтлийн хагарал болон чихтэйн хагарлын зургийг харж болно. Эдгээрийг хамтад нь Ховд хагарал гэж судлаачид үздэг.

Ховд хагарал: Хилько ба бусад (1985) Ховдын хагарлын дагуу гадаргуугийн Чихтэйн ба Ар хөтлийн гэсэн 2 залуу эвдрэлийг илрүүлсэн (Зураг 3).

Эхнийх нь Чихтэй сегмент нь хойт өргөргийн 49.2°, зүүн уртрагийн 90.3° координатад орших бөгөөд урт нь 27 км. Тасархайн төв орчимд 0.5-1.5-2.0м хүрэх шилжилт 10 орчим км үргэлжлэн ажиглагдах бөгөөд морфологийн онцлог шинжүүдээр нь хагаралын насыг ойролцоогоор 1000-1500 жил гэж тооцоолсон.

Ар хөтлийн хагарал нь Хилько нарын тодорхойлсоноор дунджаар баруун хойш 330о-аар чиглэсэн бөгөөд Ховд хотоос баруун тийш хойд өргөргийн 47.5°, зүүн уртрагийн 91.8° районд оршино (Зураг 3, Зураг 4).

Гадаргуугийн деформацийн морфологи ба масштаб нь 1905 оны 7-р сарын 23-нд Булнайд болсон газар хөдлөлттэй төстэй. 215 км үргэлжлэх энэ хагарал нь уртаашаа 40-50м, өргөөшөө 8-10м, гүнээрээ 2.5-3м хүрэх баруун хойш 350° зүүн хойш 10° чиглэсэн том том ан цав, ангал агуулсан байдаг. Деформацийн их тод ул мөр Буянт гол Дунд Цэнхэрийн



Зураг 3. Монгол орны баруун хэсгийн хагарлын зураг

гол хооронд ажиглагддаг. (С.Д.Хилько, 1985)

Хилько ба бусад (1985) нар энэ хагарлын дундаж шилжилт нь 4.5м, хамгийн их шилжилт нь 7м гэж үнэлсэн ба Трифонов (1988) дундаж шилжилт нь 3м, хамгийн их шилжилт нь 5м гэж тодорхойлсон (I. Baljinnyam, 1993).

Хагарлын урд төгсгөл хэсэгт нийт уртаараа 60 км орчим үргэлжилсэн олон хэсэг хагарал байх ба Хилько ба бусад (1985) нар хагарлын шилжилт нь босоо чиглэлд 1м-3м, хэвтээ чиглэлд 1.5м-2м гэж тэмдэглэсэн байна (I. Baljinnyam, 1993).

Энэ хагарлын гол чухал шилжилт нь Дунд цэнхэр болон Буянт гол хоёрын хооронд байдаг. Энд хуурай сайр, голын гольдрил 4-5м баруун тийш шилжсэн нь тод ажиглагддаг. Босоо шилжилттэй холбоотой мөрөгцөгүүд зүүн, баруун чиглэлтэй бөгөөд тухайн орон нутгийн үзэгдэлтэй холбоотой. Хагарлын янз

бүрийн хэсэгт ажиглагдаж байгаа үзүүлэлтээр энэ хагарал чухам хэдийд үүссэнийг тодорхойлоход хүндрэлтэй. Жишээлэхэд Буянт голоос 20 км хойшоо болоход орчин үеийн гэж хэлэхээр хагарлын хэсэг олоход хэцүү байдаг. 1761 оны 12-р 9-нд 1905, 1931, 1957 онуудад болсон газар хөдлөлт шиг газар хөдлөлт болсон нь Монгол, баруун Сибирьт өргөн нутаг дэвсгэрт мэдрэгдсэн байдаг.

Ар хөтлийн хагарлын деформацийн шинэхэн байдал нь энэ газар хөдлөлтөөр үүссэн байх гэсэн таамаглалыг төрүүлдэг. Түүнээс гадна энэ хагарлыг VI-р зууны үед, Чингис хааны засаглалын үеэс XV-р зууны төгсгөл хооронд үүссэн байж магадгүй гэсэн таамаглалууд байдаг. Янз бүрийн мэдээллээс үзэхэд хоёрдогч үйл явдал болохоос 700-750 жилийн тэртээ анхдагч үйл явдал болсон гэж үзэх тохиолдол ч байдаг (С.Д.Хилько, 1985).

Мөн 2012 оны 8-р сард Одон орон

геофизикийн хүрээлэнгийн Эрдэм шинжилгээний ажилтан Б.Баттулга, ОХУ-ын эрдэмтэн Доктор Е.А.Рогожин, А.С.Ларьков, Ховд салбарын ЭША-нууд хамтран тухайн хагаралд судалгаа хийсэн.

Ар хөтлийн хагарал нь эртний газар хөдлөлтийн улбаа байж магадгүй бөгөөд сүүлийн хүчтэй давтан хөдлөлтөөс хойш 250 гаруй жилийн хугацаанд энэ хагарлын бүсэд дахин хүчтэй газар хөдлөлт болох хэмжээний хүчний хуримтлал үүсч байж болох юм. Судалгааны үр дүнгээр энэ бүс нутагт магнитуд нь 7,5-8,0-тай газар хөдлөлт 10000 жилийн хугацаанд 6 удаа болсон байж магадгүй гэсэн дүгнэлтэд хүргэсэн. (Рогожин Е.А. Баттулга Б. Дэмбэрэл С, 2013)

Түүнчлэн Францын эрдэмтэн Matthieu Ferry нь Ховдын “Ар хөтлийн” хэмээх хагарал Алтайн нурууны гол идэвхтэй баруун гарын шилжилттэй эртний хагарал бөгөөд жилд 2.6 ± 0.4 мм-ээр шилжиж байх магадлалтай гэж үзсэн.

Тэрээр энэ хагарлын бүсэд болсон анхдагч хөдлөлийг МЭ-ний 750-840 жилд

тохиолдсон байж магадгүй гэж үздэг ба 1761 оны орчимд хамгийн сүүлийн хүчтэй хөдлөлт болж шилжилтийн улмаас эртний Уйгар хиргисүүр хуваагдаж 2,8-3,0м зайнд зөрснийг судалгаагаар тогтоосон байна гэж дурдсан байдаг.

ОНОЛ АРГА ЗҮЙ

Жил бүр олон жижиг газар хөдлөлт, цөөн хэдэн том газар хөдлөлт болдог. 1954 онд Гутенберг, Рихтер нар 1918-1945 оны хооронд жил бүр магнитуд нь 4-4,9-тэй газар хөдлөлт 6000 гаруй, магнитуд 6-6,9-тэй газар хөдлөлт дунджаар 100 удаа болсон үзүүлэлтүүдийг ашиглан дүн шинжилгээ хийсний үр дүнд газар хөдлөх жилийн давтамж (N) ба магнитуд (Ms) хоорондын хамаарал нь логарифм байна гэж гаргаж ирсэн. [fundamental]

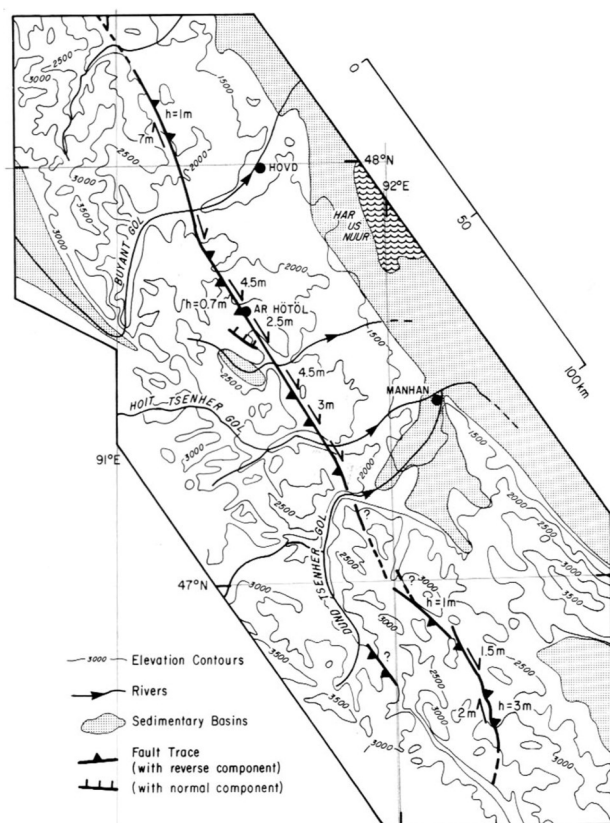
$$\log N = a - bM$$

энд, а утга нь нэг бүс нутгаас нөгөө рүү шилжихэд 8 ба 9-ийн хооронд, харин b нь бүс нутгийн хувьд нэгж рүү дөхдөг.

МЭДЭЭЛЛИЙН САН БҮРДҮҮЛЭЛТ

ШУА-ийн Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн Үндэсний мэдээллийн төвийн газар хөдлөлийн мэдээллийн сангаас 1900-1963 оны түүхэн газар хөдлөлт, 1964-2020 оны хооронд Ховд хагарал (Ар хөтөл-Чихтэй)-ын дагуух бүс нутагт болсон газар хөдлөлийн мэдээллийг авч “Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн горимын судалгаа”-ны ажлын мэдээллийн санг бүрдүүлээ (Зураг 5).

Энэ бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд түүхэн газар хөдлөлт болох 1761 оны М8,3-тай Ар хөтлийн, 1938 оны М6,6-тай Ачит нуурын, 1988 оны М6,0-тай Цамбагаравын хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн мэдээллийг оруулсан. Мөн 1964-2020 оны хооронд Ховд хагарлын дагуу нийтдээ 12800 гаруй газар хөдлөлт бүртгэгдсэнээс Магнитуд нь 3.0-аас их газар хөдлөлт 60 гаруй удаа тохиолджээ. Тухайн жилд болсон газар хөдлөлтийг магнитудаар нь ангилж

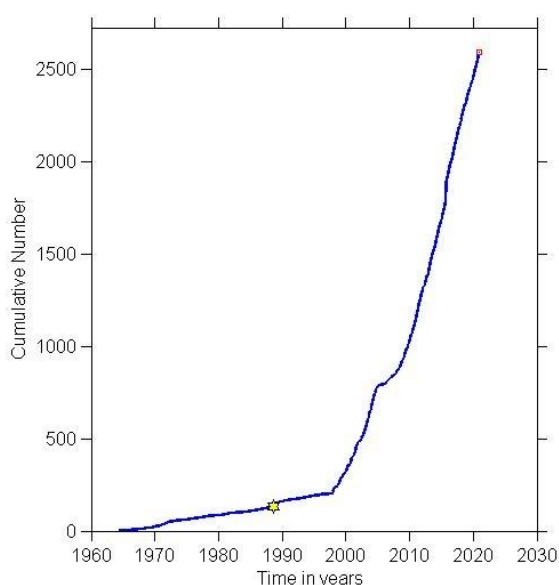


Зураг 4. Ар хөтлийн хагарлын зураг

харуулсан (Зураг 6).

Дээрх графикаас дүгнэхэд 1990-ээд оны сүүлээс хойш магнитуд багатай, сул газар хөдлөлтүүдийг илүү нарийвчлалтай бүртгэж эхэлснийг харж болно. Энэ нь баруун бүс нутагт газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын хүчин чадал сайжирсан холбож үзэж болох юм. 1964-1997оны хооронд сул хөдлөлт бараг бүртгээгүй, магнитуд нь 2,0-аас дээш хөдлөлийг ихэвчлэн бүртгэж байжээ.

Дээрх хөдлөлтүүдийг сул хөдлөлт ихээр бүртгэж эхэлсэн 1998 оноос хойших



Зураг 5. Мэдээллийн сангийн бүрдүүлэлт

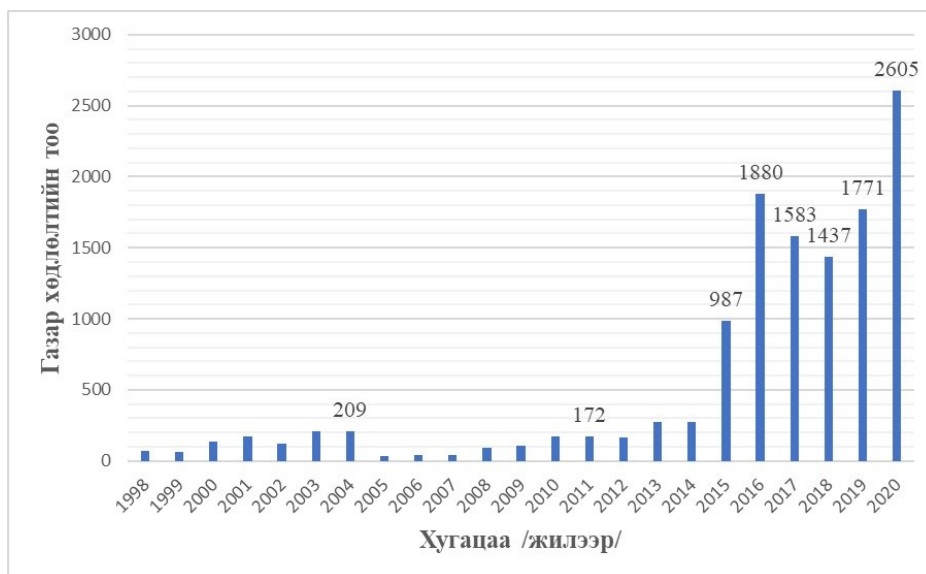
байдлаар нь ангилж оноор нь харууллаа (Зураг 7).

Горимын судалгаанд сонгож авсан судалгааны хэсгийн мэдээлэлд “мэдээлэл гүйцээлт” гэсэн анализ хийснээр хэдэн оноос эхэлж ямар магнитудтай газар хөдлөлтийг бүрэн бүртгэж эхэлснийг тооцоолдог.

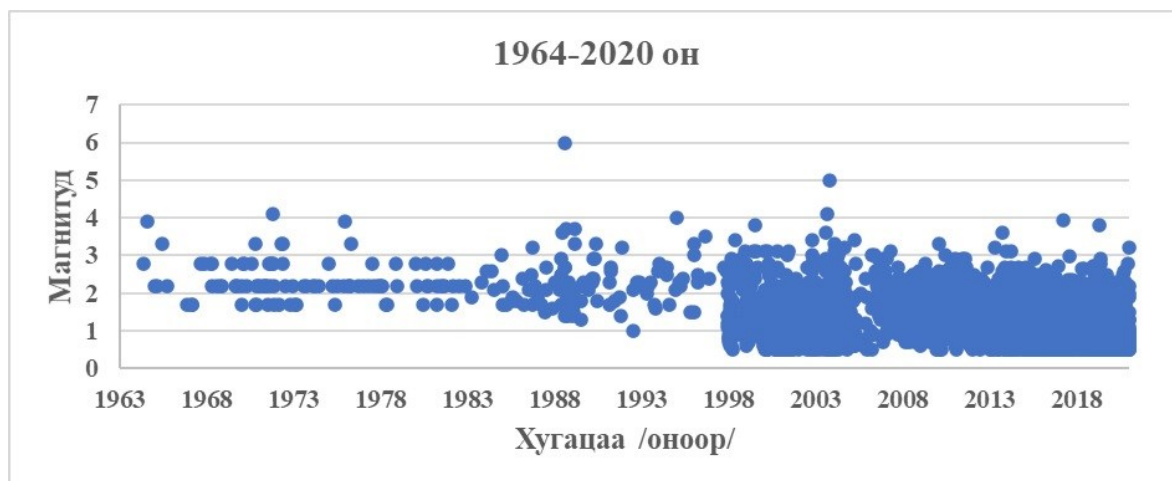
1964-2020 оны 12809 газар хөдлөлтийн мэдээлэлд дүн шинжилгээ хийж үзсэний үр дүнд 1964-2020 оны мэдээллээс магнитуд ба хугацаанаас хамаарсан хамаарлаас харахад Ховд хагарлын дагуух бүс нутагт 1964 оноос магнитуд 2.0-оос дээш, 1980 оноос магнитуд 1,5-аас дээш хөдлөлийг бүртгэж эхэлсэн бол 1999 оноос эхлэн магнитуд нь 0,5-аас дээших хөдлөлийг бүрэн бүртгэж эхэлснийг харж болох юм (Зураг 8).



Зураг 6. Газар хөдлөлтийн магнитудаар нь ангилсан үр дүн



Зураг 7. 1964-2020 оны газар хөдлөлтийн тоог оноор эрэмбэлж харуулсан үзүүлэлт



Зураг 8. Мэдээлэл гүйцээлтээр гаргасан үзүүлэлт

СУДАЛГААНЫ АЖЛЫН ҮР ДҮН

Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн горимын судалгааны ажилдаа 1964-2020 оны хооронд болсон 12809 удаагийн газар хөдлөлтийн мэдээлэлд анализ хийж 1964-2020 онд магнитуд нь 2.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд, 2000-2020 онд магнитуд нь 1.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд, 2012-2020, 2016-2020 онд магнитуд нь 1.0 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэж тус тус тооцож уг хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн магнитуд давтамжийн утгыг гаргасан.

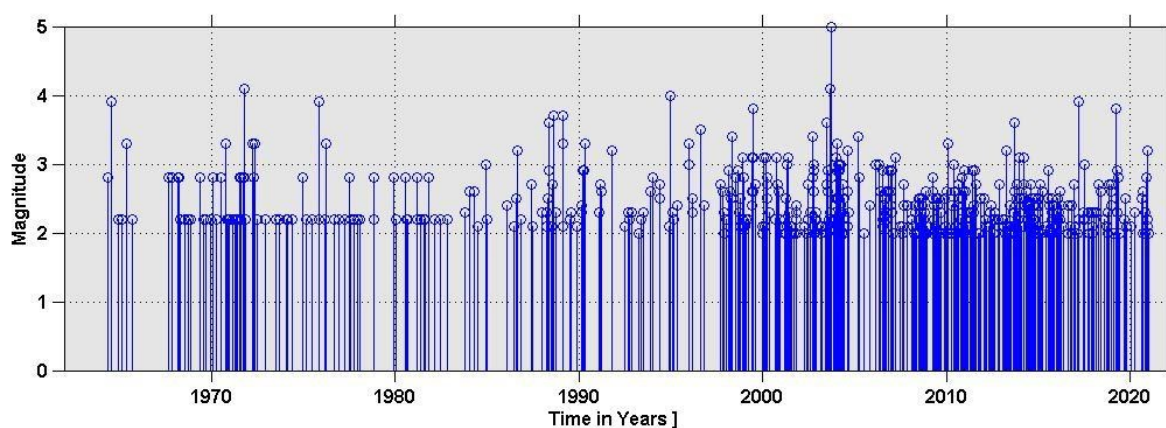
1964-2020 он. Энд магнитуд нь 2.0 болон түүнээс хүчтэй 532 удаагийн газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашиглаж тооцоолоход Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=0.961$ байгаа нь

энэ бүс нутгийн хэмжээнд хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал бага байгааг илэрхийлж байна (Зураг 9).

Мөн энэ бүс нутагт газар хөдлөлтийн идэвхжилт бага зэрэг буюу $a=2,9$ байна. Энэ нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамжаас хамаарсан идэвхжил харьцангуй бага байна гэж дүгнэж болохоор байна (Зураг 10).

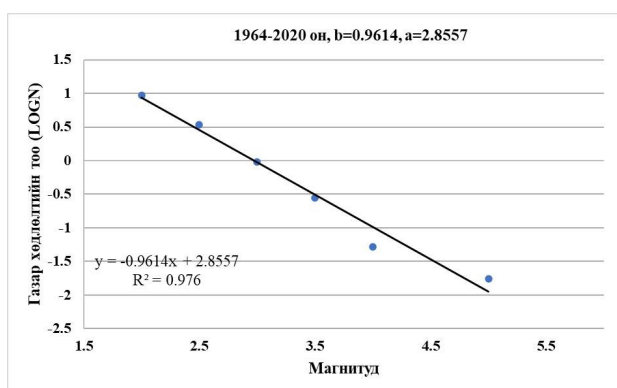
ZMAP программаар бодуулсан үр дүнгээс харахад газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=0.902$, идэвхжилт $a=2,79$ байна (Зураг 11). Энэ нь Зураг 10-т гаргасан үр дүнтэй ойролцоо гарч байгааг илтгэж байна.

2000-2020 он. Ховд станцын бичлэг аналог системээс тоон системд шилжсэнтэй холбоотойгоор 2000-2020 оны

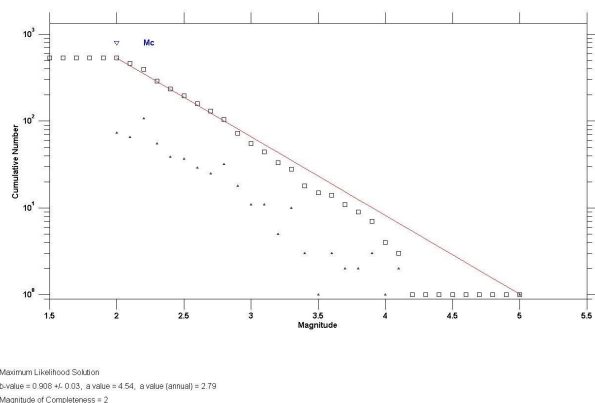


Зураг 9. Магнитуд хугацааны хамаарлыг харуулсан байдал /1964-2020/

хооронд болсон магнитуд нь 0.5 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэсэн 4341 газар хөдлөлтийг хамруулсан ба энэ хугацаанд Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=0.9597$ байгаа нь хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал бага байгааг илэрхийлж байна. Мөн энэ бүс нутагт газар хөдлөлтийн идэвхжилт дунд зэрэг буюу $a=3.06$ байна (Зураг 12). Энэ нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамжаас хамаарсан идэвхжил харьцангуй дундаж түвшинд байна гэж дүгнэж болохоор байна.



Зураг 10. 1964-2020 оны мэдээллийг ашиглаж Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй гаргасан нь.

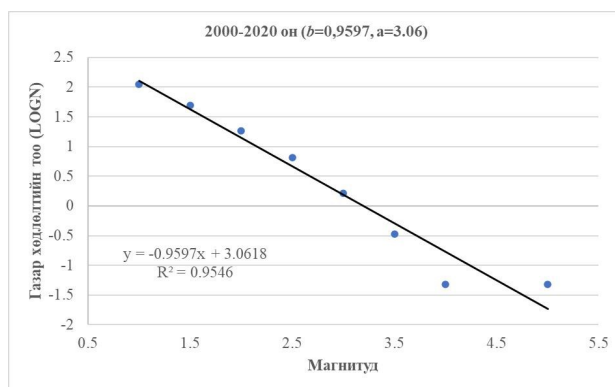


Зураг 11. 1964-2020 оны мэдээллээр тооцоолон гаргасан газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй/ ZMAP програмаар бодуулсан үр дүн/

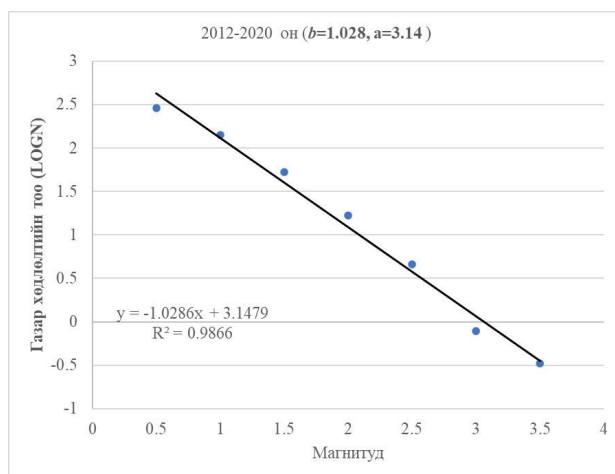
2012-2020 он. Ховд станцын техникийн шинэчлэлтэй холбоотойгоор 2012-2020 оны хооронд болсон магнитуд

нь 0.5 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэсэн 2596 газар хөдлөлтийг хамруулсан ба энэ хугацаанд Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=1.028$ байгаа нь хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал бага байгааг илэрхийлж байна. Мөн энэ бүс нутагт газар хөдлөлтийн идэвхжилт дунд зэрэг буюу $a=3.14$ байна (Зураг 13). Энэ нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамжаас хамаарсан идэвхжил харьцангуй дундаж түвшинд байна гэж дүгнэж болохоор байна.

2016-2020 он. Ховд хагарлын дагуух мэдээллийн сангаас сүүлийн 5 жилийн хугацааны 2016-2020 оны хооронд болсон

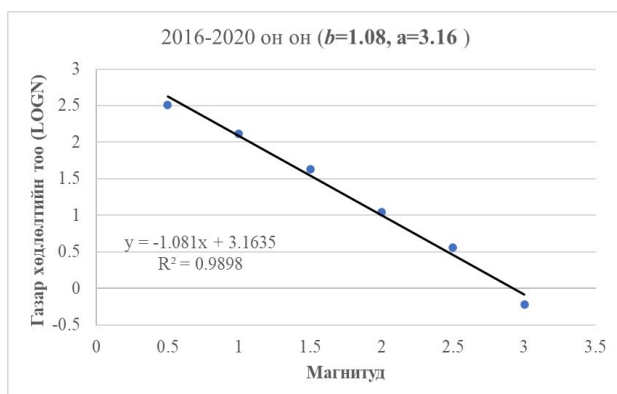


Зураг 12. 2000-2020 оны мэдээллийг ашиглаж Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй гаргасан нь.



Зураг 13. 2012-2020 оны мэдээллийг ашиглаж Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй гаргасан нь

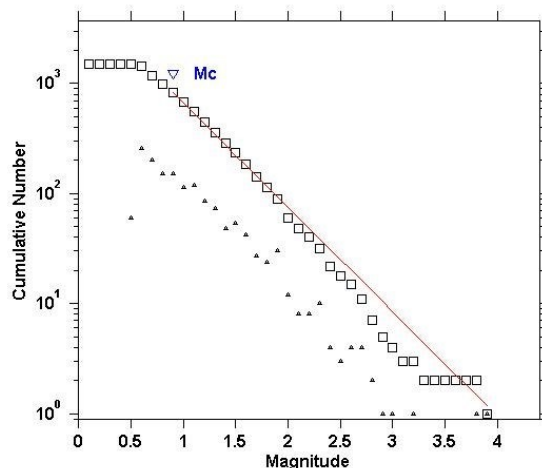
магнитуд нь 0.5 болон түүнээс хүчтэй газар хөдлөлтүүд бүрэн бүртгэгдэх боломжтой гэсэн 1618 газар хөдлөлтийг хамруулсан ба энэ хугацаанд Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=1.08$ байгаа нь хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал бага байгааг илэрхийлж байна. Мөн энэ бүс нутагт газар хөдлөлтийн идэвхжилт дунд зэрэг буюу $a=3.16$ байна (Зураг 14). Энэ нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамжаас хамаарсан идэвхжил харьцангуй дундаж түвшинд байна гэж дүгнэж болохоор байна. Мөн ZMAP программаар бодуулсан утгыг Зураг 15-д харуулав. Дээрх үр дүнгээс үзэхэд магнитудын completeness-ийг 0.9-ээр тооцоход газар хөдлөлтийн давтагдалт бага буюу $b=0.949$, идэвхжилт дундаж буюу $a=3.07$ гарсан байна. Энэ нь Зураг 14-т гаргасан үр дүнтэй ойролцоо гарч байгааг илтгэж байна.



Зураг 14. 2016-2020 оны мэдээллийг ашиглаж Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй гаргасан нь.

Иймд Ховд хагарлын дагуу дээр дурьдсан хугацаануудаар хийсэн тооцооллын үр дүнгүүдийн хувьд тухайн хугацаанд болох хамгийн их магнитудтай газар хөдлөлтийн давтагдах хугацааг нэгтгэн гаргавал:

- 1964-2020 оны мэдээллээс магнитуд 5 -тай газар хөдлөлт 50 жилд 1 удаа
- 2000-2020 оны мэдээллээс магнитуд 4 -тэй газар хөдлөлт 20 жилд 1 удаа



Maximum Likelihood Solution
b-value = 0.949 +/- 0.03, a value = 3.77, a value (annual) = 3.07
Magnitude of Completeness = 0.9

Зураг 15. 2016-2020 оны мэдээллээр тооцоолон гаргасан газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй /ZMAP програмаар бодуулсан үр дүн/

- 2012-2020 оны мэдээллээс магнитуд 3,5-тай газар хөдлөлт 10 жилд 1 удаа
- 2016-2020 оны мэдээллээс магнитуд 3,0-тай газар хөдлөлт 5 жилд 1 удаа

Энэ ажлын хүрээнд Ховд хагарлын дагуух бүс нутгийн газар хөдлөлтийн магнитудын давтагдалтын утгыг тооцоолон гаргасан бөгөөд энэ хагарлын дагуух давтагдалтын дундаж утга 1,007 гарч байна. Энэ нь хүчтэй газар хөдлөлт болох магадлал бага байгааг илтгэж байна. Харин жилийн идэвхжилт дундаж буюу 3,08-тай гарч байгаа нь өндөр биш үзүүлэлт юм (Хүснэгт 1).

Хүснэгт .1 Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн идэвхжилт болон газар хөдлөлтийн давтагдалт утга

№	Сонгосон хугацаа	a утга	b утга	Алдааны утга (R^2)
1	1964-2020	2.8557	0.9614	0.976
2	2000-2020	3.0618	0.9597	0.9697
3	2012-2020	3.1479	1.0286	0.9866
4	2016-2020	3.1635	1.081	0.9898

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаар Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн Үндэсний мэдээллийн төвийн мэдээллийн сангаас Ховд хагарлын бүс нутгийн дагуух 1964-2020 оны мэдээллийн санг үүсгэн горимын судалгааны санг бүрдүүлж ажиллалаа.

Тус бүс нутагт болсон хүчтэй газар хөдлөлт, газар хөдлөлтийн идэвхжилт, газар хөдлөлт бүртгэх станцын техникийн шинэчлэл, сайжруулалт зэргийг тооцож газар хөдлөлтийн идэвхжил a утга, хүчтэй газар хөдлөлтийн давтагдал b утга тус бүрийг тооцоолон үзэхэд энэ бүс нутагт идэвх болон давтагдал нь нэг хэвийн түвшинд явагдсан нь харагдаж байна.

Ховд хагарлын дагуух бүс нутагт 1964-2020 оны хувьд магнитуд нь 2.0 болон түүнээс хүчтэй 532 удаагийн газар хөдлөлтийн мэдээллийг ашиглаж тооцоолоход Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн давтагдалт $b=0.961$ байгаа нь

энэ бүс нутгийн хэмжээнд хүчтэй газар хөдлөлт тохиолдох магадлал бага байгааг илэрхийлж байна. Мөн энэ бүс нутагт газар хөдлөлтийн идэвхжилт бага зэрэг буюу $a=2,9$ байна. Энэ нь тус бүс нутагт хүчтэй газар хөдлөлтийн давтамжаас хамаарсан идэвхжил харьцангуй бага байна гэж дүгнэж болохоор байна.

Ховд хагарлын дагуух газар хөдлөлтийн идэвхжилт харьцангуй бага байгаа боловч магнитуд нь 1-ээс бага сул хөдлөлтүүдийн тоо нийт хөдлөлтийн 80 гаруй хувийг эзэлж байгаа нь анхаарал татахуйц байна.

Цаашид газар хөдлөлтийн идэвхижлийн судалгааг улирлаар гарган жилийн эцсээр горимын судалгааг бүс бүсээр нь нэгтгэн Монгол орны идэвхижлийн судалгааг гаргах боломжтой болох юм.

НОМ ЗҮЙ

- Cunningham D, W. D. (1996). A structural transect across the Mongolian Altai: active transpressional mountain building in central Asia, *Tectonics*.
- I. Baljinnyam, A. B. (1993). "1993_Ruptures of Major Earthquakes and Active Deformation in Mongolia and Its Surroundings" 1993.
- Ulziibat M. (2006). The 2003 Chuya sequence (North Altay range): tectonic context and seismological study. page 20-40.
- Балжинням И, Л. (1975). "Монголын газар хөдлөхүй" Улаанбаатар, 1975.
- Девяткин. (1975). Мезозойская и

кайнозойская тектоника и магматизм Монголии.

- Зорин Ю.А, Н. М. (1982). Глубинная структура территории МНР.
- Рогожин Е.А. Баттулга Б. Дэмбэрэл С, Л. А. (2013). Древние сильнейшие землетрясения на востоке Монгольского Алтая. Институт физики Земли РАН, Москва, Россия.
- С.Д.Хилько, И. Д. (1985). Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. Москва "НАУКА".

THE STUDY ON SEISMICITY ALONG KHOVD ACTIVE FAULT

Abstract. This study sought to estimate the seismic activity and frequency of earthquakes in the region along the Khovd Fault (Ar Khutul-Chikhte) and to determine how active the seismic regime is in the region. In the study of the regional regime along the Khovd fault, we analyzed 12809 earthquakes between 1964-2020, earthquakes of magnitude 2.0 and more in 1964-2020, earthquakes of magnitude 1.0 and more in 2000-2020, 2012-2020 In 2016-2020, earthquakes with a magnitude of 1.0 or more can be fully recorded, and the main parameters of the earthquake, seismic activity and the frequency of strong earthquakes, were calculated by Gutenberg-Richter's law.

The frequency of strong earthquakes in the region along the Khovd fault is 0.961 and the seismic activity is 2.9, indicating that the seismic activity in the region is relatively average depending on the frequency of strong earthquakes.

Keywords: *Plate, magnitude, seismic activity, frequency of strong earthquakes*

ХАНХЫН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТ (2021/01/11 21:32:56 UTC, M_L6.5)

Ад.Мөнхсайхан, Л.Тунгалаг, Д.Ганзориг, Г.Ариунаа, Л.Дагзинмаа,
М.Долгормаа, А.Дөлгөөн, Э.Номин-Эрдэнэ, М.Оюун-Эрдэнэ, Д.Хонгор

ШУА-ийн, Одон орон, геофизикийн хүрээлэн, Газар хөдлөл судлалын салбар
Цахим шуудан: moogii@iag.ac.mn, tungalag@iagac.mn, ganzorig@iag.ac.mn

Хураангуй. Улаанбаатарын цагаар 2021 оны 1 дүгээр сарын 12-ний 05:32:56 цагт Монголын хойд нутаг, Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүсэд орших Ханх сумын нутагт магнитуд нь M_L6.5-тай ($h \sim 7-10$ км, $I_0=7-8$) хүчтэй газар хөдлөлт болсон. Энэхүү газар хөдлөлтийн чичирхийлэл нь Улаанбаатар хотын (~ 600 км) оршин суугчдад III-V баллаар мэдрэгдсэн байна. Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүсийн баруун салбар, Бүсийн голын газар хөдлөлтийн голомтын бүсэд M_L6.3 хүчтэй хөдлөлт (1991.12.27, $I_0=7-8$) болж, уг газар хөдлөлтийн чичирхийлэл нийслэл хотын иргэдэд бас мэдрэгдэж байжээ. Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүсэд тохиосон Бүсийн голын газар хөдлөлтөөс хойш 30 жилийн дараа болсон хүчтэй газар хөдлөлт нь Ханхын газар хөдлөлт болоод байна. Үндэсний Мэдээллийн Төвийн үндсэн мэдээллийн санд 2021 оны 9 дүгээр сарын 30 байдлаар тухайн голомтын бүсэд болсон ~ 90000 орчим давталт газар хөдлөлтүүд бүхий Ханхын мэдээллийн санг үүсгээд байна. Ханхын газар хөдлөлтийн каталогт горимын судалгааг хийж, харгалзах магнитудын гүйцээлт M_s утга, газар хөдлөлтийн идэвхжилт ба давтамжийн харгалзах 'a', 'b' утгуудыг сейсмшилийн анализ хийдэг 'ZMAP' программаар тодорхойлов.

Түлхүүр үгс: Ханх, хүчтэй газар хөдлөлт, давталт газар хөдлөлт

ОРШИЛ

Байгаль нуурын хагарлын системийн баруун өмнөд төгсгөлд орших Хөвсгөлийн грабен системд Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүс орших ба баруунаас Бүсийн гол, Дархадын хотгор, Хөвсгөл нуур орчмын хожуу мезозойн болон плиоценд эхэлсэн тектоник тэлэлтийн бүс багтана (Зураг 1).

Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүс нь хойд талаараа Тункийн сав газар болон Байгаль нуурын тэлэлтийн бүстэй, өмнө талаараа зүүн гарын хэвтээ шилжилт бүхий Булнай,

Цэцэрлэгийн гол хагарлаар хүрээлэгдсэн байдаг (Arjannikova A, et al, 2004).

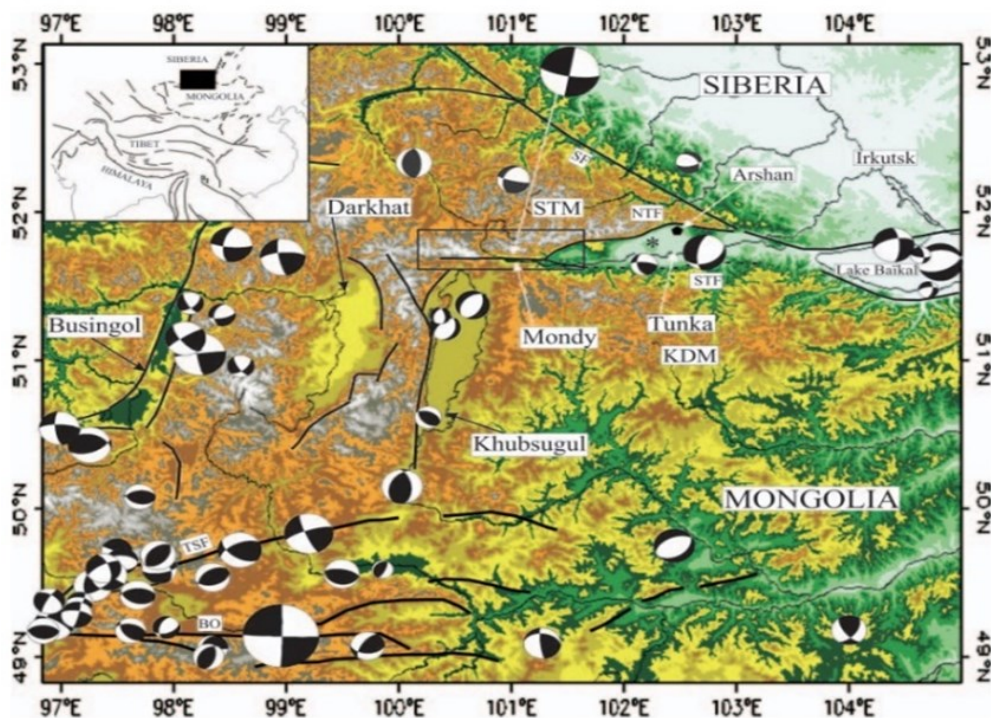
Уг идэвхжилтийн бүсэд Монд (1950/04/04, Mw6.9), Бүсийн голын (1991/12/27, Mw6.3) хүчтэй газар хөдлөлт тус тус болж байсан (Khilko S.D, et al, 1985), (Dugarmaa T, et al 2003).

Ханхын хүчтэй газар хөдлөлт (2021/01/11 (UTC), M_L6.5) нь тус идэвхжилтийн бүсэд сүүлийн 30 гаруй жилийн хугацаанд болсон хамгийн хүчтэй газар хөдлөлт болоод байна.

ХАНХЫН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН МАКРО МЭДЭЭНИЙ ҮР ДҮН

2021 оны 1 дүгээр сарын 12-ны өглөөний 05 цаг 32 минут 56 секундэд (Улаанбаатарын цагаар) Хөвсгөл аймгийн Ханх сумын төвөөс баруун урагш 26 км зайд магнитуд M_L6.5-тай

хүчтэй газар хөдлөлт болж, Хөвсгөл аймгийн бүх сумд, Сэлэнгэ, Завхан, Архангай, Увс, Баянхонгор, Булган, Дархан, Эрдэнэт, Улаанбаатар хот, Дундговь, Өмнөговь зэрэг



Зураг 1. Байгаль нуурын хагарлын системийн баруун өмнөд төгсгөлд орших Бүсийн гол, Дархадын хотгор, Хөвсгөл нуур орчмын ерөнхий зураг (Arjannikova A, et al, 2004)

аймгийн оршин суугчдад мэдрэгдсэн байна (Зураг 2). Газар хөдлөлт болсон бүс нутагт газар хөдлөлтийн чичирхийллийн нөлөөг (MMI шаталбар) тогтоохын тулд макро судалгаа явуулж газар хөдлөлтийн чичирхийлэл мэдрэгдсэн дээрх аймгуудын ард иргэдээс авсан анхан шатны 1324 мэдээнд анализ хийж аймаг тус бүрээр баллын үнэлгээг MSK шаталбараар гарган авлаа. Анхан шатны макро мэдээний тоон мэдээллийг аймаг тус бүрээр харуулав (График 1).

Уг газар хөдлөлтийн чичирхийлэл нь Хөвсгөл аймгийн иргэдэд IV-VIII баллаар; Архангай, Булган, Сэлэнгэ, Орхон-Уул аймгийн иргэдэд III-V баллаар; Завхан, Увс аймгийн иргэдэд III-IV баллаар; Улаанбаатар хотын иргэд III-V баллаар тус тус мэдрэгдсэн байна (Зураг 4). Баллын үнэлгээний онолын болон асуулгын үр дүнг MMI шаталбарт харгалзуулах замаар изосейстийн зургийг гаргав (Зураг 2).

Ханхын гол газар хөдлөлт голомтоос хамгийн ойрхон орших (100 км), хүчтэй газар хөдлөлтийн хурдатгал бичигч Хатгал

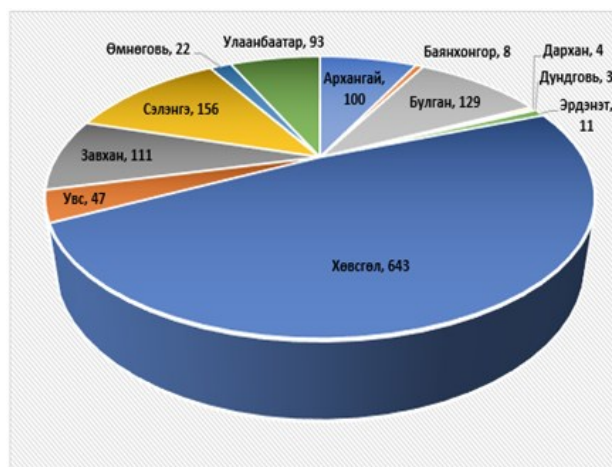
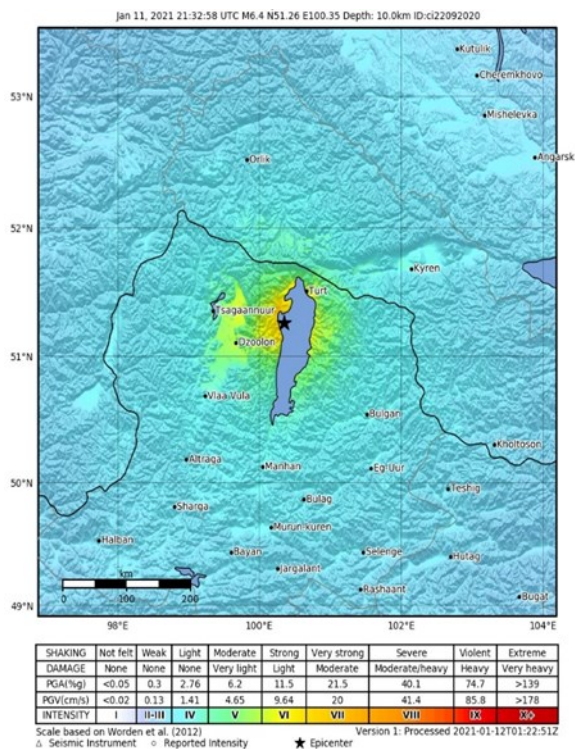


График 1. Аймаг бүрээс авсан макро мэдээний тоон мэдээлэл

станц (HTG)-д бүртгэгдсэн хөрсний оргил хурдатгал (PGA)-ын хамгийн их утга нь ~23 gal (хадан хөрсөнд) буюу IV-V балл байв. HTG станцын 3 байгуулагчид бичигдсэн хурдатгалын утга:
 Z байгуулагч дээр ~ 12.51 gal
 N байгуулагч дээр ~ 20.47 gal
 E байгуулагч дээр ~ 23.31 gal

Голомтоос дундын зайд орших (620 км), хурдатгал бичигч акселерометрийн Хүрэлтогоот станц (ULN)-д бүртгэгдсэн



Зураг 2. Ханхын газар хөдлөлтийн изосейстийн зураг

хөрсний оргил хурдатгал (PGA)-ын хамгийн их утга нь ~ 0.8 gal (хадан хөрсөнд) буюу II-III балл байв. ULN станцын 3 байгуулагчид бичигдсэн хурдатгалын утга: Z байгуулагч дээр ~ 0.738 gal



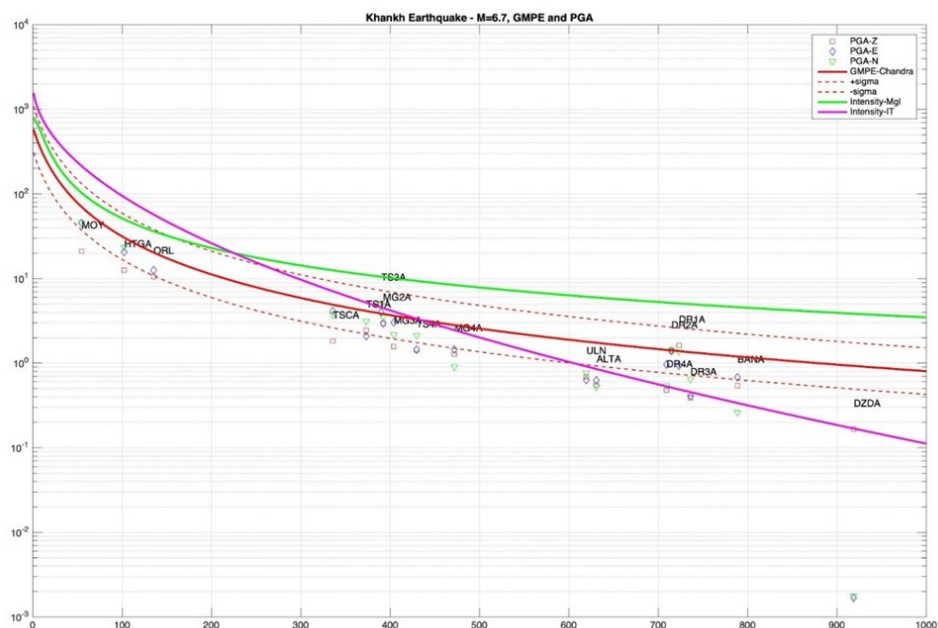
Зураг 3. Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтод хамгийн ойр, дундын болон хамгийн хол орших станцуудын байршил

N байгуулагч дээр ~ 0.822 gal

E байгуулагч дээр ~ 0.701 gal

Голомтоос хамгийн хол зайд орших (920 км), хурдатгал бичигч Даланзадгад станц (DZD)-д бүртгэгдсэн хөрсний оргил хурдатгал (PGA)-ын хамгийн их утга нь ~ 0.001 gal (хадан хөрсөнд) байв.

ULN станцын 3 байгуулагчид бичигдсэн хурдатгалын утга: Z байгуулагч дээр ~ 0.183 gal
 N байгуулагч дээр ~ 0.001 gal
 E байгуулагч дээр ~ 0.001 gal тус тус бүртгэгдсэн байна (Зураг 3).



Зураг 4. HTG, ULN, DZD станцад бүртгэгдсэн хөрсний оргил хурдатгал ($M6.5$) ба замхралын функцүүд

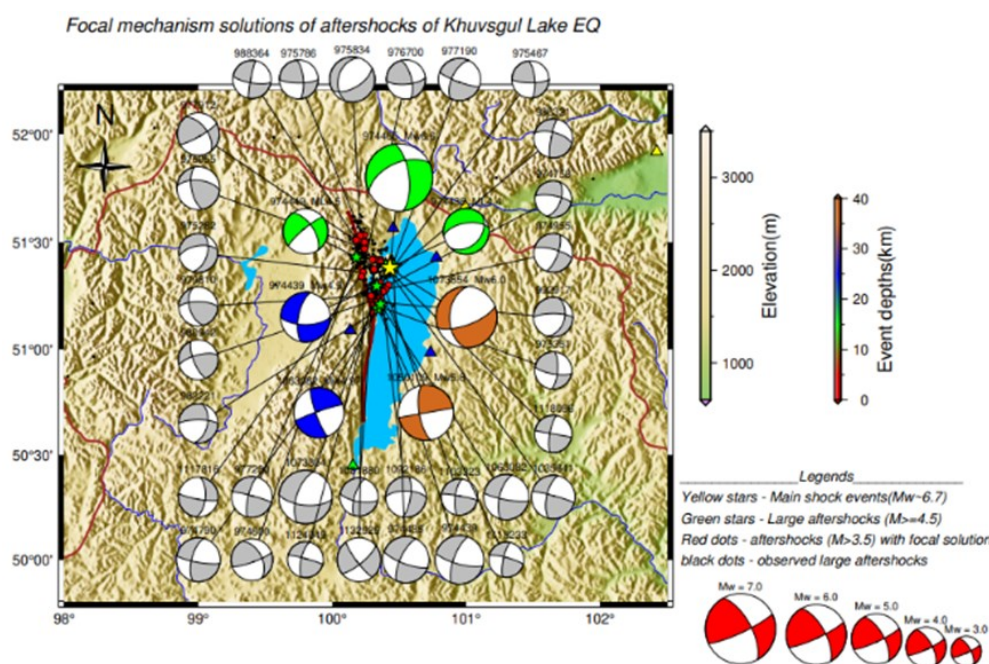
ГОЛОМТЫН МЕХАНИЗМ

Үндэсний Мэдээллийн Төвийн мэдээллийн сан дахь Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн сигналд анализ хийж, магнитуд нь $M13.5$ ба түүнээс их нийт 40 газар хөдлөлтийн голомтын механизмын параметруудийг Regional Moment Tensor Inversion ашиглан тодорхойлсон (Herrmann R. B, 2013).

Магнитуд $M16.5$ -тай хүчтэй гол хөдлөлтийн механизмын параметрууд болох азимут өнцөг нь $N353$, гадаргуу дахь

налуугийн өнцөг нь 66° , шилжилтийн өнцөг нь 141° бөгөөд нормал байгуулагчтай баруун гарын хэвтээ шилжилтийг (normal with right-lateral strike-slip) үзүүлсэн.

Тухайн хүчтэй хөдлөлийн дараах магнитуд нь $M14.5$ -аас бага давталт хөдлөлтүүдийн хувьд тооцооллыг хийхэд голомтын механизмын олон төрлийг хэв шинжийг харуулж байна (Зураг 5).



Зураг 5. Голомтын механизмын зураг (магнитуд $M14.5$ -аас их хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын механизм болон харгалзах гүнг улаан, ногоон, цэнхэр өнгөөр; $M14.5$ доош хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын механизмыг саарал өнгөөр харуулав)

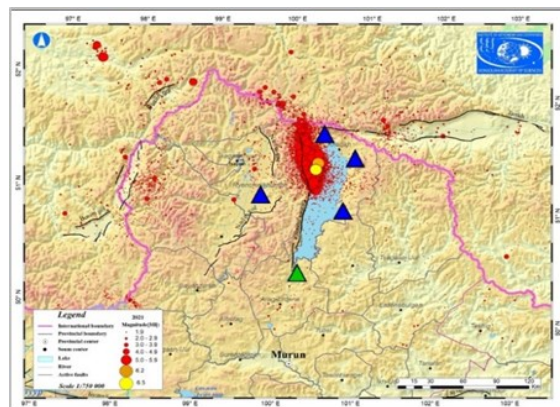
МЭДЭЭЛЛИЙН САН БҮРДҮҮЛЭЛТ

Ханхын газар хөдлөлтийн голомтод хамгийн ойрхон орших газар хөдлөлт бүртгэх “Хатгал” станц нь ойролцоогоор 100км зайд байрладаг. Хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүсэд болж буй давталт газар хөдлөлтүүдийн голомтыг нарийвчлан судлах зорилгоор тус бүс нутагт газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн станцуудыг голомтод ойрхон байгуулж мэдээллийг нэгтгэн анализ хийдэг. Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүсэд газар хөдлөлт бүртгэх өргөн

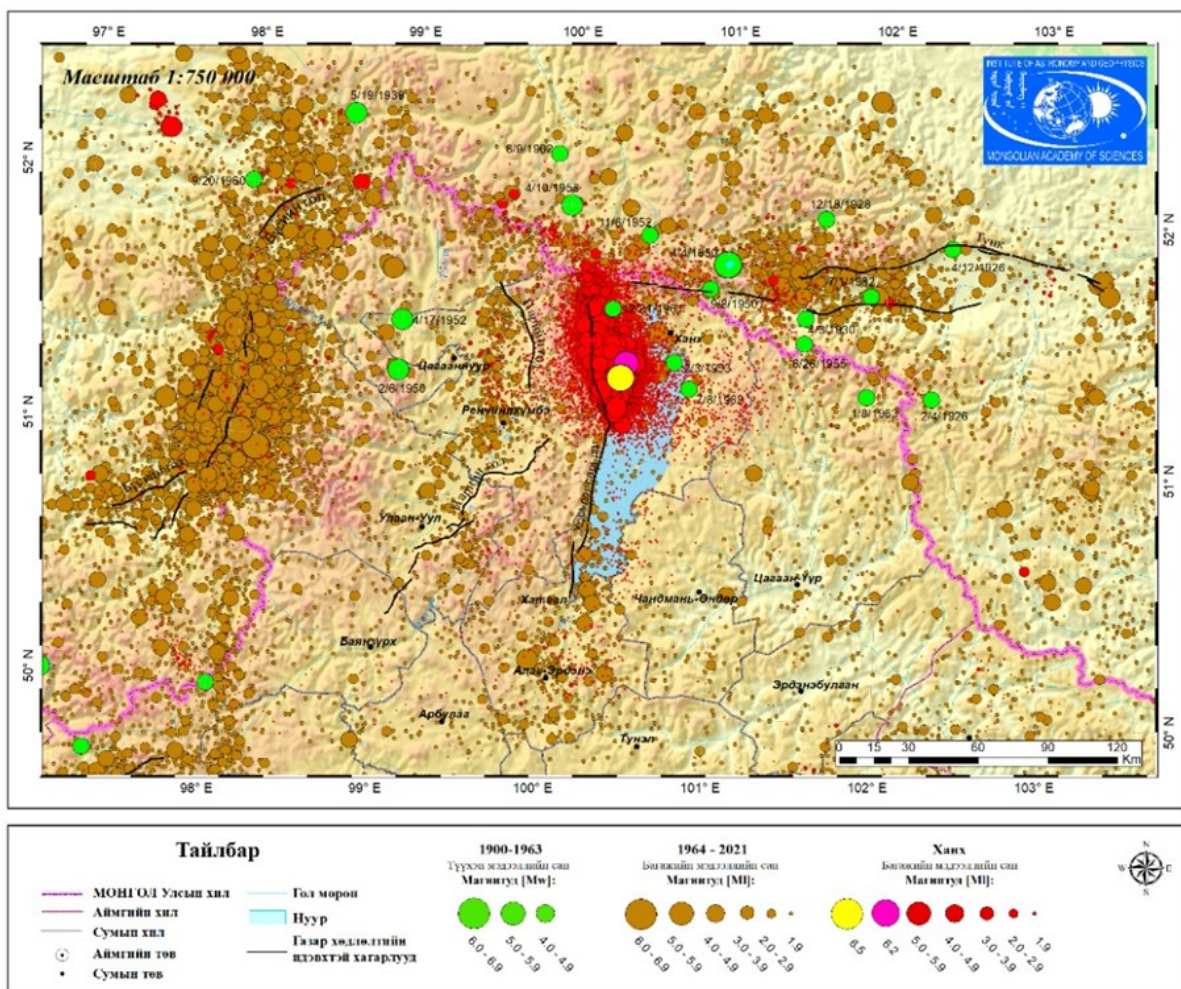
зурвасын (ВВ) 4 станцыг тус Хүрээлэнгийн техник технологийн лабораторийн ажилтнууд 1 дүгээр сарын 17-21-д суурилуулсан (зураг 6, зураг 7). Нүүдлийн станцуудын мэдээллийг шууд горимоор Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-д хүлээн авч, анхан шатны мэдээлэл боловсруулалтад нэгтгэн боловсруулж үр дүнг гаргаж байна. 2021 оны 9 дүгээр сарын 30 байдлаар ~ 90000 орчим давталт газар хөдлөлтийн мэдээллийг бүрдүүлээд байна (Зураг 8).



Зураг 6. Газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн станц суурилуулалт



Зураг 7. Газар хөдлөлт бүртгэх станцуудын байршлын зураг (ногоон өнгөөр байнгын, цэнхэр өнгөөр нүүдлийн станцыг тэмдэглэв)



Зураг 8. Хөвсгөлийн бүс нутгийн сейсмишлийн зураг.. Ногоон өнгөөр 1900-1963, бор өнгөөр 1964-2020, улаан өнгөөр 2021 онуудад болсон газар хөдлөлтийн тэмдэглэв. Шар өнгөөр 1 сарын 12-нд (УБ цагаар) болсон Ханхын M6.5 -тай газар хөдлөлтийг, ягаан өнгөөр 5 сарын 3-нд болсон магнитуд нь M6.2-той газар хөдлөлтийг тус тус тэмдэглэв.

ХАНХЫН ДАВТАЛТ ХӨДЛӨЛТИЙН СТАТИСТИК ТООЦОО

Ханхын газар хөдлөлтөөс өмнө Монд (1950/04/04, Mw6.9), Бүсийн голын (1991/12/27, Mw6.3) хүчтэй газар хөдлөлтүүд Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилтийн бүсэд болж байсан. Багажийн судалгааны үед (1964 оноос хойш) тохиосон хүчтэй газар хөдлөлт нь 1991 оны Бүсийн голын болон 2021 оны Ханхын газар хөдлөлтүүд болоод байна.

Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүс нь Байгалийн тэлэлтийн системд багтдаг тул сул хөдлөлтүүд их тохиолддог, үүнээс гадна хүчтэй хөдлөлтийн дараах олон тооны давталт хөдлөлтүүд болж, удаан хугацаагаар үргэлжилдэг зэрэг онцлог шинжийг агуулдаг. Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн давталт газар хөдлөлтийн статистик

тооцооллоор (2021-9-30-ны байдлаар) тус бүс нутагт нийт 88251 газар хөдлөлт (хүснэгт 1) бүртгэгдсэнээс магнитуд нь $M \leq 1.0$ ба түүнээс их хүчтэй газар хөдлөлт 226 удаа, үүнээс хамгийн хүчтэй нь 2021/03/31 $M 5.5$ -тай, 2021/05/03 $M 6.2$ -тай давталт газар хөдлөлтүүд юм (Хүснэгт 3).

Хүснэгт 1. Магнитудаар нь ангилсан газар хөдлөлтүүд

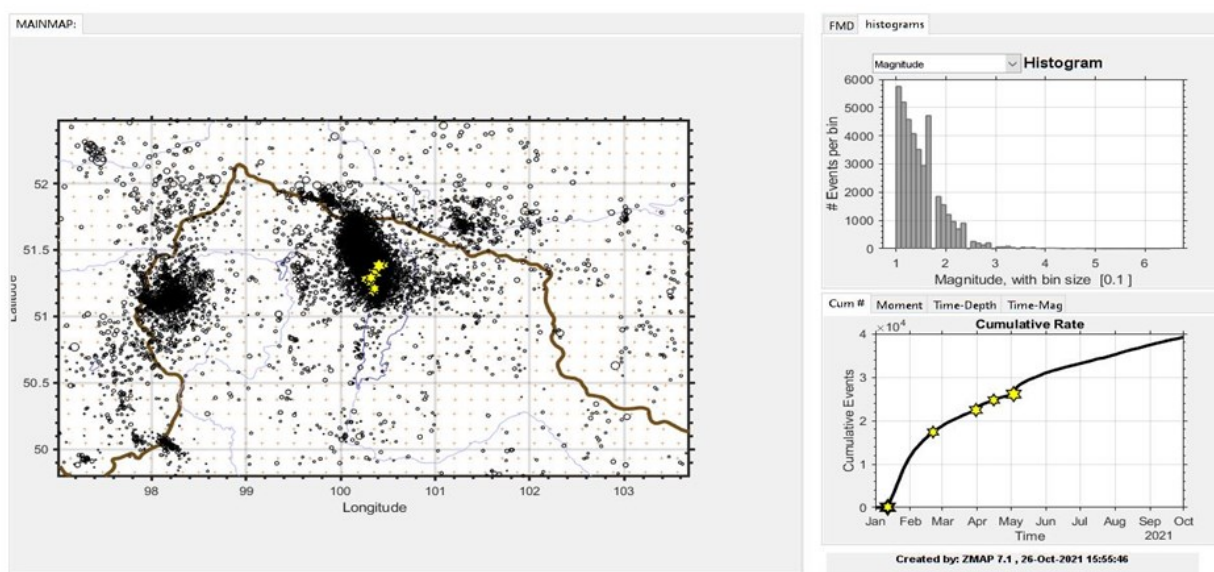
Магнитуд	Газар хөдлөлтийг тоо
$M < 1.0$	55248
$1.0 \leq M \leq 1.9$	28388
$2.0 \leq M \leq 2.9$	4164
$3.0 \leq M \leq 3.9$	350
$4.0 \leq M \leq 4.9$	92
$5.0 \leq M \leq 5.9$	7
$6.0 \leq M \leq 6.5$	2

ХАНХЫН ДАВТАЛТ ХӨДЛӨЛТИЙН ГОРИМЫН СУДАЛГАА

Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилийн бүс (48.9 - 52.5; 97.0 - 103.7)-д орших Ханхын газар хөдлөлтийн горимын судалгааг хийхдээ нэгдүгээрт, Хөвсгөлийн бүсийн хувьд YMT-ийн 1964-2020 оны газар хөдлөлтийн мэдээлэлд анализ хийж тухайн бүсийн идэвхжил ба горимын параметрийг a , b , M_c -г

тодорхойлсон (Хүснэгт 2) (A Mignan and J Woessner, 2012).

Хоёрдугаарт, Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүс (50.5 - 52.0; 99.8 - 100.8)-д уг судалгааг 2021/01/01 - 2021/09/30 хоорондох мэдээллийг ашиглан ZMAP программаар хийж гүйцэтгэв (Wiemer S, 2001). Рихтер-Гутенбергийн



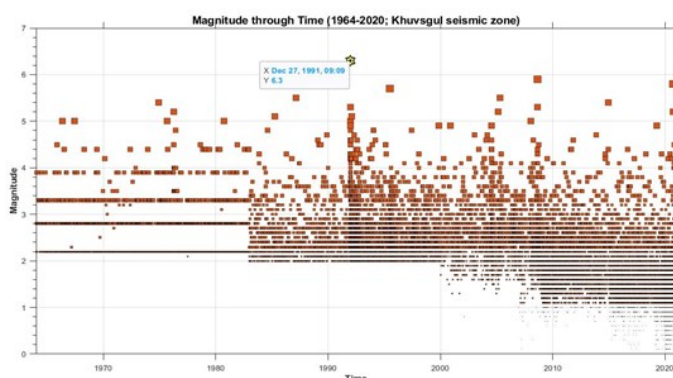
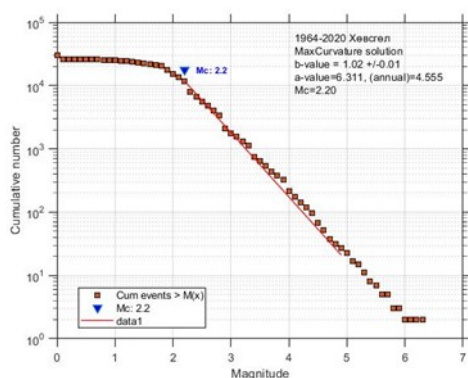
Зураг 9. 2021 оны Ханхын газар хөдлөлтийн тархалтын зураг (шар өнгөөр магнитуд нь 5.0 болон түүнээс дээш хүчтэй хөдлөлтүүдийг тэмдэглэв)

онолоор 'b' утга нь 0.45-1.5 хооронд байна (K. Mogi, (1962).

Тив хоорондын тектоник бүсэд 'b' утга нь 0.72 ± 0.07 -оос 1.2 ± 0.015 хооронд байна гэж тооцоолсон байдаг (Emad A. M. Al-Heety, 2011).

Хөвсгөлийн газар хөдлөлтийн идэвхжилтийн бүсэд 1964/01/01-ээс 2020/12/31 хүртэлх хугацаанд болсон нийт 38953 газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд

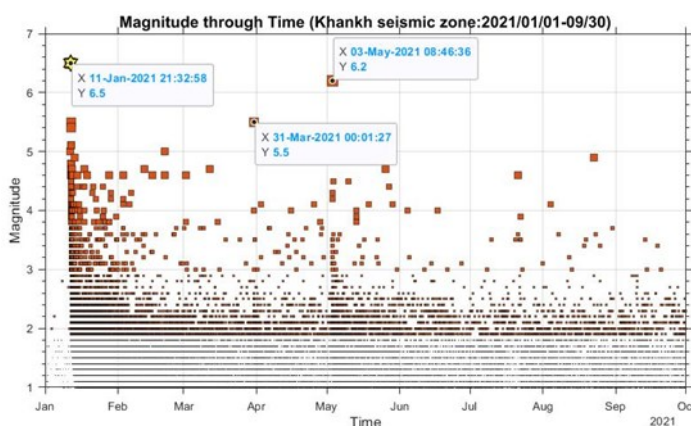
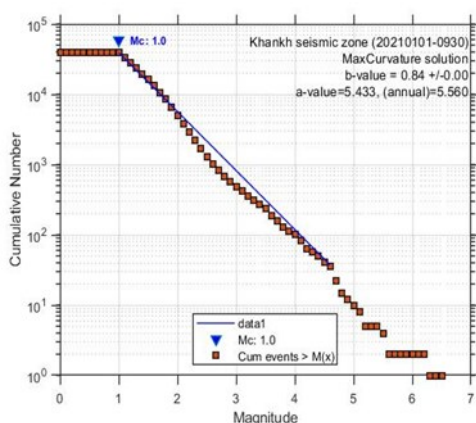
идэвхжилт, горимын судалгааны анализ хийв. Уг анализаар газар хөдлөлтийн идэвхжилт $a=6.311$ буюу идэвхжил өндөртэй, харин газар хөдлөлтийн давтамж $b=1.02$ утгад ойрхон байгаа нь Хөвсгөлийн тектоник тэлэлтийн бүсийн газар хөдлөлтийн деформацийн хүчдэлийн чөлөөлөгдөл ерөнхийдөө зүй тогтлын дагуу байгааг харуулж байна (Зураг 11).



Зураг 10. Хөвсгөлийн бүс а) Газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй (Рихтер-Гутенбергийн харьцаа). б) Газар хөдлөлтийн магнитуд ба хугацааны хамаарал (B. Gutenberg and C. Richter, 1954)

Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүсэд 2021/01/01-ээс 2021/09/30 хүртэлх хугацаанд болсон магнитуд M1.0 ба түүнээс их хүчтэй нийт 39237 газар

хөдлөлтийн мэдээллийн санд идэвхжилт, горимын судалгааны анализ хийхэд $a=5.433$, $b=0.84$ утгатай байв (Зураг 12).



Зураг 11. Ханхын бүс а) Газар хөдлөлтийн давтамжийн муруй (Рихтер-Гутенбергийн харьцаа) б) Газар хөдлөлтийн магнитуд ба хугацааны хамаарал (B. Gutenberg and C. Richter, 1954)

Хүснэгт 2. Идэвхжил ба горимын параметрууд

	Бүс	Үргэлжилсэн хугацаа	Мс	a	b
1.	Хөвсгөл	1964-2020	2.2	6.311	1.02+/-0.01
2.	Ханх	2021/01/01- 2021/09/30	1.0	5.433	0.84+/-0.00

Хүснэгт 3. Магнитуд нь M4.5 болон түүнээс дээш хүчтэй хөдлөлтийн жагсаалт (олон улсын цагаар)

	Он	Сар	Өдөр	Цаг	Мин	Сек	Уртгар	Өргөрөг	Магнитуд (M)
1.	2021	1	11	21	32	58	51.328	100.362	6.5
2.	2021	1	11	21	41	2	51.462	100.405	5
3.	2021	1	11	21	44	1	51.281	100.262	5.1
4.	2021	1	11	21	47	17	51.303	100.282	4.6
5.	2021	1	11	21	52	27	51.425	100.329	4.7
6.	2021	1	11	21	52	55	51.495	100.223	4.8
7.	2021	1	11	21	56	50	51.411	100.207	4.6
8.	2021	1	11	22	2	53	51.253	100.323	5.5
9.	2021	1	11	22	4	50	51.141	100.406	4.5
10.	2021	1	11	22	10	25	51.434	100.228	4.8
11.	2021	1	11	22	19	56	51.449	100.204	4.5
12.	2021	1	11	23	2	21	51.292	100.321	5.4
13.	2021	1	11	23	4	30	51.31	100.292	4.5
14.	2021	1	12	0	34	2	51.478	100.178	4.6
15.	2021	1	12	0	36	7	51.389	100.457	5.1
16.	2021	1	12	1	10	26	51.515	100.171	4.7
17.	2021	1	12	1	49	48	51.434	100.181	4.8
18.	2021	1	12	9	8	45	51.192	100.345	4.7
19.	2021	1	12	9	54	33	51.514	100.217	4.6
20.	2021	1	12	12	53	9	51.28	100.4	4.6
21.	2021	1	12	16	31	11	51.466	100.237	4.6
22.	2021	1	13	11	10	8	51.528	100.213	4.9
23.	2021	1	14	19	29	48	51.274	100.375	4.6
24.	2021	1	17	21	52	24	51.241	100.358	4.7
25.	2021	1	18	19	15	0	51.169	100.315	4.6
26.	2021	1	28	4	51	41	51.385	100.334	4.6
27.	2021	2	3	4	20	33	51.242	100.277	4.6
28.	2021	2	12	11	10	23	51.227	100.285	4.7
29.	2021	2	15	14	23	10	51.547	100.227	4.6
30.	2021	2	21	1	37	9	52.177	97.45	5
31.	2021	2	21	1	39	2	52.279	97.348	4.6
32.	2021	3	2	3	50	43	51.199	100.312	4.6
33.	2021	3	12	7	5	11	51.419	100.355	4.7
34.	2021	3	31	0	1	27	51.191	100.344	5.5
35.	2021	4	15	16	42	2	51.21	100.359	5.1
36.	2021	5	3	8	46	36	51.382	100.404	6.2
37.	2021	5	3	14	11	35	51.462	100.369	4.5
38.	2021	5	10	0	36	5	51.375	100.312	4.5
39.	2021	5	25	20	44	42	51.413	100.34	4.7
40.	2021	7	21	7	35	7	51.419	100.301	4.6
41.	2021	8	22	20	36	55	51.533	100.238	4.9

ДҮГНЭЛТ

Улаанбаатарын цагаар 2021 оны 1 дүгээр сарын 12-нд болсон магнитуд нь М6.5-тай Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтөөр өдөөгдсөн газрын гүн дэх эвдрэлийн процесс эрчимтэй явагдаж улмаар тухайн бүс нутагт олон тооны давталт газар хөдлөлтүүд болж байна. Харин өдөрт бүртгэгдэх давталт газар хөдлөлтийн тоо буурч байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажилд туслалцаа үзүүлсэн ШУА-ийн ООГХ-ийн Техник, технологийн лабораторийн ажилтнууд, Аюулын үнэлгээний лабораторийн эша

Ханхын хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтын бүсэд 2020/01/01-ээс 2021/09/30 хүртэлх хугацаанд болсон магнитуд М11.0 ба түүнээс их хүчтэй нийт 39878 газар хөдлөлтийн мэдээллийн санд идэвхжилт, горимын судалгааны анализ хийхэд $a=5.433$, $b=0.84$ утгатай байв. Эндээс уг бүсэд газар хөдлөлтийн идэвхжил өндөр байгааг харуулж байна.

Д.Анхцэцэг, Ам.Мөнхсайхан нар болон Орон нутаг дахь салбарын хамт олонд, талархал илэрхийлье.

НОМ ЗҮЙ

Arjannikova A., Larroque C., Ritz J.-F., Deverchere J., Stephan J.F., Arjannikov S., San'kov V., (2004): *Geometry and kinematics of recent deformation in the Mondy-Tunka area (south-westernmost Baikal rift zone, Mongolia-Siberia)*. *Terra Nova*, v. 16(5), pp.265-272

Khilko S.D., Kurushin R.A., Kochetkov V.M., Misharina L.A., Melnikova V.I., Gilyova N.A., Lastochkin S.V., Baljinnyam I., Monhoo D., (1985): Earthquakes and the bases of the seismic zoning of Mongolia. *The Joint Soviet-Mongolian scientific - Research Geological Expedition*. Nauka, Vol41, pp.225

Dugarmaa T., and Dr. Schlupp (Coordinators), Adiya M., Ankhtsetseg D., Baasanbat Ts., Bayar G., Bayarsaikhna Ch., Erdenezul D., Mungunsuren M., Munkhsaikhan A., Munkhuu D., Narantsetseg R., Odonbaatar Ch., Selenge L., Tsembel B., Ulziibat M., Urtnasan Kh., and in collaboration with DASE since 1994 and its scientific (DASE/LDG) and technical (DASE/TMG) teams (2003), One Century of seismicity in Mongolia (1900-2000).

Herrmann R. B., (2013): Computer programs in seismology: An evolving tool for in-

struction and research, *Seism. Res. Lettr.* 84, 1081-1088. doi:10.1785/0220110096

A Mignan., J Woessner., (2012): Estimating the magnitude of completeness for earthquake catalogs, *Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis*, doi:10.5078/corssa-00180805. Available at <http://www.corssa.org>.

Wiemer S., (2001): A software package to analyze seismicity: ZMAP. *Seismological Research Letters*, 72(3), pp.373-382 <https://doi.org/10.1785/gssrl.72.3.373>

K. Mogi, (1962): Magnitude – frequency relationship for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo*, vol. 40, pp. 831.

Emad A. M. Al-Heety (2011): “Variation of b-value in the earthquake frequency – magnitude distribution with depth in the intraplate regions”, *International Journal of Basic & Applied Sciences IJBAS-IJENS* Vol: 11 No: 06, pp.29-37

B. Gutenberg and C. Richter., (1954): Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton Univ. Press, Princeton, NY.

THE KHANKH STRONG EARTHQUAKE (2021/01/11 21:32:56 UTC, ML6.5)

Abstract. The strong earthquake with magnitude $M_l 6.5$ ($I_0=7-8$) occurred early in the morning, 12 January at 5:32:56 local time at a shallow depth $\sim 7-10$ km beneath in the middle of Khuvsgul lake nearby Khankh sum, Khuvsgul, Mongolia. It felt in a range of intensity III-V at the capital Ulaanbaatar (~ 600 km). On 27 December of 1991, the citizens of Ulaanbaatar were felt the strong ground shaking of the Busiingol earthquake ($M_l 6.3$, $I_0=7-8$) where occurred Busiingol seismic zone, in the western part of the Khuvsgul seismic active zone. The occurred of the $M_l 6.5$ Khankh earthquake is the latest strong earthquake in Khuvsgul seismic active zone for 30 years since the Busiingol earthquake. The Mongolian National Data Center created a database of Khankh seismic active zone included ~ 90000 aftershocks until 30 September 2021. We did probability density function analysis $f(x)$ for a catalog of Khankh seismic active zone and obtained parameters a , b , and M_c value using the 'ZMAP' seismicity analysis program.

Key Words: *Khankh, strong earthquake, mainshock, afterchock*

МОНГОЛЫН ХҮЧТЭЙ ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН ХУРДАТГАЛЫН МЭДЭЭЛЭЛД ТОХИРОХ ХӨРСНИЙ ШИЛЖИЛТИЙГ ТААМАГЛАХ ТЭГШИТГЭЛҮҮДИЙН СТАТИСТИК ТООЦООЛОЛ

Ам.Мөнхсайхан, Ч.Одонбаатар

ШУА-ийн Одон орон, геофизикийн хүрээлэн

E-mail: munkhsaikhan.a@iag.ac.mn

Хураангуй. Олон улсад стандарт болгон хэрэглэж байгаа GMPE тэгшитгэлүүдээс Монголын нутаг дэвсгэрт болсон хүчтэй газар хөдлөлтийн ажиглалтын мэдээлэлд тохирох GMPE тэгшитгэлийг тооцоолох энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд ажиглалтын мэдээллийг боловсруулах программ хангамжийг Python хэлэнд хөгжүүлэн гаргасан. Уг программыг ашиглан Монголд бүртгэгдсэн дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн нийт 159 станцад (газар хөдлөлтийг бүртгэх байнгын болон нүүдлийн) бүртгэгдсэн 461 хурдатгалын мэдээллээр уг тооцоонд ашиглах ажиглалтын мэдээллийг бүрдүүлсэн болно. Сүүлийн үед өргөн хэрэглэж байгаа GMPE-ийн хувьд дээрх сонгосон $\sim M5.0$ ба $\sim M5.5$ магнитудтай хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн хурдатгалын ажиглалтын мэдээлэлд хамгийн сайн дөхөлттэй GMPE тэгшитгэлийг статистик тооцооллын үнэмшлийн функцийн арга (LH), үнэмшлийн функцийн логарифмын арга (LLH) болон эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх арга (EDR) гэсэн гурван аргуудыг ашиглан тодорхойлсон судалгааны ажлын анхан шатны үр дүнг энэхүү өгүүлэлд багтаасан болно.

Түлхүүр үгс: замхралтын хууль, хөрсний оргил хурдатгал) PGA), үнэмшлийн функцийн арга (LH), үнэмшлийн функцийн логарифмын арга (LLH), эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх арга (EDR).

ОРШИЛ

Өнөө үед хот суурин газрууд хөгжихийн хэрээр хүн амын нягтаршил, өндөр барилгын тоо хурдацтайгаар өсөж байна. Үүнийгээ дагаад байгалийн гамшигт үзэгдлүүдэд өртөх магадлал ихсэж байгаа билээ. Газар хөдлөлт бол томоохон байгалийн гамшигт үзэгдлүүдийн нэг юм. Хүчтэй газар хөдлөлтөөс үүсэх хөрсний шилжилтийг урьдчилан тооцоолж таамаглах нь газар хөдлөлтөөс үүсэж болзошгүй гэнэтийн аюулаас урьдчилан сэргийлэхэд нэн чухал хүчин зүйл болдог.

Иймд тухайн бүс нутгийн газар хөдлөлтийн аюулыг үнэлэх судалгааг хийдэг байна. Газар хөдлөлтийн аюулыг үнэлэх судалгааг суурь болон магадлалт үнэлгээний арга зүйгээр хийж гүйцэтгэдэг. Энэхүү хоёр арга зүйд ашиглагдах үндсэн параметруудын нэг бол Хөрсний шилжилтийг таамаглах тэгшитгэл (GMPE – Ground-Motion Prediction Equation) юм.

Хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтоос тухайн талбайд ирэх хөрсний оргил хурдатгал (PGA – Peak Ground Acceleration)-г илэрхийлэх GMPE-г тооцоолох багажийн буюу ажиглалтын мэдээллийн сан өргөжиж байгаатай холбоотойгоор олон улсад уг тэгшитгэлийг байнга сайжруулсаар байна.

Тухайн судалгааны талбайн газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээнд GMPE-г хэрхэн сонгох вэ гэдэг нь хүндхэн асуудал болоод байгаа билээ (Stewart, J., Douglas, J., Alessandro, C.D., Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., et al., 2012)

Мөн түүнчлэн сонгогдсон GMPE нь судалгааны талбайд хүчтэй газар хөдлөлтийн голомтоос ирэх хөрсний чичирхийллийг бүрэн илэрхийлж байх хэрэгтэй. Өнөөгийн нөхцөлд Монголын хүчтэй газар хөдлөлтийн хурдатгал бичигчийн мэдээллийн сангийн бүрдэлт өөрийн орны GMPE-г бий болгоход

хангалттай биш байгаа ба оронд нь Хойд Америкт болсон хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн мэдээллээр тооцоолсон Chandra (Chandra, 1979) GMPE-г ашиглаж байна.

Энэхүү судалгааны ажлаар сүүлийн үед олон улсад стандарт болгон өргөн хэрэглэж байгаа GMPE (SP-2016 (Shahjouei, A., and Pezeshk, S, 2016); ASK-2014 (Abrahamson, N. A., Silva, W. J., and Kamai, R, 2014); CB-2014 (Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y, 2014); BSSA-2014 (Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., and Atkinson, G. M., 2014); CY-2014 (Chiou, B. S.-J., and Youngs, R. R, 2014); I-2014 (Idriss, 2014) ба Chandra)-г ашиглан Монголд

ОНОЛЫН ҮНДЭС

Газар хөдлөлтийн аюулын суурь болон магадлалт үнэлгээний судалгааны үндсэн оролтын функц нь GMPE юм. Олон улсын эрдэмтэн, судлаач нар газар хөдлөлтийн аюулыг бууруулахаар энэхүү GMPE-г бүс нутгийн эмпирик мэдээллийн санг ашиглан тухайн судалгааны талбайд тохирох тэгшитгэлүүдийг гаргаж авсан байдаг. Доктор Жон Дуглас 1964 оноос 2021 оны хооронд нийт 480 ширхэг GMPE-н судалгаануудыг түүж хэвлэсэн байдаг (Douglas, 2021) (Зураг 1).

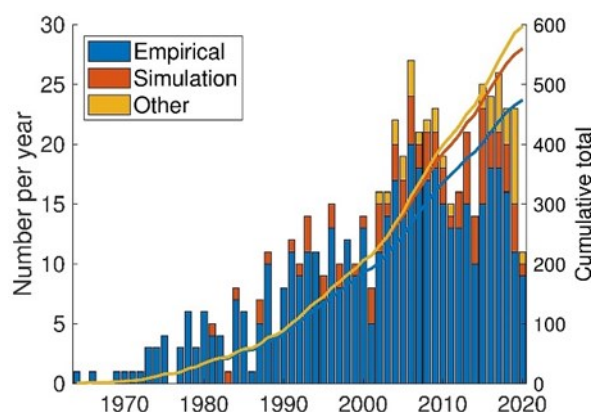
GMPE нь хөрсний шилжилтийн эрчим-баллыг тооцоолдог (Томьёо 1). Энэхүү томьёог ашиглаж хүчтэй газар хөдлөлтөөс үүссэн сейсм долгионы чичирхийллийн тухайн газар хөдлөлтийн голомтоос судалгааны талбай хүртэлх зайны хамаарлыг тооцон таамаглах юм. Тэгшитгэлийн үндсэн хэлбэр нь гарах утгаас хамаарч дараах томьёонуудаар илэрхийлэгдэнэ (McGuire, 2008).

Томьёо 1: Гаралтын утга – Балл (Меркалын шинэчлэгдсэн шаталбараар)

$$MMI = c_1 + c_2 M + c_3 \ln R \quad (1)$$

Үүнд: MMI – Modified Mercalli Intensity; Меркалын шинэчлэгдсэн шаталбар; M – магнитуд; R – эпицентрийн зай.

болсон дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлт (2012/10/03, M5.1; 2021/03/23, M5.5; 2021/04/15, M5.1; 2021/09/23, M5.0)-ийн хурдатгалын мэдээлэлд статистик тооцоолол хийхдээ үнэмшлийн функцийн арга (Likelihood, LH) (Scherbaum, F., F. Cotton, and P. Smith., 2004), үнэмшлийн функцийн логарифм арга (Log-Likelihood, LLH) (Scherbaum, F., E. Delavaud, and C. Riggelsen., 2009) болон эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх арга (Euclidean Distance-Based Ranking method, EDR) (Kale, Ö., Akkar, S., 2013) гэсэн гурван аргыг тус тус хэрэглэж анхан шатны үр дүнг гаргасан болно.



Зураг 1. Хөрсний шилжилтийг таамаглах тэгшитгэлийн судалгааны ажлуудыг хэвлэгдсэн онуудтайн харьцуулсан график. Баруун босоо тэнхлэгт нэг жилд хэвлэгдэж гарсан судалгаануудын тоо, зүүн босоо тэнхлэгт нийт хэвлэгдсэн судалгаануудын тоог тус тус жилээр харуулав. Цэнхэр өнгөөр эмпирик, улаан өнгөөр симуляци, шар өнгөөр бусад аргаар гаргаж авсан тэгшитгэлүүдийг ялав.

Томьёо 2: Гаралтын утга – хөрсний оргил хурдатгал (PGA – Peak Ground Acceleration), хөрсний оргил хурд (PGV – Peak Ground Velocity), спектрал хурдатгал (SA – Spectral Acceleration).

$$Y = b_1 \exp(b_2 M) R^{-b_3} \quad (2)$$

Үүнд: Y - PGA, PGV, SA; M – магнитуд; R – эпицентрийн зай.

M болон R утгуудыг судлаач судалгааны ажилдаа тохируулан сонгож өгнө. Эмпирик аргаар гаргаж авах (c_i) коэффициентууд нь GMPE-г илүү оновчтой болгодог. Томьёо (1) ба томьёо (2)-ийг гаралтын утгаас хамааран газар хөдлөлтийн аюулын суурь болон магадлалт үнэлгээний аргачлалуудын тооцоололд ашигладаг. Томьёо (1) нь томьёо (2)-ийн логарифм хувилбар юм (McGuire, 2008).

Сүүлийн үед дээрх томьёонд газар хөдлөлийн голомт, сейсм долгионы тархалт болон талбайн нөлөөллийг тооцсон параметруудийг нэмж оруулан, сайжруулснаар GMPE-үүд судалгааны талбайд хүчтэй газар хөдлөлтөөс ирэх чичирхийллийг бодитоор үнэлэхэд дөхөм болсоор байна. Уг нэмэлт параметруудад газар хөдлөлтийн гүн, газар хөдлөлтийн голомтын механизм, газар хөдлөлтөөс үүссэн долгионы чиг, хөрсний ба талбайн нөхцөл, алдааны хүрээ гэх мэт орсон байдаг.

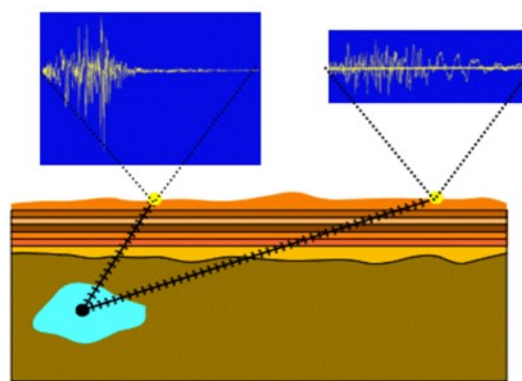
Зарим эрдэмтэн судлаач нар GMPE-г хоёр өөр нэршлээр нэрлэж судалгааны ажилдаа оруулсан байдаг.

СУДАЛГААНЫ АРГА ЗҮЙ

Олон улсад газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээнд хэрэглэгдэж буй стандарт GMPE-ээс тухайн бүс нутагт тохирох тэгшитгэлийг тооцоолоход газар хөдлөлтийн хурдатгалын ажиглалтын мэдээлэлд статистик тооцооллын аргуудыг өргөн хэрэглэдэг. Уг судалгааны тооцоололд статистикийн үнэмшлийн функцийн, үнэмшлийн функцийн логарифмын болон эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх гэсэн гурван аргуудыг ашигласан болно. Эдгээр аргуудыг олон улсын эрдэмтэн судлаач нар GMPE-н тооцоолол хийхдээ түлхүү ашигладаг ба уг аргуудыг ашигласан тооцооллын үр дүнгээр олон арван судалгааны бүтээлүүд хэвлэгдсэн байдаг (Kale, Ö., Akkar, S., 2013).

Газар хөдлөлтийн магнитудаас хамаарахгүйгээр эпицентрийн зай ихсэхэд сейсм долгионы далайц-амплитуд буурах үзэгдлийг “замхралтын хууль” гэх ба харин томьёоны коэффициентуудыг математик аргаар гаргаж авсныг “регрессийн модель” гэж тус тус нэрлэж ашигладаг байна (IAEA-TECDOC-1796, 2016) (Зураг 2).

Анхны замхралтын муруйн тэгшитгэлийг тооцох судалгааг Канай (Kanaï, 1961) болон Эстэва, Росенблүт (Esteva, L. and E. Rosenblueth, 1964) нар хийж байжээ (Cornell, 1968).



Зураг 2. Эпицентрийн зайнаас хамаарсан сейсм долгионы замхралт. (Lecture of Earth Dynamic and Natural Hazards, Montpellier II, France)

Үнэмшлийн функцийн арга:

Энэхүү статистик тооцооллын арга нь хүчтэй газар хөдлөлтийн хурдатгалын мэдээллийг боловсруулж гаргасан утгуудын логарифм ба GMPE-ээс бодож гаргасан утгуудын логарифмын ялгаврын (цаашид “нормчлогдсон ресидуал” гэе) анализ дээр суурилсан юм.

$$\ln(residual) = \frac{\ln(PGA_{observed}) - \ln(PGA_{predicted})}{\sigma_{model}} \quad (3)$$

Үүнд: *residual* – нормчлогдсон ресидуал,

σ_{model} – GMPE-н стандарт хазайлт,

$PGA_{observed}$ – ажиглагдсан PGA утга,
 $PGA_{predicted}$ – таамагласан PGA утга.

Нормчлогдсон ресидуал тооцоололд түүний дундаж утга болон стандарт хазайлтын утга нь нормчлогдсон ресидуал утгуудын тархалтын нягтын функцийн графикт анализ хийхэд чухал үүрэгтэй байдаг (Зураг 4 ба 5). Нормчлогдсон ресидуалын дундаж утга “0”-тэй тэнцүү, харин стандарт хазайлтын утга нь “1”-ээс бага байвал ажиглагдсан PGA утгууд нь таамагласан PGA утгуудтай дөхөлт сайтай байгааг илэрхийлнэ.

Нормчлогдсон ресидуал утгуудын дундаж утгыг дараах томъёогоор илэрхийлнэ.

$$\mu_{residual} = \frac{\sum \ln(residual)}{N} \quad (4)$$

Үүнд: $\mu_{residual}$ – нормчлогдсон ресидуалын дундаж утга, N – ресидуал утгуудын нийлбэр тоо.

Нормчлогдсон ресидуал утгуудын стандарт хазайлтыг дараах томъёогоор олно.

$$std = \sqrt{\frac{\sum (\ln(residual) - \mu_{residual})^2}{N}} \quad (5)$$

Үүнд: std – стандарт хазайлт, $\mu_{residual}$ – нормчлогдсон ресидуалын дундаж утга, N – нормчлогдсон ресидуал утгуудын нийлбэр тоо.

Нормчлогдсон ресидуал утга (z_0) -уудыг дараах үнэмшлийн функцийн томъёо-нд орлуулж, гарсан утгуудаас медиан утгыг бодсоноор үнэмшлийн функцийн утгуудыг олно (Scherbaum, F., F. Cotton, and P. Smith., 2004).

$$LH(|z_0|) \equiv 2 \cdot u(|z_0|) = \text{Erf}\left(\frac{z_0}{\sqrt{2}}, \infty\right) \quad (6)$$

Үнэмшлийн функцийн гаралтын утгуудаас медиан утгыг тооцоолж, үнэмшлийн функцийг нэг утгаар илэрхийлдэг. Үнэмшлийн функцийн медиан утга нь $|z_0| = 0$ үед хамгийн их буюу “1” утгыг

авна. Харин $|z_0| = \infty$ үед $LH = 0$ -тэй тэнцүү байна. Үнэмшлийн функцийн медиан утга их байх тусам GMPE-ийн таамагласан утгуудтай дөхнө.

Үнэмшлийн функцийн логарифм арга:

Үнэмшлийн функцийн аргыг дэвшүүлсэн судлаач нар уг аргыг сайжруулж, үнэмшлийн функцийн логарифм аргыг бий болгосон (Scherbaum, F., E. Delavaud, and C. Riggelsen., 2009). Үнэмшлийн функцийн логарифм арга нь дараах томъёогоор илэрхийлэгдэнэ.

$$LLH(g, x) := -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_2(g(x_i)) \quad (7)$$

Үүнд: x_i – ажиглагдсан PGA утгууд, $g(x_i)$ – Үнэмшлийн функц, N – Үнэмшлийн функцийн утгуудын нийлбэр тоо.

Томъёоноос гарсан утга бага байх тусам GMPE-н таамагласан утгуудтай ойртоно.

Эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх арга:

Өөр нэг статистикийн арга бол эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх арга юм. Энэхүү арга нь эвклидын зайн тухай ойлголтыг сайжруулж, ажиглагдсан утгуудаар GMPE-г эрэмбэлдэг ба дээр дурдсан хоёр аргатай харьцуулахад тооцооллын үйлдэл ихтэй байдаг. Эвклидын зайн тухай ойлголт нь ресидуал анализтай тун төстэй (Kale, Ö., Akkar, S., 2013). Эвклидын зайн томъёог дараах

байдлаар илэрхийлнэ.

$$DE^2 = \sum_{i=1}^N (p_i - q_i)^2 \quad (8)$$

Үүнд: p_i – ажиглагдсан PGA утга, q_i – таамагласан PGA утга.

Сайжруулсан эвклидын зайн дискрет тэгшитгэл нь дараах магадлалын тэгшитгэлээр илэрхийлэгдэнэ.

$$MDE_d = \sum_{j=1}^n |d_j| \Pr(|D| < d_j) \quad (9)$$

Үүнд: D – ресидуал, d_j – ресидуалын дискрет утга.

κ параметр буюу хазайлтын зэргийг

ажиглагдсан PGA утгууд ба таамагласан PGA утгуудын харьцаагаар илэрхийлэгдэх дараах томъёогоор тодорхойлно.

$$\kappa = \frac{DE_{original}}{DE_{corrected}} \quad (10)$$

Үүнд: $DE_{original} = DE$, $DE_{corrected}$ – засварлагдсан DE .

Дээрх (6, 7, 8) томъёонуудын гаргалгаагаар эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх аргын томъёог гаргаж авна.

$$EDR^2 = \kappa \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MDE_i^2 \quad (11)$$

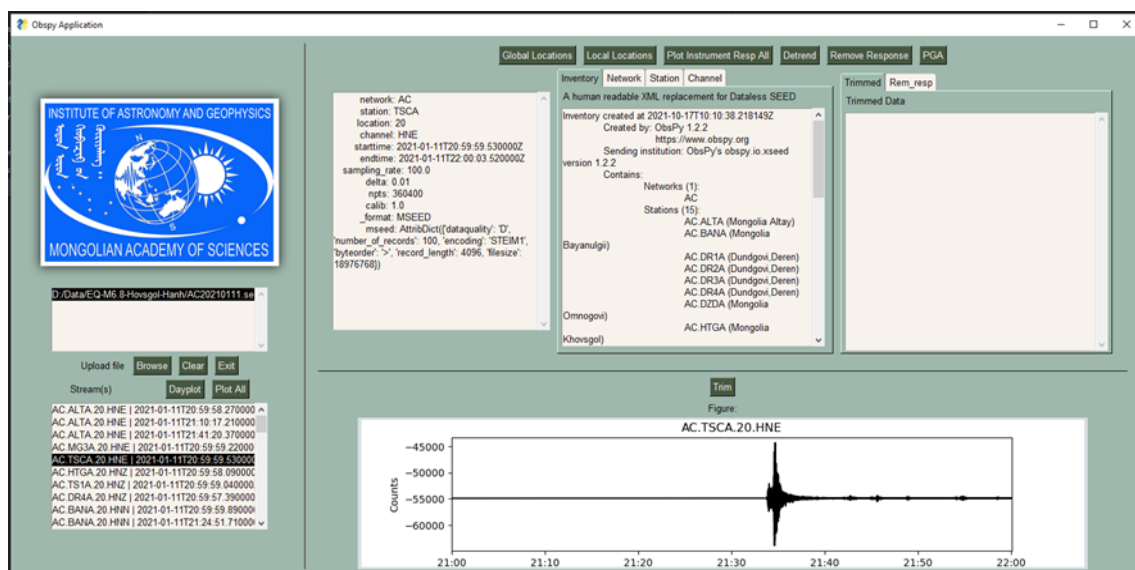
МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Статистик тооцоололд ашиглах газар хөдлөлтүүдийн бюллетень (GSE2.0 форматтай)-ийг магнитуд нь M5.0–5.5 хооронд байхаар сонгон, Үндэсний Мэдээллийн Төв (YMT)-ийн газар хөдлөлтийн нэгдсэн мэдээллийн сангаас авч, GMPE тооцоолол хийх шаардлага хангасан дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлт (Хүснэгт 1)-ийн хурдатгалын мэдээллийг судалгааны ажлын хүрээнд сайжруулан хөгжүүлсэн “Obspy” программаар боловсруулж, PGA утгуудыг тооцоолон гаргав (сейсмометр бүхий станцын ажиглалтын мэдээлэл хурдаар гарах тул хурдатгалд хөрвүүлсэн болно).

Энэхүү сонгосон газар хөдлөлтүүдийн 300 км-ийн эпицентрийн зайн радиус дотор байрлах нийт 159 станцад (газар хөдлөлтийг бүртгэх байнгын болон нүүдлийн) бүртгэгдсэн 461 ажиглалтын хурдатгалын мэдээлэлд боловсруулалт хийхээр сонгож авсан. Үүнээс газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээнд багажийн хэвтээ байгуулагчид бичигдсэн хурдатгалын утгыг өргөн ашигладаг тул Хойд-Урд (North-South, NS)

ба Өрнө-Дорно (East-West, EW) байгуулагчид бүртгэгдсэн 265 ширхэг хурдатгалын мэдээллийг тооцоололд ашигласан болно. Жишээлбэл: Улаанбаатарын цагаар 2021 оны 1 сарын 12-ны 05:32:56 цагт Хөвсгөл аймгийн Ханх суманд болсон M6.5 хүчтэй газар хөдлөлт болон түүний хамгийн хүчтэй давталт хөдлөлт (2021/05/03, M6.3)-үүдийн бичлэг ханасан утга өгсөн учраас мэдээлэл боловсруулалтаас хассан.

Уг судалгааны ажлын хүрээнд мэдээлэл боловсруулалтыг хийдэг “Obspy” программыг хялбаршуулах зорилт тавин ажилласан ба “PySimpleGUI” программыг ашиглан стандарт “Obspy” программыг интерактив хэлбэрт оруулж, ажиллахад хялбар болгон сайжруулан хөгжүүлсэн болно (Зураг 3). Статистик тооцооллын LH, LLH аргуудын боловсруулалтын программыг MATLAB хэлэнд бичсэн ба харин EDR аргыг хэрэглэн тооцоолол хийдэг MATLAB хэлэнд бичигдсэн код (Kale, Ö., Akkar, S., 2013) байсныг шууд ашигласан болно.



Зураг 3. “Obspy” программыг ажиллахад хялбар болгон, интерактив хэлбэрт оруулан хөгжүүлсэн байдал

Хүснэгт 1. Сонгогдсон хүчтэй газар хөдлөлтүүд

Газар хөдлөлт болсон хугацаа (UTC)	Өргөрөг (°)	Уртраг (°)	Магнитуд (M)	Бүртгэгдсэн станцын тоо	Хурдатгалын мэдээллийн тоо	Хөдлөлтийн газарзүйн байрлал
2021/09/23 00:03:48	44.94	100.66	5.0	48	144	Жаргалант, Төв аймаг
2021/04/15 16:42:02	51.21	100.36	5.1	4	12	Ханхын давтан хөдлөлт, Хөвсгөл аймаг
2021/03/23 14:46:54	46.77	108.33	5.5	38	98	Чойр, Говь-Сүмбэр аймаг
2012/10/03 22:23:21	46.82	98.07	5.4	69	207	Баянбулаг, Баянхонгор аймаг

ТООЦООЛЛЫН ҮР ДҮН

MATLAB R2015b программ хангамж дээр LH, LLH аргуудын кодыг нэгтгэн бичиж, M5.0 ба M5.5 магнитудтай дөрвөн хүчтэй газар хөдлөлтийн мэдээлэлд GMPE-н статистик тооцоолол хийв. Тооцоололд магнитудын хязгаарыг M5.0-M5.5 гэж оруулан, боловсруулалтын үр дүнгийн харьцуулалт хийсэн. Статистикийн LH болон LLH аргуудын утгыг тооцоолоход тэгшитгэл (3)-г ашиглана. Энэ үйлдэл нь ажиглагдсан утгууд ба таамагласан утгуудын хооронд дөхөлт хэр байгааг харуулдаг (Зураг 4а ба 5а). Уг тооцооллоор гарсан утгуудад тархалтын нягтын функцийн тооцоолол хийсэн (Зураг 4б ба

5б). Тархалтын нягтын функцийн дундаж утга нь “0”, стандарт хазайлт нь “1” байвал LH аргын тооцооллын медиан утга нь 0.5-тай тэнцүү байна (Scherbaum, F., F. Cotton, and P. Smith., 2004). Дундаж утга өөрчлөгдөхгүй харин стандарт хазайлт бага байх тусам LH аргаар тооцсон медиан утга нь 1 рүү дөхнө. Өөрөөр хэлбэл ажиглагдсан PGA утгууд нь таамагласан PGA утгуудтай ойролцоо байна гэсэн үг. Тооцооллыг LH аргаар хийхэд томьёо (6)-г ашиглаж, гарсан үр дүнгээс медиан утгын бодож олдог (Зураг 4с ба 5с). Энэ тооцооллын дараа томьёо (7)-ыг ашиглан тооцоолсон LLH аргын утгыг, томьёо (11)-ыг ашиглан EDR

аргын утгыг тус тус тооцоолно. EDR арга LH, LLH аргуудтай харьцуулбал илүү их тооцоолол шаарддаг хэдий ч ресидуал анализ хийдгээрээ өмнөх аргуудтайгаа төстэй юм. Ресидуалыг бодохдоо эхлээд томьёо (8)-г ашиглах ба үүнээс гарсан үр дүнг томьёо (9)-д оруулан тооцож гаргана. параметр нь ажиглагдсан PGA утгууд ба таамагласан PGA утгуудын хазайлтын зэргийг тодорхойлдог ба томьёо (10)-г ашиглаж тооцоолно.

Эцэст нь томьёо (11)-г ашиглан EDR аргаар утгыг тооцоолно. M5.0 болон 5.5 магнитудтай газар хөдлөлтийн хувьд дээрх аргуудаар тооцсон дөхөлтийн утгуудыг хүснэгт 2 ба 3-т үзүүлэв.

Хүснэгт 2-д үзүүлсэн M5.0 магнитудтай газар хөдлөлтийн хувьд тооцоологдсон GMPE-н утгуудыг харахад SP-2016-ын GMPE нь статистик тооцооллын аргуудын нөхцөлүүдийг бусад GMPE-г бодоход илүү хангасан харагдаж байна. Дараагийн дөхөлтийн утга сайтай GMPE нь ASK-2014 байна.

Хүснэгт 3-д үзүүлсэн M5.5 магнитудтай газар хөдлөлтийн хувьд тооцоологдсон утгуудыг харахад I-2014-ын GMPE нь статистик аргуудын нөхцөлүүдийг сайн хангаж байна. Мөн ASK-2014 болон CY-2014 GMPE-үүдийн

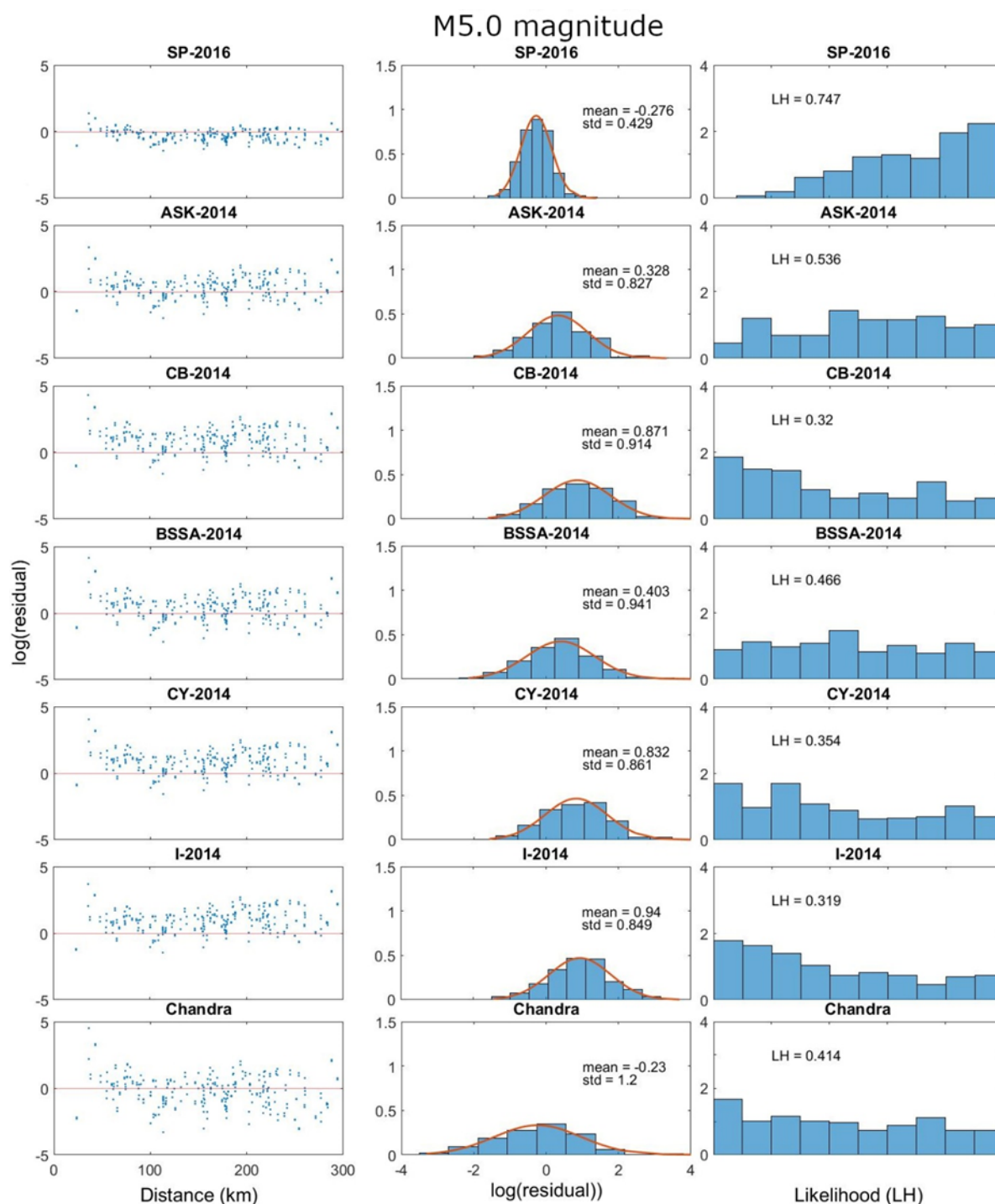
дөхөлтийн утгууд нь статистик аргуудын нөхцөлүүдийг сайн хангаж байгаа ба ерөнхийдөө I-2014-ын дөхөлтийн утгуудтай ойролцоо байна.

M5.0 болон M5.5 магнитудын статистик тооцооллын EDR арга дээр Chandra-ын GMPE-ийн утгууд нь бусад (SP-2016, ASK-2014, CB-2014, BSSA-2014, CY-2014, I-2014) GMPE-үүдийн EDR арга дээрх утгуудтай харьцуулахад статистик аргын нөхцөлийг илүү хангаж байгаа боловч LH ба LLH аргууд дээр бусад GMPE-үүдийн утгуудыг бодвол статистик аргуудын нөхцөлүүдийг хангалттай сайн хангаж чадахгүй байна.

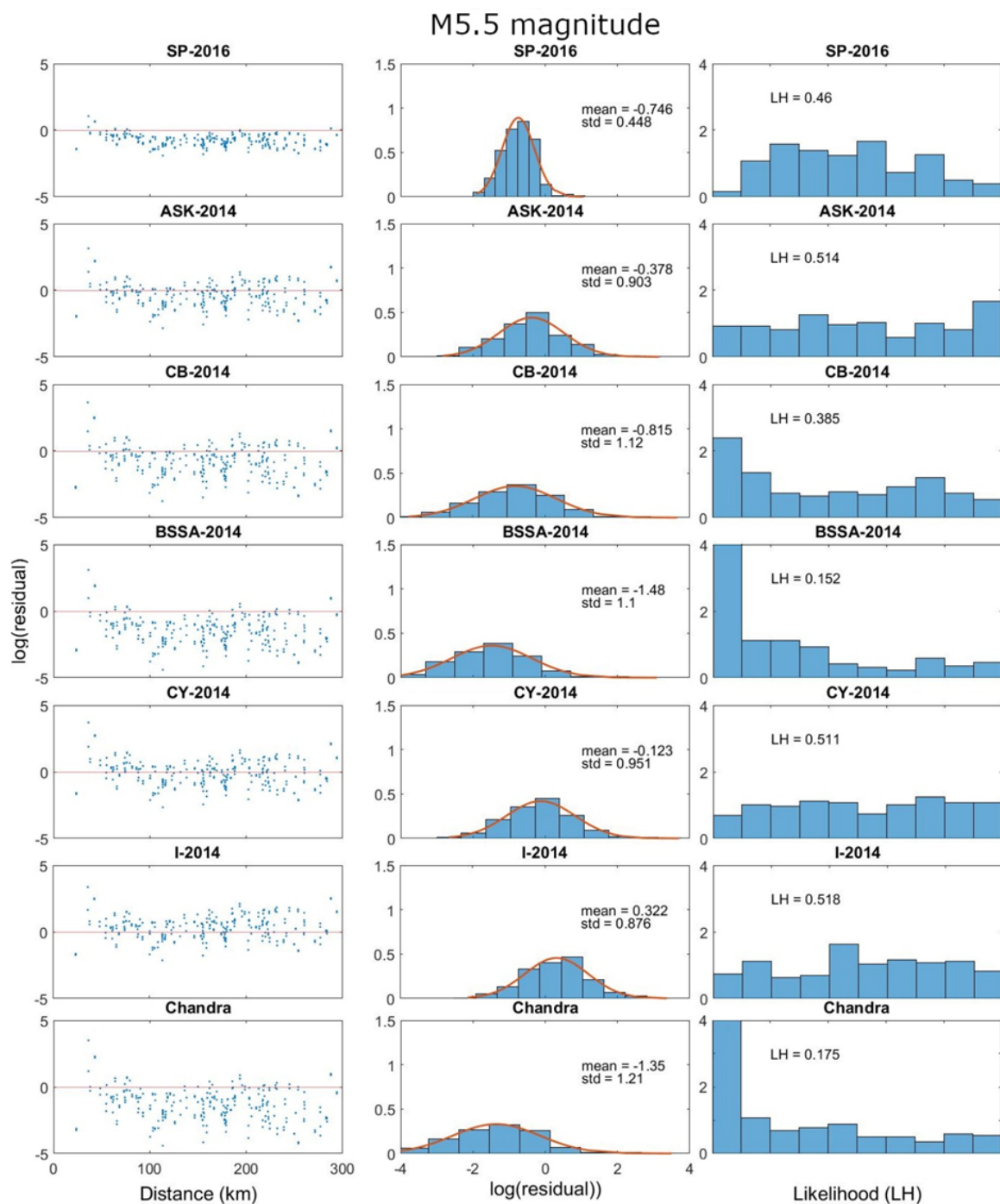
Энэхүү судалгааны тооцооллын үр дүнгээс харахад M5.0 магнитудын газар хөдлөлтийн мэдээлэлд хийсэн статистик тооцоон дээр ажиглагдсан PGA утгуудтай хамгийн сайн дөхөлттэй нь SP-2016-ын GMPE, удаах нь ASK-2014-ын GMPE байна. Харин M5.5 магнитудын статистик тооцоололд ажиглагдсан PGA утгуудтай хамгийн сайн дөхөлттэй нь Idriss-2014-ын GMPE, удаах нь CY-2014 болон ASK-2014-ын GMPE-үүд байна. Үүнээс үзэхэд статистик тооцоололд магнитуд нь ихсэхэд дагаад GMPE-үүд статистик тооцооллын аргуудын нөхцөлүүдийг хангах байдал нь ялгаатай байгаа нь харагдаж байна (Зураг 6, Зураг 7).

Хүснэгт 2. M5.0 магнитудын хувьд тооцоолсон статистик аргуудын утгууд GMPE тус бүрээр. Статистик аргуудын нөхцөлийг сайн хангасан утгуудыг тоогоор эрэмбэлэв.

M5.0 магнитуд							
GMPE	Товчлол	GMPE	Ресидуал		Статистик аргууд		
		Стандарт Хазайлт	Стандарт Хазайлт	Дундаж утга	LH	LLH	EDR
Shahjoei & Pezensk. (2016)	SP-2016	0.698	0.300	-0.193	0.747¹	0.596¹	0.829²
Abrahamson et al. (2014)	ASK-2014	0.792	0.655	0.260	0.536²	1.230²	1.008
Campbell & Bozorgnia. (2014)	CB-2014	0.714	0.653	0.622	0.320	2.047	1.335
Boore et al. (2014)	BSSA-2014	0.702	0.661	0.283	0.466	1.493	1.024
Choiu & Youngs. (2014)	CY-2014	0.771	0.664	0.642	0.354	1.886	1.351
Idriss. (2014)	I-2014	0.775	0.658	0.728	0.319	2.064	1.402
Chandra. (1979)	Chandra	0.240	0.288	-0.055	0.414	1.904	0.402¹



Зураг 4. M5.0 магнитуд хувьд статистик тооцооллын аргуудыг ашиглаж, GMPE-г MATLAB хэлэнд бичигдсэн программ дээр тооцоолсон графикууд. а) ажиглагдсан PGA утгууд ба таамагласан PGA утгуудын ялгавар буюу резидуал ба зайны хамаарлын графикууд. б) резидуалын тархалтын нягтын функцийн графикууд. Улаан муруй нь графикийн нормал түгэлтийг илэрхийлнэ. в) резидуалын тархалтын нягтын функцийн медиан утгын график.



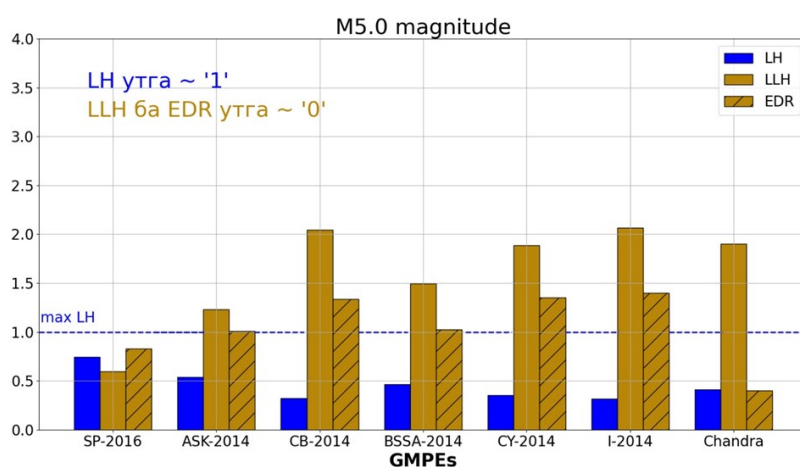
Зураг 5. M5.5 магнитуд хувьд статистик тооцооллын аргуудыг ашиглаж, GMPE-г MATLAB хэлэнд бичигдсэн программ дээр тооцоолсон графикууд. а) ажиглагдсан PGA утгууд ба таамагласан PGA утгуудын ялгавар буюу резидуал ба зайны хамаарлын графикууд. б) резидуалын тархалтын нягтын функцийн графикууд.

Улаан муруй нь графикийн нормал түгэлтийг илэрхийлнэ.

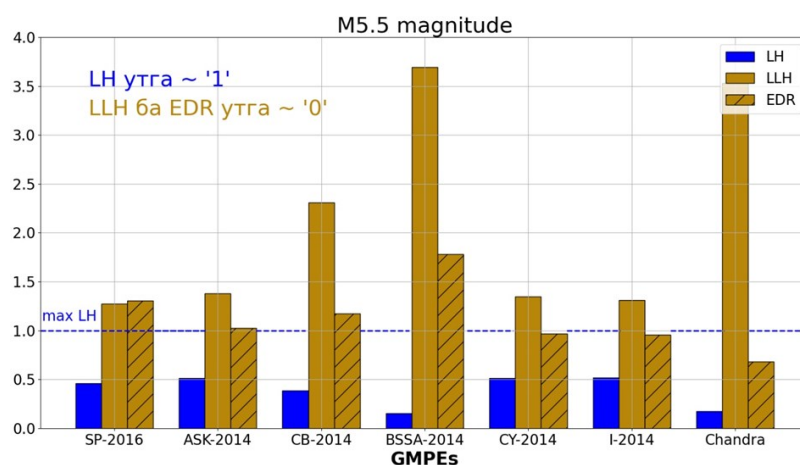
с) резидуалын тархалтын нягтын функцийн медиан утгын график.

Хүснэгт 3. M5.5 магнитудын хувьд тооцоолсон статистик аргуудын утгууд GMPE тус бүрээр. Статистик аргуудын нөхцөлийг сайн хангасан утгуудыг тоогоор эрэмбэлэв.

M5.5 магнитуд							
GMPE	Товчлол	GMPE	Ресидуал		Статистик аргууд		
		Стандарт Хазайлт	Стандарт Хазайлт	Дундаж утга	LH	LLH	EDR
Shahjouei & Pezensk. (2016)	SP-2016	0.679	0.304	-0.507	0.460	1.273¹	1.302
Abrahamson et al. (2014)	ASK-2014	0.728	0.658	-0.275	0.514²	1.377	1.024
Campbell & Bozorgnia. (2014)	CB-2014	0.588	0.661	-0.479	0.385	2.311	1.173
Boore et al. (2014)	BSSA-2014	0.605	0.669	-0.896	0.152	3.692	1.781
Choiu & Youngs. (2014)	CY-2014	0.703	0.668	-0.087	0.511	1.347	0.966
Idriss. (2014)	I-2014	0.745	0.653	0.240	0.518¹	1.312²	0.955²
Chandra. (1979)	Chandra	0.240	0.289	-0.325	0.175	3.529	0.681¹



Зураг 6. M5.0 магнитуд хувьд статистик тооцооллын аргуудыг ашиглаж гаргасан үр дүнгийн график. Хөх өнгөөр LH статистик аргыг, улбар шар өнгөөр LLH арга болон EDR статистик аргыг тус тус илэрхийлэв. LH аргын үр дүнгийн утга нь '1' рүү тэмүүлж байвал дөхөлт сайтай харин LLH болон EDR аргуудын үр дүнгийн утгууд нь '0' рүү тэмүүлж байвал дөхөлт сайтай байгааг илэрхийлнэ.



Зураг 7. M5.5 магнитуд хувьд статистик тооцооллын аргуудыг ашиглаж гаргасан үр дүнгийн график. Хөх өнгөөр LH статистик аргыг, улбар шар өнгөөр LLH арга болон EDR статистик аргыг тус тус илэрхийлэв. LH аргын үр дүнгийн утга нь '1' рүү тэмүүлж байвал дөхөлт сайтай харин LLH болон EDR аргуудын үр дүнгийн утгууд нь '0' рүү тэмүүлж байвал дөхөлт сайтай байгааг илэрхийлнэ.

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажлаараа сүүлийн үед олон улсад стандарт болгон өргөн хэрэглэж байгаа GMPE (SP-2016; ASK-2014; CB-2014; BSSA-2014; CY-2014; I-2014 ба Chandra)-ийн хувьд Монголд болсон хүчтэй газар хөдлөлт (2012/10/03, M5.1; 2021/03/23, M5.5; 2021/04/15, M5.1; 2021/09/23, M5.0)-үүдийн хурдатгалын ажиглалтын мэдээлэлд хамгийн сайн дөхөлттэй GMPE тэгшитгэлийг тодорхойлох анхан шатны ажлыг хийж гүйцэтгэв.

Статистик тооцооллыг хийхдээ үнэмшлийн функцийн арга (LN), үнэмшлийн функцийн логарифмын арга (LLN), эвклидын зайд суурилсан эрэмбэлэх (EDR) аргуудыг тус тус ашиглав.

Газар хөдлөлтүүдийн мэдээллээс хөрсний оргил хурдатгал (ажиглагдсан PGA утга)-г тооцоолох Python хэлэнд бичигдсэн “Obspy” программыг ашиглахад хялбар болгох үүднээс интерактив болгон хөгжүүлж ашигласан болно. Энэ нь бусад судлаачид хэрэглэхэд ойлгомжтой, хялбар байхаас гадна хамгийн чухал нь мэдээлэл боловсруулалтын цагийг хэмнэсэн ач холбогдолтой байна.

Энэхүү судалгааны тооцооллын үр дүнгээс харахад M5.0 магнитудын газар

хөдлөлтийн мэдээлэлд хийсэн статистик тооцоон дээр ажиглагдсан PGA утгуудтай хамгийн сайн дөхөлттэй нь SP-2016-ын GMPE, удаах нь ASK-2014-ын GMPE байна. Харин M5.5 магнитудын газар хөдлөлтийн мэдээллийн хувьд хамгийн сайн дөхөлттэй нь I-2014-ын GMPE, удаах нь CY-2014-ын болон ASK-2014-ын GMPE-үүд байна.

Дээрх статистик тооцооллын үр дүнгээс харахад газар хөдлөлтийн магнитудын хүчний хэмжээ өөрчлөгдөхөд ажиглагдсан PGA утгууд статистик тооцоололд ашигласан GMPE-үүдийн таамагласан PGA утгуудтай дөхөх дөхөлт нь өөрчлөгдөж байна. Зарим GMPE-үүдийн хувьд энэ дөхөлт нь огцом өөрчлөлт үзүүлж байгаагаас дүгнэхэд уг тооцоололд ашигласан газар хөдлөлтийн хурдатгалын мэдээлэл хангалттай биш байна гэж үзэж байна.

Цаашдын судалгаанд боломжит бүхий л магнитудтай газар хөдлөлтийн хурдатгалын мэдээллээр ажиглалтын мэдээллийн санг өргөжүүлэх, мөн бусад олон улсын стандарт GMPE-үүдийг тооцоололд нэмж оруулах замаар уг судалгааг сайжруулах шаардлагатай байна.

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг хийж гүйцэтгэх боломжийг бүрдүүлж өгсөн Хүрээлэнгийн Газар хөдлөлт судлах салбарын хамт олон болон Газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээний

лабораторийн эрдэм шинжилгээний ажилтан Д.Анхцэцэгт гүн талархал илэрхийлье.

НОМЗҮЙ

- Abrahamson, N. A., Silva, W. J., and Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025-1055.
- Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., and Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV,

and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra* 30, 1057–1085.

- Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y. (2014). NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra.

- Earthquake Spectra*, 30(3), 1087-1115.
- Chandra, U. (1979). Attenuation of Intensities in the United States. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 69, no. 6, 2003–2024.
- Chiou, B. S.-J., and Youngs, R. R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117-1153.
- Cornell, C. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bull. Seismo. Soc. Am.* 58, 1583–1606.
- Douglas, J. (2021). Ground Motion Prediction Equations 1964-2021, Department of Civil and Environmental Engineering. *University of Strathclyde, United Kingdom*.
- Esteva, L. and E. Rosenblueth. (1964). Spectra of earthquakes at moderate and large distances. *Soc. Mex. de Ing. Sismica, Mexico II*, 1-18.
- (2016). *IAEA-TECDOC-1796*. Vienna: International Atomic Energy Agency .
- Idriss, I. M. (2014). An NGA-West2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra* 30, 1155–1177.
- Kale, Ö., Akkar, S. (2013). A New Procedure for Selecting and Ranking Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs): The Euclidean Distance-Based Ranking (EDR) Method,. *Bull. Seismo. Soc. Am.* 103, no. 2A,, 1069-1084.
- Kanai, K. (1961). An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions. *Bull. Eq. Res. Inst.* 39, 85-95.
- McGuire, R. (2008). Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Early History. *Earthquake Engng Struct. Dyn.* 2008, 37:329–338.
- Scherbaum, F., E. Delavaud, and C. Riggelsen. (2009). Model selection in seismic hazard analysis: An information-theoretic perspective. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 99, no. 6, 3234-3247.
- Scherbaum, F., F. Cotton, and P. Smith. (2004). On the use of response spectral-reference data for the selection and ranking of ground-motion models for seismic-hazard analysis in regions of moderate seismicity. *The case of rock motion, Bull. Seismol. Soc. Am.* 94, no. 6, 2164–2185.
- Shahjoui, A., and Pezeshk, S. (2016). Alternative Hybrid Empirical Ground-Motion Model for Central and Eastern North America Using Hybrid Simulations and NGA-West2 Models. *Bull. Seismo. Soc. Am.* 106(2), 734-754.
- Stewart, J., Douglas, J., Alessandro, C.D., Bozorgnia, Y., Abrahamson, N.A., et al. (2012). Selection of a Global Set of GMPEs for the GEM-PEER Global GMPEs Project. *15th World Conference on Earthquake Engineering: 15th WCEE*, Sep 2012, Lisbon, Portugal. in press, 9 p.hal-00700139.

STATISTICAL ESTIMATION OF GROUND-MOTION PREDICTION EQUATIONS (GMPEs) FOR STRONG EARTHQUAKE DATA IN MONGOLIA

Abstract. In the last decades, most of the countries have been estimating and developing Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs) for seismic hazard analysis by increasing accelerometer stations data in their country. However, with an increasing number of new GMPEs, it became a big issue for the researchers to choose the correct GMPE for their research. In some case, the countries in low seismicity regions are employing GMPE that provided by international researchers, which is the best fitting model with observed acceleration data, for seismic hazard calculation in the region. For selecting the right GMPE in the region, the researchers have been using statistical calculation methods such as the Likelihood method (LH), Log-Likelihood method (LLH), and Euclidean distance-based ranking method (EDR). In this study, I developed scripts using the Py-

thon programing language to process peak ground acceleration (PGA) data of four strong earthquakes in Mongolia. For the processing data, 461 acceleration data from 159 stations are used. Also, I wrote scripts in MATLAB for statistical calculation of the earthquakes, the magnitudes vary between M5.0 to M5.5. Here, we present the preliminary results of the study in statistical estimation of GMPEs using the acceleration data of strong earthquakes in Mongolia.

Key words: *peak ground acceleration (PGA), likelihood method (LH), log-likelihood method (LLH), Euclidean distance-based ranking method (EDR)*

МОНГОЛЫН НУТАГ ДЭВСГЭР ДЭХ ГЕОСОРОНЗОН ОРНЫ D-ЭЛЕМЕНТИЙН ТҮГЭЛТИЙН ЗУРАГЛАЛ 2020

Т.Насан-очир, Г.Баянжаргал, Ш.Цэрэндүг, С.Ганцогт, Б.Амаржаргал

*nasan_2003@yahoo.com, gbayan27@yahoo.com, tserendug@iag.ac.mn,
gosha99@yahoo.com, amarjargal98@iag.ac.mn*

Хураангуй. Энэ өгүүллэгт Монгол орны нутагт жигд тархсан эриний хувьсалтын 36 цэгт геосоронзон орны D-элементийн утгыг шинэчлэн тогтоов. Эдгээр утгуудыг ашиглан Монгол улсын нутаг дахь геосоронзон орны D-элементийн түгэлтийн зураглалыг 2020-оны байдлаар сплайн интерполяцийн аргаар дөхөлт хийж тодорхойлсон болно. Түвшинширээ, Баянлиг, Тосонцэнгэл зэрэг сумдад нэмж ЭХЦ-ийг шинээр байгуулсан. Монгол орны геосоронзон орны D-элементийн утга нь -9.36079^0 -аас 3.86486^0 хооронд утгатай байна.

Түлхүүр үгс: эриний хувьсалт, геосоронзон орны түгэлт

ОРШИЛ

1960-аад онд БНМАУ-д иргэний нисэхийн сүлжээ үүсжээ. GPS-ийн сүлжээ үүсээгүй тэр үед зүг чигийг тогтоохдоо геосоронзон орны хазайлт буюу D-элементийг ашигладаг байв. Ингээд Монгол орны нийт нутаг дэвсгэрийн соронзон орны D элементийн түгэлтийн зураглалыг хийх шаардлага үүссэн байна.

1960-аад онд ИНЕГ ба ШУА-тай хамтарсан төсөл хэрэгжүүлж, олон улсын IGRF загварын шинэчлэгдэх хугацаатай давхцуулан 5 жилийн давтамжтай Монгол орны нутагт жигд тархсан 33 цэгт эриний хувьсалтын хэмжилтийг хийж,

геосоронзон орны D элементийн түгэлтийн зураглалыг гаргах ажлыг эхлүүлжээ.

Зураг 1-т эриний хувьсалтын хэмжилт хийдэг цэгүүдийг үзүүлэв. Уг цэгүүд нь орон нутгийн нисэх буудлууд орчим байрлуулсан хөдөлгөөнгүй цэгүүд юм. 2020 онд хийсэн эриний хувьсалтын судалгаагаар дээрх цэгүүдийг өргөтгөн 36 болгож нэмсэн.

Энэ өгүүллэгийн зорилго нь 2020-оны хээрийн судалгаагаар 36 цэгт хэмжсэн утгуудыг ашиглан Монголын нутаг дэвсгэр дээрх геосоронзон орны D элементийн түгэлтийг шинэчлэн гаргах юм.

ОНОЛЫН ҮНДЭС

Дэлхийн гадарга дээр хэмжигдэж байгаа геосоронзон орон нь олон эх үүсвэр, вариантай нийлмэл орон юм.

$$B = M + m + B_r + B_{rv} + B_a \quad (1)$$

M -дэлхийн дотоод цөмд үүсгэгчтэй хүчтэй туйлт орон, m -эриний хувьсалт, B_r

-гадаад эх үүсвэртэй орон, B_{rv} -гадаад эх

үүсвэртэй орны варианс, B_a -литосферт үүсгүүртэй аномаль соронзон орон болно. Дээрх илэрхийллийн эхний хоёр гишүүн нь

үндсэн орон юм. Энэ ($M+m$) нийлбэр нь нийт орны эрчмийн 90%-ийг эзэлдэг. Үндсэн орныг судалж байх үед (1) илэрхийллийн гадаад эх үүсвэртэй орон, түүний вариацийн нөлөөг устгах ёстой.

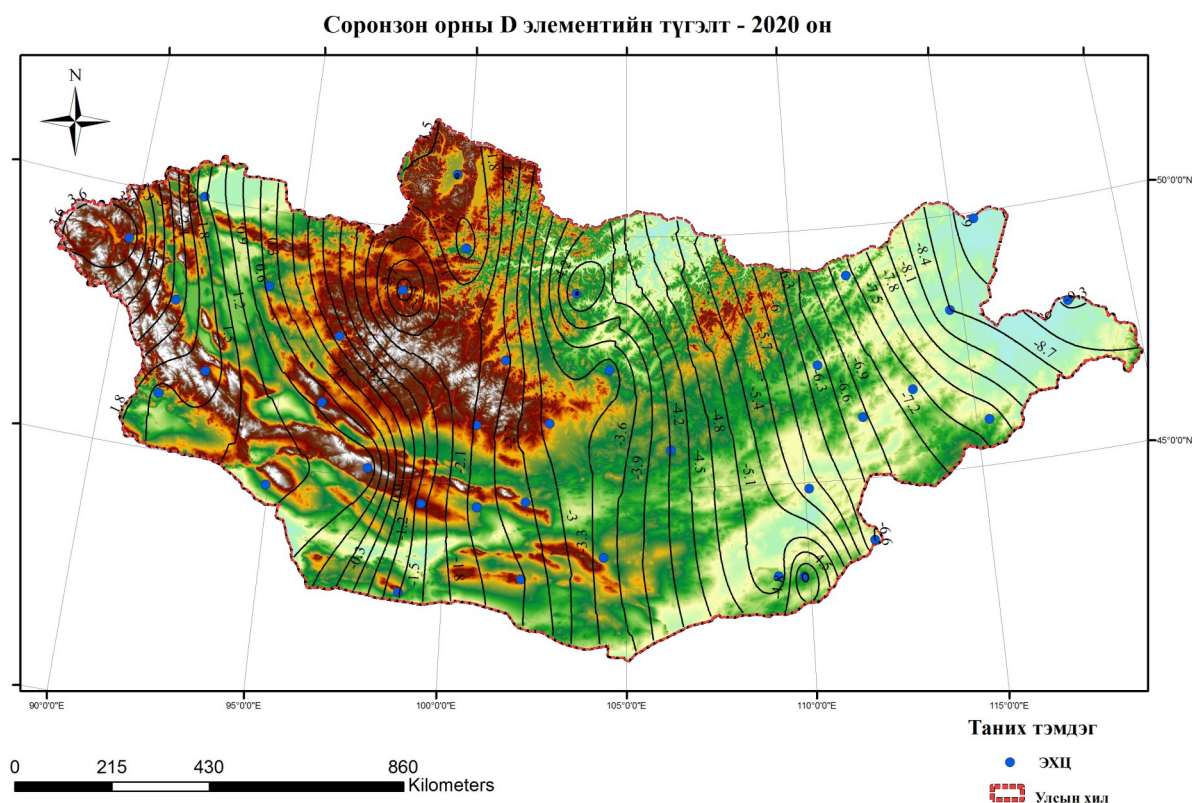
Дэлхийн температур гүн рүүгээ нэмэгддэгээс болж дотоод цөм, шингэн цөм, манти, литосфер зэрэг давхаргууд нь анизотроп шинж чанараа алдсан байдаг. Иймд нэвтэрч буй соронзон орон нь зөвхөн радиусын дагуу сулардаг. Харин литосферийн дээд хэсэгт 580^0C орчим температуртай Кюри гадаргаас дээш чулуулагт ферросоронзон шинж чанар нь

хадгалагдах тул энэ давхаргын аномаль орон үндсэн орон дээр нэмэгдэж дэлхийн гадарга дээр хэмжигддэг. Гэвч энэ литосферийн аномаль орон нь геосоронзон орны өөрчлөлт буюу эриний хувьсалтад нөлөө үзүүлдэггүй.

(1)-илэрхийллийн М-нь дэлхийн төв орчимд үүссэн хүчтэй туйлт орон бөгөөд дотоод цөм, шингэн цөм, мантийтай харилцан үйлчлэлцэн нэвтэрч, дэлхийн гадарга бүртгэгдэнэ. Дотоод цөм, шингэн цөмийн доод хэсэг, манти зэргийн хөдөлгөөний эрчим нь харьцангуй удаан тул нэвтэрч гарч буй энэ М-орныг зөвхөн радиусын дагууд сулруулах үүрэгтэй.

Харин шингэн цөм манти хоёрын зааг дээр харьцангуй хөдөлгөөнтэй цахилгаан дамжуулах чадвартай үе давхарга байдаг. Энэ хэсэг дэх шингэний хөдөлгөөнөөс

болж Лоренцийн хүчний улмаас цахилгаан гүйдэл үүснэ. Энэ гүйдлийн үүсгэсэн соронзон орон дэлхийн гадарга дээр т-үндсэн соронзон орны вариаци болж бүртгэгдэнэ. Энэ шингэн цөм мантийн зааг дээрх нимгэн үеийн хөдөлгөөнийг хуйларсан турбулент, жигд дундаж урсгал гэж загварчилдаг. Хуйларсан турбулент урсгалын нөлөө нь дэлхийн гадарга дээр нэг цэгийн орчимд илэрч болно. Том талбайд геосоронзон орны зураглал хийхэд турбулент урсгалын нөлөө бага юм. Харин шингэн цөм мантийн зааг дээрх жигд дундаж урсгал нь геосоронзон орны эриний хувьсалтыг үүсгэнэ. Энэ эриний хувьсалтын нөлөөгөөр геосоронзон орны зураглал нь байнга өөрчлөгддөг тул 5 жилийн давтамжтай шинэчлэх шаардлага үүсдэг.



Зураг 1. Геосоронзон орны D-элементийн 2020-оны түгэлтийн зураглал

АРГАЧЛАЛ

Бид доорх зурагт үзүүлсэн эриний хувьсалтын цэгүүд дээр 2020 оны 6-9 сард хэмжилтийг хийсэн. Эриний хувьсалтын цэг тус бүр дээр хэмжилт хийхэд ашиглагддаг содон цэгийн азимутыг тухайн мөчид үзэгдэх нарны байрлалыг хэмжих Г.Г.Беннетийн аргачлалаар тодорхойлов (Т.Насан-Очир, 2020). Содон цэг бүрийн азимут ба хэмжилтийн статистик алдааг хүснэгт 1-д бичсэн болно. Энэ Г.Г.Беннетийн аргачлалыг 1960-оноос хойш ашиглаж байна.

Тухайн цэг дээрх геосоронзон орны газарзүйн меридианаас хазайх хазайлтыг соронзон хазайлт буюу геосоронзон орны D-элемент гэж нэрлэдэг. Үүнийг доорх томъёогоор илэрхийлнэ.

$$D = N_m - (A_M - A_{zm}) \quad (2)$$

Энд N_m -соронзон меридианы өнцгийн DI-магнетометрээр хэмжсэн утга, A_M - нь содон цэгийн өнцгийн DI-магнетометрээр хэмжсэн утга, A_{zm} - содон цэгийн азиамут. Эриний хувьсалтын хэмжилт хийж байх

үед (1)-томъёоны B_r -гадаад эх үүсвэртэй орон, B_{rv} -түүний вариаци нь харьцангуй ялгаатай өөрчлөгдөнө. Энэ нөлөөг Улаанбаатар соронзон оргилын тухай үеийн бичлэгийг ашиглан хасна. Дараа хэмжилтийн утгуудыг дундажлаж, дундаж утгаас хазай хазайлт, хэмжилтийн алдааны утгуудыг цэг нэг бүр дээр тогтоосон. Хэмжилтийн дундаж утгууд болон хэмжилтийн алдааг хүснэгт 1-д үзүүлэв.

Хүснэгт 1-д үзүүлсэн D-элементийн дундаж утгуудад сплайн интерполяцийн аргаар дөхөлт хийж, Монгол орны нутаг дахь D-элементийн түгэлтийн зураглалыг 2020-оны байдлаар гаргав.

Сплайн интерполяцийн аргад дараах үндсэн шаардлагууд тавигддаг. Гадаргуу нь бүх цэгийг дайрсан байх ёстой.

Гадаргууд муруйлт хамгийн бага байх ёстой. Өөрөөр хэлбэл цэг бүр дээр уг гадаргуугаас авсан 2-р эрэмбийн уламжлалын квадратуудын нийлбэр хамгийн бага байх ёстой (Franke, R 1982, Mitas, L 1988). Эдгээр шаардлагууд нь Монгол орны соронзон орны D-элементийн түгэлтийг тодорхойлоход тавигдах шаардлагад тохирно.

Сплайн интерполяцаар тодорхойлогдох гадаргуу нь доорх томъёогоор бичигдэнэ.

$$S(\varphi, \lambda) = T(\varphi, \lambda) + \sum_{j=1}^N \chi_j R(r_j) \quad (3)$$

Энд $S(\varphi, \lambda)$ -гадаргуугийн тэгшитгэл, φ, λ -нь манай тохиолдолд уртраг, өргөрөг юм. $j=1.2...N$ ба N-цэгийн тоо,

χ_j -шугаман тэгшитгэлийн системийн шийдээс олдог коэффициентүүд, $R(r_j)$ -нь (φ, λ) -координаттай цэгээс j-р цэг хүртэлх зай болно.

$T(\varphi, \lambda) = A_1 + A_2 \varphi + A_3 \lambda$; A_j -нь шугаман тэгшитгэлийн системийн шийдээс олдог коэффициентүүд юм. $R(r_j)$ -ийг дэлгэн бичвэл доор байдлаар илэрхийлэгддэг.

$$R(r_j) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{r^2}{4} \left[\ln\left(\frac{1}{2\tau}\right) + C - 1 \right] + \tau^2 \left[K_0\left(\frac{r}{\tau}\right) + C + \ln\left(\frac{r}{2\pi}\right) \right] \right] \quad (4)$$

r-цэгүүдийн хоорондох зай, τ^2 -жингийн параметр, K_0 -хувирсан Бейсселийн функц, C-нь тогтмол $C=0.577215$ утгатай байдаг (Franke, R 1982, Mitas, L 1988).

Доорх зурагт геосоронзон орны D-элементийн түгэлтийн зураглалыг 2020-оны байдлаар ижил утгатай муруйгаар дүрслэн үзүүлэв. Уг түгэлтийн зураглалыг Хи-квадрат шалгуураар 36 цэгийн хувьд үнэмшлийн түвшнийг нь тогтоов.

$$\chi^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{36} \left(\frac{(Dt_i - De_i)^2}{\Delta D_i} \right) \quad (5)$$

Энд Dt_i -гадаргуу дээрх утга, De_i - хүснэгт 1 дэх хэмжсэн утга, ΔD_i -

хэмжилтийн алдаа N -чөлөөний зэрэг.

Манай 36 цэгийн хувьд $\chi^2 = 23.42$ ба үнэмшлийн түвшин нь 95%-аас дээш утгатай гарч байна.

ҮР ДҮН

1. 2020 оны эриний хувьсалтын хээрийн судалгааны мэдээллээр Монголын нутаг дээрх геосоронзон орны D-элементийн түгэлтийн зураглалыг шинэчлэн гаргав.
2. Эриний хувьсалтын цэг бүр дээр D-элементийн утга ба хэмжилтийн статистик алдааг тогтоов. Цэг бүр дээрх хэмжилтийн алдаа нь 0.8%-аас хэтрэхгүй байсан. Энэ нь 2020-оны хээрийн хэмжилт чанартай хийгдсэнийг үзүүлж байна.

ДҮГНЭЛТ БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

1. Энэ судалгааны мэдээлэл боловсруулалтыг Matlab дээр хийж, Геосоронзон орны D-элементийн түгэлтийн зураглалыг Arcgis программ ашиглан гүйцэтгэснээр зургийн чанар сайжирсан.
2. Хүснэгт 1-ээс харахад Монгол орны геосоронзон орны D-элементийн утга нь -9.36079^0 -аас 3.86486^0 хооронд утгатай байна.
3. D-элементийн түгэлтийг зураг 1-аас харахад ижил утгатай муруй нь муруйлт

3. Эриний хувьсалтын 36 цэг бүрийн содон цэгийн азимутын утгыг 2020 оны байдлаар шинэчлэн тогтоов. Түвшинширээ, Баянлиг, Тосонцэнгэл зэрэг сумдад нэмж ЭХЦ-ийг шинээр байгуулсан.

4. Геосоронзон орны D-элементийн түгэлтийг Хи-квадрат шалгуураар үнэлэхэд 36-цэгийн хувьд үнэмшлийн түвшин нь 95% аас дээш магадлалтай гарч байв.

ихтэй, зарим газарт цагираг үүсгэсэн байна. Энэ нь тухайн бүс нутаг уулархаг тогтоцтой, чулуулга нь соронзон аномаль ихтэйг харуулж байна.

4. Монгол орны зүүн бүст D-элементийн ижил утгатай муруй нь харьцангуй муруйлт багатай байгаа нь тухайн бүс нутгийн чулуулаг нь харьцангуй соронзон аномаль багатай, тал хээрийн геологийн тогтоцтойгоос хамаарч байна гэж үзэж байна.

НОМ ЗҮЙ

Т.Насан-Очир, Ш.Цэрэндүг, Г.Баянжаргал, Э.Батмагнай, С. Ганцогт, Эриний хувьсалтын содон цэгийн азимутыг нарны хэмжилтээр тодорхойлох, Геофизик ба Одон Орон судлал. №7. 2020, 69-74 хуудас. ISSN 2709-1538 (Print), ISSN 2709-1546 (Online)
Franke, R. 1982. Smooth Interpolation of Scattered Data by Local Thin Plate

Splines. Computer and Mathematics with Applications. Vol. 8. No. 4. pp. 273–281. Great Britain.

Mitas, L., and H. Mitsova. 1988. General Variational Approach to the Interpolation Problem. Computer and Mathematics with Applications. Vol. 16. No. 12. pp. 983–992. Great Britain.

Хүснэгт 1 Эриний хувьсалтын цэгийн нэр, байрлал, содон цэгийн азимут, хазайлт

№	Эх цэгийн нэрс	Өргөрөг j [град]	Уртраг l [град]	Азимут A[град]	Хазайлт D [град]	Алдаа ±DD [град]
1	Алдархаан	47.7136	96.5267	100.56994	-0.75168	0.00489
2	Алтай сум	44.6256	94.9286	28.06650	0.96992	0.03105
3	Алтай хот	46.3769	96.2339	167.68529	0.510182	0.00719
4	Арвайхээр	46.2597	102.792	120.28952	-3.12443	0.00412
5	Баруун-Урт	46.66611	113.2877	122.25793	-7.37788	0.00805
6	Баянлиг сум	44.54	100.8286	27.341423	-2.23389	0.02845
7	Баянхонгор хот	46.175	100.70416	79.190097	-2.15689	0.00427
8	Богд сум	44.67417	102.1761	52.54242	-2.62589	0.00659
9	Булган хот	48.8536	103.4858	109.66497	-4.52814	0.01258
10	Булган сум	46.1036	91.5808	142.69787	1.359116	0.02049
11	Дадал сум	49.0367	111.647	49.401187	-7.40527	0.01634
12	Даланзадгад	43.6066	104.3689	21.76338	-3.43779	0.03164
13	Замын-Үүд	43.7664	111.8394	26.42801	-6.61201	0.02766
14	Мандалговь	45.7428	106.2641	155.03466	-4.21529	0.00929
15	Мөрөн хот	49.6656	100.0903	63.56698	-1.32965	0.00789
16	Мөст сум	46.6806	92.8072	119.17844	1.76082	0.01199
17	Ноён сум	43.1483	102.1316	14.40564	-2.35616	0.05321
18	Өлгий хот	48.9897	89.9231	136.71906	3.86486	0.02716
19	Ринчинлхүмбэ	51.1142	99.6636	112.36032	-1.49424	0.02586
20	Сайншанд хот	44.8772	110.1192	33.96934	-5.86956	0.03442
21	Сэгсцагаан богд	42.7592	98.8131	176.06702	-1.18204	0.01624
22	Тосонцэнгэл	48.7394	98.2739	146.66939	-2.90713	0.02829
23	Түвшинширээ	46.2125	111.7939	107.88459	-6.85362	0.00724
24	Улаангом хот	50.0636	91.9386	130.57078	1.23143	0.01274
25	Ургамал сум	48.5161	94.2869	69.21068	0.20349	0.00729
26	Халхгол сум	47.9906	118.1089	179.11813	-9.36079	0.01016
27	Ханбумбат	43.1378	109.8431	16.53135	-4.07983	0.02361
27	Хатанбулаг	43.167	109.1435	159.08635	-5.38709	0.02979
28	Ховд хот	47.9639	91.6231	9.88668	2.31666	0.01029
29	Цэцэрлэг	47.4831	101.4472	144.69006	-2.29272	0.02408
30	Чингис	47.3067	110.5958	145.31921	-6.47766	0.00915
31	Чойбалсан	48.1367	114.63	41.39469	-8.69818	0.00908
32	Чулуунхороот	49.8767	115.6993	49.3232	-9.17491	0.01725
33	Шинэжинст	44.5469	99.275	45.94092	-1.41003	0.01046
34	Эрдэнэсант	47.3367	104.5041	78.91503	-3.10339	0.00618
35	Эрдэнэ сум	45.1647	97.7052	120.42048	0.89665	0.01792
36	Эрдэнэцагаан	45.9064	115.3603	15.29397	-7.61144	0.02355

DISTRIBUTION OF D-ELEMENT OF GEOMAGNETIC ON MONGOLIA IN 2020

Abstract. In this paper, the values of the D-element of the geomagnetic field are updated at 36 points of the secular variation that are evenly distributed in Mongolia. Using these values, the distribution map of the D-element of the geomagnetic field in Mongolia as of 2020 was determined by spline interpolation. In addition to Tuvshinshiree, Bayanlig and Tosontsengel soums, new power plants have been established. The value of the D-element of the Mongolian geomagnetic field is between -9.36079 and 3.86486.

Key Words: secular variation, distribution of geomagnetic

АРХАНГАЙ АЙМГИЙН ЦЭНХЭРИЙН ХАЛУУН РАШААН ОРЧМЫН ГАЗАР ХӨДЛӨЛТИЙН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛ

Л.Тунгалаг, А.Нармандах, С.Одбаяр

ШУА-ийн, Одон орон, геофизикийн хүрээлэн, Газар хөдлөл судлалын салбар
Цахим шуудан: tungalag@iag.ac.mn

Хураангуй. Энэхүү судалгаагаар Архангай аймгийн Цэнхэрийн халуун рашаан орчимд суурилуулсан газар хөдлөлтийг бүртгэх нүүдлийн станцад бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн мэдээллээр мэдээллийн сан бүрдүүлэх мөн халуун рашаанаас 50км-ийн радиус бүхий бүс нутагт болсон газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зураглал хийхээр төлөвлөсөн болно. Уг ажлын хүрээнд Цэнхэрийн халуун рашаан орчим газар хөдлөлтийг бүртгэх нүүдлийн станцуудыг суурилуулан газар хөдлөлтийн мэдээллийг бүрдүүлээд байна. Газар хөдлөлтийг бүртгэх байнгын сүлжээ станц болон нүүдлийн сүлжээ станцад бүртгэгдсэн газар хөдлөлтүүдийн сигналд анхан шатны мэдээлэл боловсруулалтыг хийж, “нэгтгэсэн” мэдээллийн санг үүсгэлээ. Тухайн бүс нутагт байрладаг CCGM станцаар тодорхойлогдсон газар хөдлөлтийн тоон мэдээлэлд анализ хийж мэдээллийн сан дахь газар хөдлөлтийн бюллетень ба каталогт харьцуулсан судалгааг хийсэн дүнг энэхүү өгүүлэлд харуулав.

Түлхүүр үгс: Газар хөдлөлт, бюллетень, каталог, газар хөдлөлтийн төв

ОРШИЛ

Архангай аймаг нь Монгол орны төвийн бүсэд буюу Орхон, Онги, Тэрх, Чулуут, Хануй голын сав газрууд болон Эгийн давааны кайнозойн үеийн галт уул бүхий Хангайн нуруунд оршино (И.Балжинням, бусад, 1975). Хангайн нурууг тойрсон унтарсан галт уулс, түүний халуун магмын эх үүсвэртэй холбоотой байж болох олон тооны халуун рашаанууд байдаг. Үүний нэг нь Архангай аймгийн нутагт орших Цэнхэрийн халуун рашаан юм. Галт уул нь байгалийн гаралтай газар хөдлөлтийн эх үүсвэрт тооцогддог тул халуун рашаан орчмын нутаг дэвсгэрийн

газар хөдлөлтийн голомтыг илрүүлж, тухайн голомтын газар хөдлөлтийн ерөнхий зүй тогтлыг нарийвчлан судлах шаардлагатай байна (B. Pradhan and R. Jena, 2016).

Газар хөдлөлтийн идэвхжилт өндөртэй Монголын баруун бүс нутагтай харьцуулахад Цэнхэрийн халуун рашаан орчмын нутаг дэвсгэрийн идэвхжилт харьцангуй бага байдаг. Энэ бүс нутагт томоохон идэвхтэй хагарал байхгүй, газар хөдлөлт цөөн болдог байна (Одон Орон, Геофизикийн Хүрээлэн, 2017).

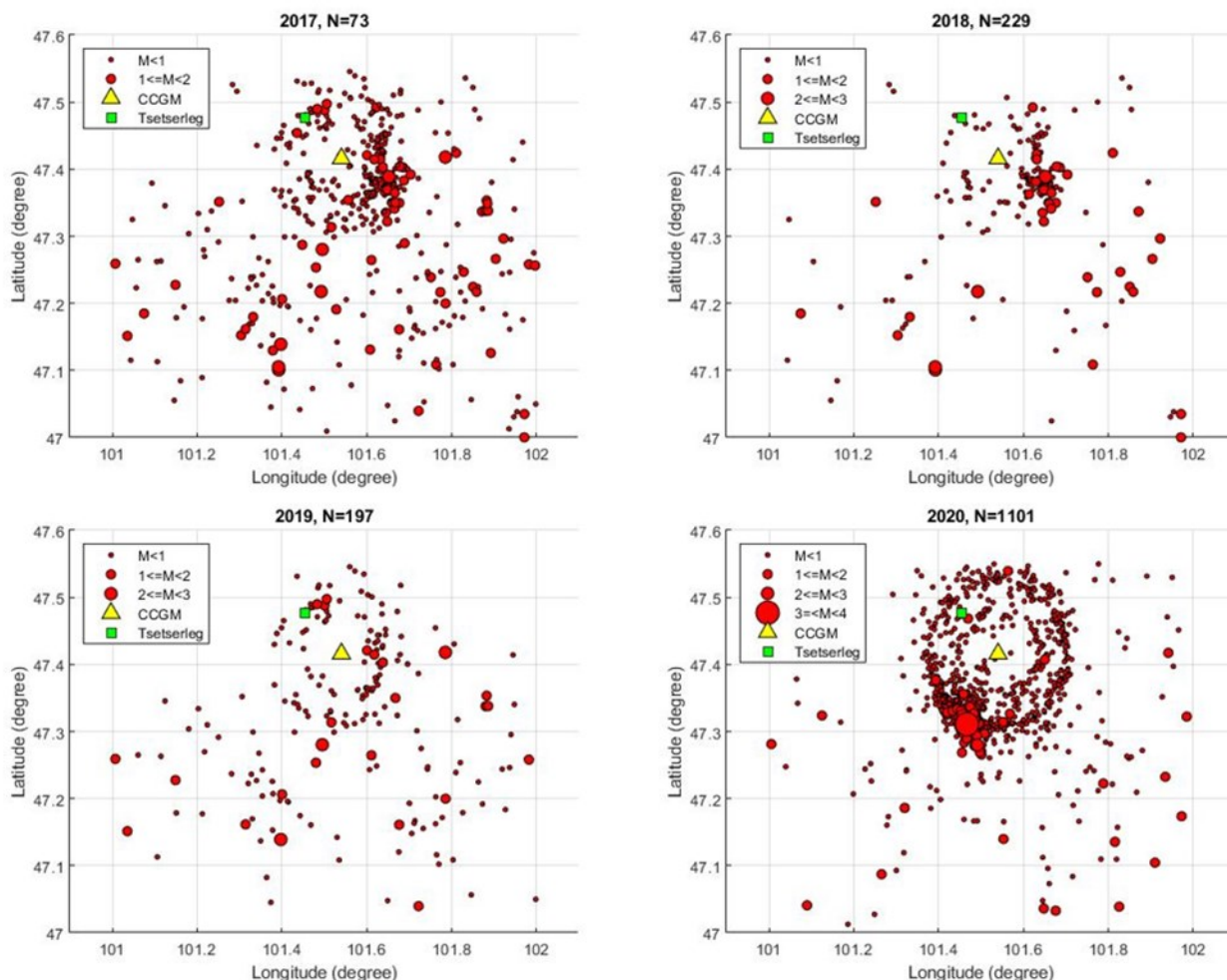
МЭДЭЭЛЛИЙН САН

Газар хөдлөлтийн Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-ийн үндсэн мэдээллийн санд анализ хийхэд 2017-01-01-нээс 2020-08-31-ний (нүүдлийн станц суурилуулахаас өмнөх) хугацаанд Архангай аймгийн Цэнхэрийн халуун рашааны орчимд (газар хөдлөлт бүртгэх CCGM станцаас ~50км радиус бүхий бүс нутагт) нийт 1604 газар хөдлөлт

бүртгэгдсэн байна. Үүнд: 2017 онд 77, 2018 онд 229, 2019 онд 197, 2020 онд 1101 удаагийн газар хөдлөлтүүд бүртгэгдсэн байна (Зураг 1). Эдгээр хөдлөлтүүдийг магнитудаар нь ангилан авч үзвэл: Магнитуд нь $M_{3.4}$ -тэй газар хөдлөлт 1 удаа (2020/01/20, $M_{3.4}$); магнитуд нь $2.0 \leq M < 3.0$ -тай хөдлөлт 10 удаа; магнитуд нь $1.0 \leq M < 2.0$ тай хөдлөлт 134 удаа; сул

буюу магнитуд нь $M < 1.0$ -ээс бага хүчтэй газар хөдлөлт нийт бүртгэгдсэн хөдлөлтүүдийн 90 гаруй хувийг эзэлж байв. Өөрөөр хэлбэл тус бүсэд сул газар хөдлөлтүүд зонхилж байна. Зураг 1-ээс харахад газар хөдлөлтүүд нь газар

хөдлөлтийг бүртгэх CCGM станцад тойрог үүсгэн тодорхойлогдсон байна. Энэ нь станцад ойрхон буюу 100 км дотор бүртгэгдсэн сул газар хөдлөлтүүдийн төвийг тодорхойлоход ашиглагдах станцын нягтаршил бага байгаатай холбоотой.



Зураг 1. 2017-2020 онд CCGM станц орчмын нутаг дэвсгэрт болсон газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зураг (CCGM станцыг шар өнгөөр; аймгийн төвийг ногоон өнгөөр тэмдэглэв)

НҮҮДЛИЙН СТАНЦЫН МЭДЭЭЛЭЛ БҮРДҮҮЛЭЛТ

Швейцар улсын Геофизикийн хүрээлэн болон Одон орон, Геофизикийн хүрээлэн (ООГХ)-гийн хамтарсан Монгол улс дахь геотермал хайгуул ба эрчим хүчний ашиглалтын талаар гео-шинжлэх ухааны төслийн судалгааны ажлын хүрээнд Цэнхэрийн халуун рашаан орчмын нутаг дэвсгэрийн газар хөдлөлтийн ерөнхий зүй тогтлыг тогтоох зорилгоор газар хөдлөлтийг бүртгэх өргөн зурвасын

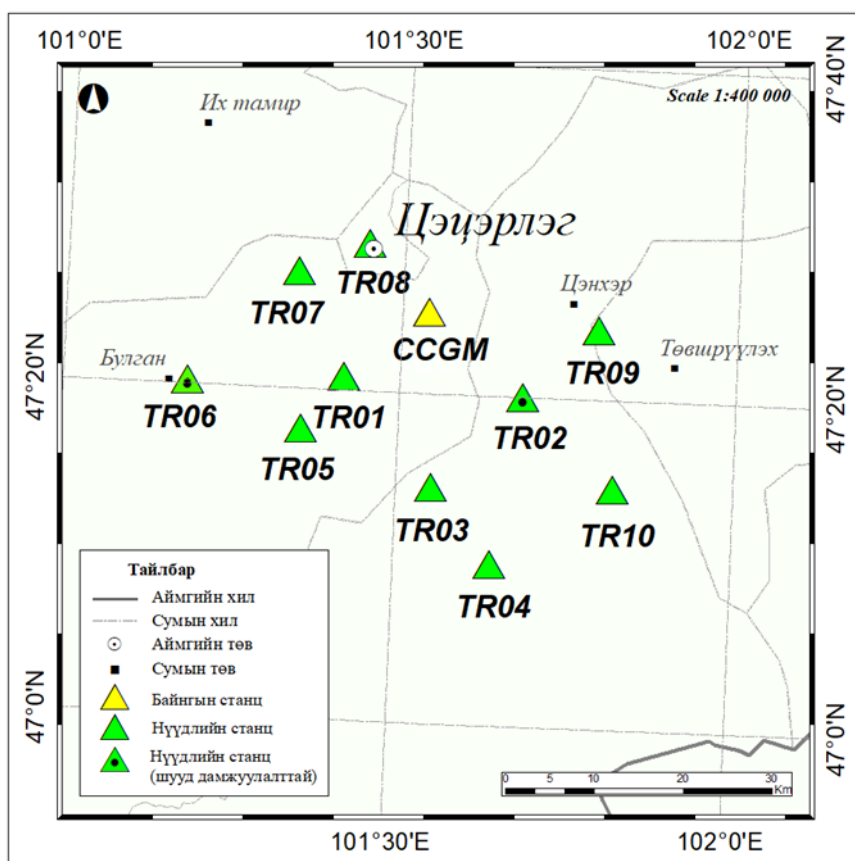
(ВВ) нүүдлийн 10 станцын бүрдэл бүхий бичил сүлжээ станцыг суурилуулан, 2020 оны 9 дүгээр сарын 14-өөс 2021 оны 4 дүгээр сарын 31 дуустал хугацаан дахь газар хөдлөлтийг бүртгэж мэдээллийн сан бүрдүүлэв.

Бичил сүлжээ станцын хувьд азимутын хамрах хүрээ 180° -ийн шаардлага хангахуйц нягтаршил сайтай байснаар магнитуд нь $M \sim 1.0$ хүртэлх

сулавтар газар хөдлөлтүүдийг бүртгэхээс гадна газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлдог (Schweitzer J, et al 2012). Газар хөдлөлтийг бүртгэх станцын байршлыг судалгааны талбайг бүрэн хамарсан, станц хоорондын зай тэгш хэмтэй байхаар төлөвлөсөн хэдий ч станцын дэд бүтэц ба аюулгүй байдал (суурилуулсны дараа харах айл), мөн Архангай аймгийн ‘Цэцэрлэг’ (CCGM) станцын байршил зэргийг харгалзан үзэж газар хөдлөлт бүртгэх нүүдлийн 10 станцыг 8-30 км зайтайгаар бичил сүлжээ байдлаар суурилуулав (Зураг 2).

Уг бичил сүлжээ нь өргөн зурвасын

(BB) Guralp CMG-3ESPC сейсмометр ба Reftek-130 дижитайзер бүхий 10 (TR01-TR10) станцаас бүрдэнэ. TR02 болон TR06 станцуудын байрлал мэдээллийг шууд горимоор ШУА-ийн ООГХ-ийн Газар хөдлөл судлалын Үндэсний Мэдээллийн Төв (ҮМТ)-д дамжуулах шаардлагыг хангасан. Иймд эдгээр станцуудын мэдээлэл дамжуулалтыг Мобиком сүлжээний MBD-R200H загварын 3G модем, LPDA-800-2500-NF загварын 3G антен ашиглан шийдвэрлэв. Харин бусад станцуудын мэдээллийг сард нэг удаа авч байхаар зохион байгуулсан.



Зураг 2. Архангай аймгийн нутаг дэвсгэрт суурилуулсан нүүдлийн болон байнгын станцын байршлын зураг

НҮҮДЛИЙН СТАНЦЫН МЭДЭЭЛЭЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ

Иймд энэхүү судалгааны ажлын хүрээнд Цэнхэрийн халуун рашаанаас 250 км хүртэлх радиус бүхий бүс нутагт (өргөрөг: 44-51°, уртраг: 99-106°)-т 2020 оны 9 дүгээр сарын 14-өөс 2021 оны 3

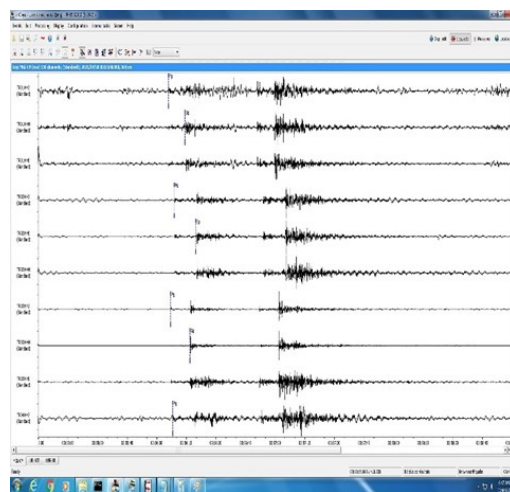
сарын 31 хүртэлх хугацааны бүртгэгдсэн газар хөдлөлтүүдийн хувьд дараах хоёр мэдээллийн санг үүсгэсэн болно. Үүнд:

1. “Нэгтгэсэн” мэдээллийн сан – газар хөдлөлт бүртгэх байнгын болон нүүдлийн

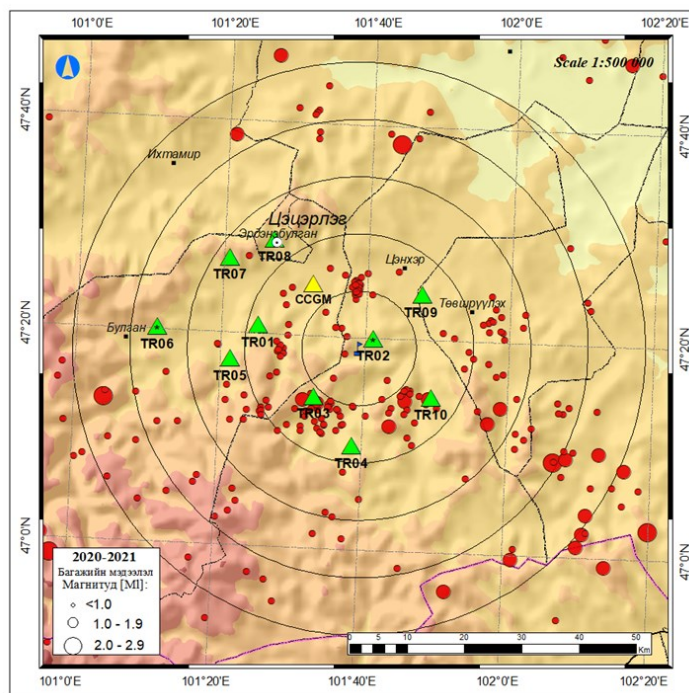
станцад (TR сүлжээ) бүртгэгдсэн сигналуудад анхан шатны боловсруулалт (Зураг 3) хийж гаргасан 1996 хөдлөлтийн бюллетень (GSE2.0 формат) ба каталог (газар хөдлөлтийн жагсаалт) бүхий мэдээллийн сан.

2. “Үндсэн” мэдээллийн сан - ҮМТ-ийн мэдээллийн санд байгаа байнгын станцын сүлжээгээр тодорхойлогдсон 3223 газар хөдлөлтийн бюллетень (GSE2.0 формат) ба каталог (газар хөдлөлтийн жагсаалт) бүхий мэдээллийн сан. Нүүдлийн станцуудыг суурилуулснаас хойших Цэнхэрийн халуун рашаанаас 50 км-ийн радиус бүхий бүс нутагт бүртгэгдсэн газар хөдлөлтүүдийн “нэгтгэсэн” мэдээллээр газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зургийг гаргалаа (Зураг 4). Тухайн бүс нутагт 245 хөдлөлт бүртгэгдсэнээс 10 км хүртэлх зайнд 21, 20 км хүртэлх зайн 101, 30 км хүртэлх зайн 29, 40 км хүртэлх зайн 30, 50 км хүртэлх зайнд 27 хөдлөлтийг бүртгэж авсан бол магнитуд нь $2.0 \leq M < 3.0$ -тай хөдлөлт 5 удаа; магнитуд нь $1.0 \leq M < 2.0$ -тай хөдлөлт 20 удаа (Хүснэгт 2), магнитуд нь $M < 1.0$ -ээс

бага сулавтар газар хөдлөлт 220 удаа болсон байна. Эндээс харахад сулавтар газар хөдлөлтүүд нь нийт бүртгэгдсэн мэдээллийн 90 орчим хувийг эзэлж байна. Сул газар хөдлөлтийн мэдээлэлд тулгуурлан бүс нутгийн идэвхжил болон газар хөдлөлтийн гүний бүтцийг тодорхойлох ажлууд (B Dino, et al, 2020) хийх боломжтой байна.



Зураг 3. Нүүдлийн станцад бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн бичлэг



Зураг 4. Нэгтгэсэн (улаан) мэдээллийн сангийн мэдээллээр гаргасан газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зураг. Байнгын CCGM станцыг шар өнгөөр, нүүдлийн TR станцыг ногоон өнгөөр, Цэнхэрийн халуун рашаан(цэнхэр өнгийн дарцаг)-аас 10, 20, 30, 40, 50 км-ийн зайг тойргоор харуулав.

Хүснэгт 2. : Магнитуд нь $M1.0$ ба түүнээс дээш хүчтэй хөдлөлтийн жагсаалт (UTC цагаар)

	Он	Сар	Өдөр	Цаг	Мин	Сек	Өргөрөг	Уртраг	Магнитуд (M)
1.	2020	9	15	4	44	26	47.196	101.729	1.5
2.	2020	9	30	10	12	1	47.233	101.527	1.2
3.	2020	10	7	20	5	12	47.149	102.109	2.3
4.	2020	11	8	21	37	24	46.941	101.871	1.1
5.	2020	11	21	11	12	43	46.987	102.234	1.8
6.	2020	12	26	4	9	10	47.236	101.763	1.2
7.	2020	12	28	23	50	18	47.155	102.138	1.6
8.	2021	1	6	3	45	38	47.644	101.350	1.0
9.	2021	1	14	12	4	16	47.045	102.332	2.1
10.	2021	1	20	17	54	48	47.164	102.214	1.7
11.	2021	1	22	7	14	42	47.039	102.181	1.1
12.	2021	1	26	1	33	44	47.068	102.189	1.7
13.	2021	1	27	12	45	8	47.241	101.818	1.4
14.	2021	1	30	9	32	57	47.139	102.274	1.1
15.	2021	2	2	3	41	34	47.777	102.262	1.3
16.	2021	2	8	14	24	11	47.017	102.169	1.2
17.	2021	3	4	5	30	33	47.771	101.443	1.4
18.	2021	3	6	1	1	22	47.639	101.733	2.1
19.	2021	3	8	23	3	14	47.229	101.562	1.1
20.	2021	3	15	15	0	47	47.225	101.069	2.1
21.	2021	3	18	2	36	53	47.206	101.957	1.7
22.	2021	3	20	8	16	43	46.976	100.961	2.0
23.	2021	3	23	11	52	16	46.860	101.198	1.1
24.	2021	3	25	0	57	47	47.231	101.985	1.8
25.	2021	3	28	1	49	40	46.994	102.020	1.1

АРГА ЗҮЙ

Нэг станцаар газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг тодорхойлоход тухайн хөдлөлтийн алслагдах зай яг тогтоодог боловч азимутыг тодорхойлоход ихээхэн хүндрэлтэй байсаар байна. Тэгвэл нүүдлийн станц суурилуулсны дараах газар хөдлөлтийн төвийн байрлал хэрхэн тодорхойлогдсоныг сонирхож үзлээ. Энд “нэгтгэсэн” мэдээллийн сангийн газар хөдлөлтийн төвийн байрлал болон “үндсэн” мэдээллийн сангийн газар хөдлөлтийн төвийн байрлалд анхан шатны харьцуулсан анализ хийв. Үүнд:

1. Газар хөдлөлтийн бюллетень анализ: “нэгтгэсэн” мэдээллийн сангийн 1996 хөдлөлтөөс нүүдлийн TR станцад бүртгэсэн хөдлөлтүүдээс станцын хоорондын азимут (GAP) нь 180^0 -аас бага

байх шаардлагыг хангасан 1896 газар хөдлөлтийн бюллетень ба каталог гаргав.

2. Газар хөдлөлтийн каталог анализ: “нэгтгэсэн” 1896 газар хөдлөлтийг “үндсэн” мэдээллийн сантай харгалзуулж (газар хөдлөлт болсон хугацаагаар) хоёр мэдээллийн санд байгаа нэг хөдлөл байх боломжтой 1260 хөдлөлтийг ялгаж авсан. Энд сулавтар ($M < 1.0$) газар хөдлөлтүүд буюу зөвхөн TR сүлжээ станцад бүртгэгдсэн (“үндсэн” мэдээллийн санд байхгүй) газар хөдлөлтүүдийг энэхүү харьцуулалтад оруулаагүй болно.

Богино зайн хувьд Haversine тэгшитгэлийг ашиглан өргөрөг уртрагийг заасан дэлхийн гадаргуу дээрх 2 цэгийн хоорондох зайг тооцоолж болдог (Aziz. F.A and Gunawan. P .H, 2019).

$$D = 2 * R * \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{lat_2 - lat_1}{2} \right) + \cos(lat_1) * \cos(lat_2) * \sin^2 \left(\frac{lon_2 - lon_1}{2} \right)} \right)$$

Энд: D – 2 хөдлөлтийн хоорондох зай (км), R – дэлхийн радиус, (lat_1, lon_1) – ‘нэгтгэсэн’ каталог дахь газар хөдлөлтийн уртраг ба өргөрөг, (lat_2, lon_2) ‘үндсэн’ каталог дахь газар хөдлөлтийн уртраг ба өргөрөг

ҮР ДҮН

Дээрх ялгаж авсан хөдлөлтүүдийн “нэгтгэсэн” ба “үндсэн” каталогт тооцоо хийж үзэхэд газар хөдлөлтийн төвийн байрлалд зөрүү гарч байгаа нь ажиглагдсан. Газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг хөдлөлт бүрээр нь тооцож үзэхэд ~0.05-83км байв (Хүснэгт 1).

Газар хөдлөлтийн төвийн байрлалын бодолтын зөрүү харьцангуй их гэж үзсэн буюу 21 км-ээс илүү зөрүүтэй тодорхойлогдсон хөдлөлтүүдийг шалгаж үзэхэд газар хөдлөлтийн төвийг тодорхойлоход ашигласан (фаз хэмжсэн) байнгын станцуудын сонголтоос хамааралтай байсан. Өөрөөр хэлбэл газар хөдлөлтийг бүртгэх BDR, ALT, CCG эсвэл CCG, BDR эсвэл BDR, ALT, TSC станцаар, мөн BUL, CCG, SHB эсвэл CCG, BUL зэрэг станцаар тус тус бодсон хөдлөлтүүд дээр TR нүүдлийн станцын мэдээллийг нэмж нэгтгэн боловсруулахад газар хөдлөлтийн төвийн байрлал зөрүүтэй тодорхойлогдож

байлаа. Жишээ болгон дээр дурьдсан станцуудын сонголтоор тодорхойлогдсон газар хөдлөлтүүдийн төвийн байрлалыг харуулав (Зураг 5). Зураг 5.– аас харахад газар хөдлөлтийн төвийг тодорхойлоход сонгосон станцууд нэг шулууны дагуу эсвэл хөдлөлтийн нэг талд байршиж байгаатай холбоотой байх магадлал өндөр байна.

Хүснэгт 1. : “нэгтгэсэн” ба “үндсэн” каталогт тодорхойлогдсон газар хөдлөлтийн төвийн байрлалын зөрүү

Газар хөдлөлтийн төвийн байрлалын бодолтын зөрүү (км)	Газар хөдлөлтийн тоо
0-10	1121
11-20	99
21-30	20
31-40	8
41-50	4
50-дээш	8

ДҮГНЭЛТ

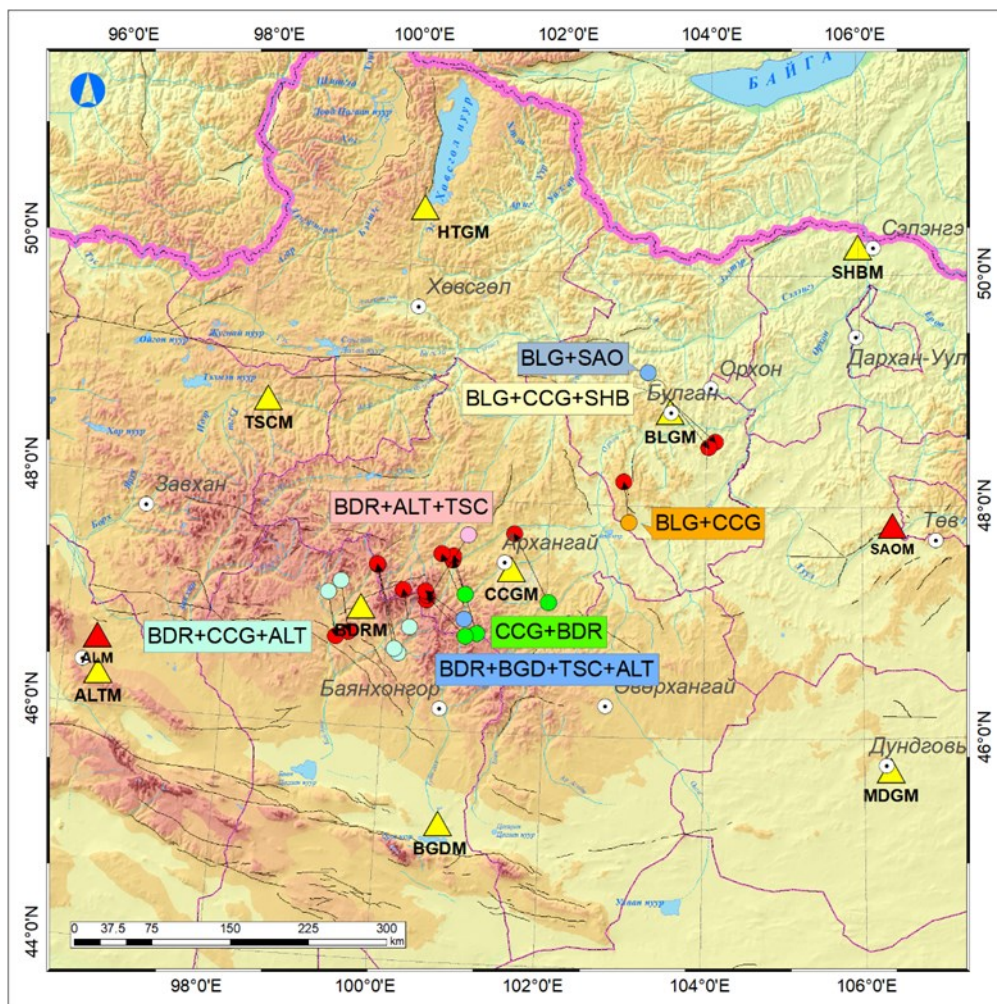
Цэнхэрийн халуун рашаан орчмын бүс нутагт нүүдлийн станцыг суурилуулан, 250 км-ийн радиуст бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн мэдээлэлд анхан шатны боловсруулалтыг хийж “нэгтгэсэн” мэдээллийн санг үүсгэж, “Нэгтгэсэн” мэдээллийн сангаас 50 км-ийн радиуст бүртгэгдсэн хөдлөлтүүдийн мэдээллээр газар хөдлөлтийн төвийн тархалтын зургийг гаргалаа.

“Нэгтгэсэн” мэдээллийн сан болон байнгын станцуудын сүлжээ буюу “үндсэн” мэдээллийн сан дахь бүртгэгдсэн газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг

хооронд нь харьцуулж үзэхэд бодолтод ашигласан станцын сонголтоос ихээхэн хамаарч байгаа нь ажиглагдсан. Өөрөөр хэлбэл уг газар хөдлөлтийг бүртгэгдсэн станцууд нь тухайн газар хөдлөлтийн төвийн байрлалаас нэг талдаа байршиж (станц хоорондын азимутын өнцөг (GAP) 180^0 -аас их) байсантай холбоотой байх талтай. Цаашид дээрх мэдээллийн сангийн газар хөдлөлтийн төв тодорхойлолтыг нарийвчлахын тулд “PMCC array processing” аргаар боловсруулалтыг хийж үр дүнг харьцуулах шаардлагатай гэж үзэж байна. Үүнээс гадна анализ хийхэд

ашиглагдаагүй $M < 1.0$ сулавтар газар хөдлөлтүүдийн хувьд тухайн голомтын деформацийн эвдрэлийн зэрэг ба стресс хуримтлалын загварыг гаргахад ашиглаж

болохоор байна. Иймээс ‘нэгтгэсэн’ мэдээллийн санг сайжруулан Цэнхэрийн халуун рашааны голомтын судалгааг хийх шаардлагатай гэж үзэж байна.



Зураг 5. Газар хөдлөлт бүртгэх байнгын станцууд болон газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг харуулсан зураг ('үндсэн' каталог дахь газар хөдлөлтүүдийг төвийн байрлалыг (бусад өнгөөр) 'нэгтгэсэн' каталог дахь газар хөдлөлтийн төвийн байрлалыг (улаан), газар хөдлөлтийн төвийн бодолтын зөрүүг сумаар харуулав)

ТАЛАРХАЛ

Энэхүү судалгааны ажлыг эхлүүлэх боломжийг бүрдүүлж өгсөн Швейцар улсын Геофизикийн хүрээлэн болон Одон орон, геофизикийн хүрээлэнтэй хамтарсан Монгол улс дахь геотермал хайгуул ба эрчим хүчний ашиглалтын талаар гео-шинжлэх ухааны хүрээнд хэрэгжүүлэх төслийн судалгааны багын хамт олон,

ООГХ-ийн ҮМТ-ийн хамт олонд, нүүдлийн станцын суурилуулалтыг хариуцан ажилласан, Техник Технологийн лабораторийн багийн гишүүд болон тус хүрээлэнгийн орон нутаг дахь салбарын “Цэцэрлэг” станцын хамт олонд талархал илэрхийлье.

НОМ ЗҮЙ

- И.Балжинням., Д.Мөнхөө., Б.Цэмбэл., Т.Дугармаа., М.Адъяа., Г.Баяр., (1975): Монголын газар хөдлөхүй, БНМАУ-ын ШУА-ийн, Физик Техникийн Хүрээлэн, хуу 4-10
- В. Pradhan., R.Jena., (2016): Spatial relationship between earthquakes, hot spring and faults in Odisha, India, *Earth and Environment Science* **37**, [doi:10.1088/1755-1315/37/1/012070](https://doi.org/10.1088/1755-1315/37/1/012070)
- Одон Орон, Геофизикийн Хүрээлэн, (2017), Газар хөдлөлтийн аюулын үнэлгээ ба бичил мужлалын судалгаа: Архангай аймгийн төв Эрдэнэ булган сум, “Аймаг, сум, суурингуудын нутаг дэвсгэрийн газар хөдлөлийн бичил мужлалын зураглал хийх, газар хөдлөлийн эрсдэлийг тодорхойлоход чиглэсэн инженер-геологи, гидрогеологи, газар хөдлөлт, техникийн судалгааны төсөл”, хуу 25-45
- Schweitzer J., Fyen J., Mykkeltveit S., Gibbons S J., Pirli M., Kühn D., Kværna T. (2012): Seismic Arrays. - In: Bormann, P. (Ed.), *New Manual of Seismological Observatory Practice 2 (NMSOP-2)*, Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, 1-80. https://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch9
- Vala H., Shri K S and Allen H (2016): Difference in epicentral location of Mexican earthquakes between local and global catalogs: An updates, *Geofisica International* vol.55, n.1, pp.79-93. ISSN 0016-7169.
- Aziz, F A; Gunawan, P H. (2019), Approximating earthquake source of Italy using Steepest Descent method *Journal of Physics: Conference Series; Bristol* Vol.1192, Iss.1, [DOI:10.1088/1742-6596/1192/1/012045](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1192/1/012045)
- B Dino., S Daniele., P Matteo, M Paola., (2020): Reliable of Source Parameters for small events in Central Italy: Insight from spectral decomposition analysis applied to both synthetic and real data, *Bulletin of the Seismological Society of American*, vol. 110, issue 6, pp.3139-3157, [doi:10.1785/0120200126](https://doi.org/10.1785/0120200126)

EARTHQUAKE DATA PROCESSING IN THE TSENKHER HOT SPRING AREA, ARKHANGAI PROVINCE

Abstract. According to this study, we planned to create a database of registered events and map the distribution of the seismic events that are approximately 50 km away register at the mobile stations installed near the Tsenker hot spring in Arkhangai province.

In the context of this work, mobile seismic stations have been installed near the Tsenker hot spring and seismic data has been collected. Also, we analyzed seismic data identified by a permanent CCGM located in Arkhangai province. This article represents the result of initial data processing of seismic signals recorded at permanent and mobile stations, the creation of an ‘integrated’ database, and the analysis of seismic bulletins and catalog.

Key Words: Earthquake, bulletin, catalog, location of seismic event

НЭГ ХЭМЖЭЭСТ МАГНЕТОТЕЛЛУРИКИЙН ОРНЫ ЗАГВАРЧЛАЛЫГ ДЕТЕРМИНИСТИК ИНВЕРСИЙН АРГААР ТОДОРХОЙЛОХ

Б.Энхзул,¹Э.Батмагнай²

¹Одон орон Геофизикийн хүрээлэн

²ETH Zurich

zula.9831@gmail.com

Хураангуй. Энэ ажилд Магнетотеллурикийн инверсийн аргыг нэг хэмжээст нөхцөлд шийдэж улмаар судалгаанд хэрхэн нэвтрүүлсэн талаар авч үзсэн. МТ 1-D инверсийн бодлого нь Максвеллийн тэгшитгэлийн аналитик шийдээр тодорхойлогдох ба загварын огторгуйгаас өгөгдлийг тайлбарлаж чадах загварыг хайхад оршдог. Уг төрлийн бодлогыг Левенберг-Маркуардын арга ашиглан шийдвэрлэсэн гүйцэтгэл амжилттай биелсэн тул бид үүнийг бодит өгөгдөлд ашиглан Булган аймгийн Могод сум орчмын царцдасын зузааныг тодорхойлсон.

Түлхүүр үгс: инверс, объектив функц, төлөөллийн эсэргүүцэл, фаз

1. УДИРТГАЛ

Геофизикийн инверсийн бодлогоор Дэлхийн үе давхаргын тогтцыг физик орны хэмжилтэд тулгуурлан хэмжилтийн өгөгдлийг загварчлах замаар тодорхойлдог. Инверсийн бодлогод загварын огторгуй мөн түүнд орших ажигласан өгөгдөлд харгалзах огторгуй гэсэн ойлголтуудыг нэгтгэн авч үздэг ба тэдгээрийн хамаарлыг илтгэх объектив функцийг минимумчлах нь энэ бодлогын үндсэн даалгавар юм. Уг бодлогоор тодорхойлогдох хамгийн сайн загвар нь орчны геологийн тогтцыг илэрхийлдэг.

Оккам инверсийн алгоритм нь геофизикийн өгөгдлийг тайлбарлах нэгэн төрлийн арга юм. Цахилгаан соронзон тандалтын хувьд уг алгоритмыг 1980-аад оны сүүлээс өргөн ашиглах болсон (Constable & Parker, 1987) (deGroot-Hedlin & Constable, 1990). Өнөөдөр тооцон бодох машины хурдтай уялдан инверсийн бодлогыг стохастик ба детерминистик давталтад алгоритмуудаар шийдвэрлэх болсон. Магнетотеллурик (МТ) нь цахилгаан соронзон аргын нэг юм. Энэ аргаар Дэлхийн гүний цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг тодорхойлдог. МТ-ийн үндсэн өгөгдөл нь тодорхой давтамж ба байрлалаас хамаарсан

төлөөллийн эсэргүүцэл болон импедасын фаз байна (Батмагнай & Сүхбаатар, 2016), (Батмагнай & Сүхбаатар, 2017). Эдгээр физик хэмжигдэхүүнүүдийн утгаар дэлхийн гүний загварыг тодорхойлох нь МТ-ийн инверсийн бодлого юм. Уг бодлогыг шийдвэрлэх стандарт арга гэж байдаггүй.

Маш олон судлаачид стохастик ба детерминистик алгоритмуудыг ашиглан МТ-ийн инверсийн бодлогыг шийдвэрлэдэг. Стохастик алгоритмууд (Mandolesi, Ogaya, Campanya, & Agostinetti, 2018), (Guo, Liu, & Liu, 2019), (Grandis & Maulana, 2017) нь санамсаргүй маш олон тооны (хэдэн зуун сая хүртэлх) загваруудаас хэмжсэн өгөгдөлд нийцэх загварыг сонгох статистик процесс дээр тулгуурласан байдаг. Харин детерминистик (Rodi & Mackie, 2001), (Moge, 1978), (Loke & Dahlin, 2002) алгоритмууд нь функцийн минимумыг олох стандарт арга болох градиент-д тулгуурласан байдаг. МТ аргаар цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг 1-D, 2-D, 3-D Дэлхийн хувьд тодорхойлдог ба энэ ажилд 1-D МТ орныг детерминистик инверсийн аргаар тодорхойлж загварчилсан нь уг детерминистик

алгоритм нь стохастик алгоритмаас тооцооллын хувьд хурдан байдагт оршино. Энэ судалгаанд 1-D MT инверсийн аргыг хэрхэн бодох, судалгаанд хэрхэн

нэвтрүүлсэн талаар авч үзсэн. Мөн энд Хэлым-Хольцийн тэгшитгэлийн аналитик шийдийг хавсаргасан.

2. ОНОЛЫН ҮНДЭС

Магнетотеллурик (MT) арга нь байгалийн цахилгаан-соронзон орны хугацааны өөрчлөлтөд тулгуурлаж дэлхийн гүний гео-цахилгаан структурыг тодорхойлох геофизикийн нэгэн арга юм. MT орныг дэлхийн гадаад мандлуудад явагдах физик процессууд болох глобал цахилгаан ниргэлэг (> 1 Гц, цэнэгт мандалд) мөн нарны салхи ба дэлхийн соронзон мандлын харилцан үйлчлэлцэл (< 1 Гц, соронзон мандалд) (Tikhonov, 1950) зэргээс үүсэх хавтгай цахилгаан-соронзон долгион (ЦСД) дэлхийн гүн рүү босоо туйлшралтай тархаж буйгаар загварчилдаг (Cagniard, 1953). ЦСД нь дэлхийн гүн рүү нэвтрэх моментод анхдагч хэвтээ соронзон орон (H_x , H_y) индукцлагдэн газрын цахилгаан гүйдэл буюу теллурикийн гүйдлийн цахилгаан орон (E_x , E_y) үүсгэдэг. Нэгэн төрлийн бус 2-D эсвэл 3-D Дэлхийн хувьд, цахилгаан орон нь хуйларч хоёрдогч буюу босоо соронзон орон (B_z) үүснэ. Дэлхийд явагдах цахилгаан-соронзон индукцийн тухайн үзэгдлийг Максвеллийн тэгшитгэлээр тайлбарладаг.

2.1 Үндсэн тэгшитгэл

MT орны онолын суурийг тавьсан (Wait, 1954), (Berdichevsky & Dmitriev, 2008) судалгааны ажлуудыг авч үзэхэд, Максвеллийн тэгшитгэлүүдийг Дэлхий нь цахилгаан дамжуулагч орчин болохын хувьд: 1) дамжуулагчийн гүйдэл (σE) нь шилжилтийн гүйдлээс ($i\omega\epsilon_0 E$) олон дахин их ($\sigma E \gg i\omega\epsilon_0 E$) тул Амперийн хуулиас шилжилтийн гүйдлийг зайлуулах, 2) Дэлхий дотор цахилгаан цэнэг хуримтлагдахгүй тул цахилгаан орны дивергенц нь тэгтэй тэнцүү байх нөхцлүүдийг (Квази-Статик дөхөлт гэнэ)

авч үзэн давтамжийн мужид тодорхойлсон байдаг (Simpson & Bahr, 2005).

$$\nabla \times E = i\omega\mu_0 H \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = \sigma E \quad (2.2)$$

Тэгшитгэл (2.1), (2.2)-т математикийн үйлдлүүд хийснээр Гельм-Гольцийн тэгшитгэлд хүрэх ба уг тэгшитгэлийн ерөнхий шийдээр MT 1-D орныг загварчилдаг.

$$\frac{\partial^2 E}{\partial z^2} + k^2 E = 0 \quad (2.3)$$

2.2 Шууд бодлого

Энэ ажилд MT аргын суурь хэмжигдэхүүн болох скаляр импедансыг (Z) (Tikhonov, 1950), (Cagniard, 1953) Максвеллийн тэгшитгэлийн 1-D гаргалгаанд тулгуурлан тодорхойлж, цахилгаан дамжуулах чадвар дэлхийн гүнээс хамааран өөрчлөгдөх 1-D математик загварыг) Батмагнай Э., 2020) геофизикийн шууд ба урвуу бодлогын алгоритмаар бүрэн загварчилсан. Квази-статик дөхөлтийг ашигласнаар Максвеллийн тэгшитгэлийн шийд нь диффузийн тэгшитгэлд хүрдэг (Тэгшитгэл (2.4)). Гүнээс хамааран өөрчлөгдөх орчны цахилгаан дамжуулах чадварыг Тэгшитгэл (2.3)-ийн ерөнхий шийдээр тодорхойлдог (Тэгшитгэл (2.4), [13])

$$Z_n(z_{n-1}) = \frac{1}{k_n} \frac{k_n Z_n(z_n) + \tanh[k_n(z_n - z_{n-1})]}{1 + k_n Z_n(z_n) \tanh[k_n(z_n - z_{n-1})]} \quad (2.4)$$

энд z_n нь n -р үе давхаргын дээд зааг ба

$$k_n = \sqrt{\frac{i\omega\mu_0 \sigma}{\rho}} \quad \text{байна. Тэгшитгэл (2.4)-ийг}$$

Алгоритм 1: Шууд бодлого

Оролт: n-р давхаргын зузаан z_n , эсэргүүцэл ρ_n , давтамж f

Гаралт: импеданс Z , төлөөллийн эсэргүүцэл ρ_a , импедасын фаз ϕ

```

1. Тогтмолууд зарлах:  $\mu_0 = 4\pi * 10^{-7}$ 
2. for m = 1:length(f)
3.     for n = length( $\rho_n$ ): -1:1
4.         Тэгшитгэл (2)
5.         Тэгшитгэл (3)
6.         Тэгшитгэл (4)
7.     end
8.     Тэгшитгэл (5)
9. end

```

Зураг 2.1. MT 1-D шууд бодлогын алгоритм

давхаргын дээд ба доод зааг Тэгшитгэл (2.5), мөн ЦСД-ны замхралын Тэгшитгэл (2.6)-ийн хувьд бичвэл Тэгшитгэл (2.7) болно.

$$G_n = \tanh(z_n) \cdot \sqrt{\frac{1i}{\rho_n \mu_0 \omega}} \quad (2.5)$$

$$S_n = (1 + 1i) \sqrt{\frac{\rho_{n+1}}{G_n}} \quad (2.6)$$

$$Z_n(z_{n-1}) = \frac{S_n + G_n}{1 + S_n G_n} \quad (2.7)$$

Нэгжийн Си системд скаляр импеданс нь дараах хэлбэртэй байна.

$$Z = Z_n \cdot 1000 \cdot \sqrt{\frac{i\rho 5}{T_n}}$$

Тэгшитгэл (2.7)-ээр тодорхойлогдох импедансын инвариант шинж чанараар Дэлхийн үе давхаргуудын цахилгаан эсэргүүцлийг илэрхийлэх боломжтой.

$$\rho_a = \rho \cdot |Z|^2, \phi = \frac{180}{\pi} \cdot \tan\left(\frac{\text{Im}(Z)}{\text{Re}(Z)}\right) \quad (2.8)$$

Энэ ажлын хүрээнд MT-ийн 1-D шууд бодлогыг Тэгшитгэл (2.5) – (2.7)-ийг ашиглан Зураг 2. 1-т үзүүлсэн алгоритмыг зохион матлаб дээр программчилсан.

2.3 Инверсийн бодлого

Магнетотеллурикийн инверсийн бодлого нь хэмжсэн өгөгдлөөс d үл мэдэх геологийн загвар m -ийг тодорхойлоход оршдог. MT инверсийн бодлого нь муу тавилттай шугаман бус хэлбэртэй байх тул уг бодлогыг шийдвэрлэх үндсэн арга гэж байдаггүй. Иймээс өгөгдөл d ба үл мэдэх

геологийн загвар m -ээс (анхны загвар) тооцоолох өгөгдөл (зарим тохиолдолд онолын эсвэл синтетик өгөгдөл гэж нэрлэдэг), тэдгээрийн хоорондын алдаа хамгийн бага байх нөхцөлийг хайх оновчлолын бодлогын алгоритмуудаар шийдвэрлэдэг. Өгөгдөл ба загварын хамаарлыг илтгэх шууд бодлого нь дараах хэлбэрээр бичигддэг.

$$d = Gm \quad (2.9)$$

энд G нь шууд бодлогын оператор бөгөөд өгөгдөл ба загварын параметруудийн хамаарлыг илтгэх математик томъёог агуулдаг (зарим тохиолдолд Хэшиан матриц гэнэ), MT-ийн хувьд Тэгшитгэл (2.9)-ийг агуулсан байна. Инверсийн процесс нь нэг үгээр ажиглагдсан өгөгдөл ба синтетик өгөгдлүүдийг хооронд нь нийцүүлэх давталтад процесс юм. Уг процессыг математик, статистикийн алгоритмууд (Constable & Parker, 1987), (Grandis & Maulana, 2017) ашиглан автоматаар гүйцэтгэсээр ирсэн.

Энэ ажилд Левенберг-Маркуардын алгоритмд тулгуурлан 1-D MT инверсийн бодлогыг шийдвэрлэсэн (Rodi & Mackie, 2001), (More, 1978), (Loke & Dahlin, 2002) Левенберг-Маркуардын алгоритм нь

Алгоритм 2: Инверсийн бодлого

Оролт: ажиглагдсан өгөгдөл, анхны загвар

Гаралт: хамгийн сайн таарсан загвар

```

1. while алдааны шалгуур
2.     Алгоритм 1
3.     If RMS = алдааны шалгуур
4.         Загвар m гарна
5.     else
6.         Тэгшитгэл (9) – г тооцоолох
7.         for is = 1 : Давталтын тоо
8.             Тэгшитгэл (8)
9.              $m_{n+1} = m_n + \Delta m$ 
10.        end
11.    end
12. end
    
```

Зураг 2.2. MT 1-D урвуу бодлогын алгоритм

Градиентийн ба Гаусс-Ньютоны минимучлалын алгоритмуудыг нэгтгэсэн арга юм. Энэ алгоритмын давуу тал нь загварын параметрууд ажигласан буюу тулгуур өгөгдлөөс хол зөрүүтэй үед Градиентийн аргаар минимумд хурдан дөхдөг бол, өгөгдөлд ойр үед Гаусс-Ньютоны аргаар минимумыг илүү нарийвчилдаг.

2.3.1 Объектив функцийн шинжилгээ

Тэгшитгэл (2.9) хэлбэрийн шугаман тэгшитгэлийн хувьд G матрицыг илэрхийлэх функцийг объектив функц гэж нэрлэдэг. Шугаман программчлалын бодлогын хувьд объектив функцэд минимум ба максимум оршин байдаг ба түүнийг хайх нь инверсийн бодлогын үндсэн зорилго юм. Ихэнх геофизикийн инверсийн бодлогын зорилт нь объектив ажигласан өгөгдөл ба синтетик өгөгдлийн хоорондох алдаа хамгийн бага байх нөхцөлд олдох сайн тохирсон загварыг хайхад орших тул минимучлалын бодлогын шинжтэй байна. MT-ийн 1-D

орныг тодорхойлох объектив функц $\Phi(m)$ нь синтетик загварын огторгуй $\mathbb{R}_{syn}$ ба түүнд өгөгдлийн загварын огторгуй $\mathbb{R}_{obs}$

(энд, $\mathbb{R}_{obs} \in \mathbb{R}_{syn}$) хоорондох хамааралд тулгуурлан бичигдэх ёстой.

Математик статистикийн хувьд, синтетик загварын огторгуйгаас өгөгдөлд тохирох маш олон загвар олдох нь тодорхой юм. Иймээс өгөгдлийн физик шинж чанарыг алдалгүй тайлбарлах хамгийн сайн тохирсон загварыг сонгохын тулд

инверсийн $\Phi(m)$ функцээр тогтворжуулах (регуляц) шаардлагатай. Энд авч үзэж буй регулярыг ашиглан өгөгдөлд хамгийн сайн тохирох загварыг хайх нь инверсийн бодлогын зорилт юм. (Жич: ажигласан өгөгдөл нь үргэлж шум агуулах тул яг тохирох боломжгүй).

$$\underset{m}{\text{minimize}} \quad \Phi(m) = \Phi_d(m) + \beta \Phi_m(m) \quad (2.10)$$

энд $\Phi_d(m)$ нь өгөгдлийн загварт тохирохгүй байдал буюу алдаа бөгөөд энэ нь синтетик ба ажигласан өгөгдлийн зөрүүгээр тодорхойлогддог, $\Phi_m(m)$ нь загварын регуляц ба β фактор нь регуляц ба өгөгдлийн алдааны хамаарлыг жинлэдэг.

Өгөгдөлд шум агуулаагүй үед β -ийн утгыг их тоогоор сонгож болох ба ихэнх инверсийн бодлогын хувьд маш бага байхаар сонгодог нь регулярийн функцийн утгыг бууруулж өгөгдөлд бага алхмаар дөхөхөд өгөөжтэй байдаг.

Өгөгдлийн алдааг тодорхойлоход ихэвчлэн L_2 норм ашиглан тодорхойлдог.

$$\Phi_d(m) = \frac{1}{2} (\|W_d(G(m)) - d_{obs}\|_2^2) \quad (2.11)$$

Энд W_d нь өгөгдлийн алдаагаар илэрхийлэгдэх диагональ матриц байна. Регуляц функцийн хэсэгт судалгааны талбайн тухай геологийн мэдээллийг оруулж өгөх боломжтой юм. Энд Тихоновын регуляц гэж нэрлэгдэх аргыг

ашигласан бөгөөд уг регуляц нь мөн л нормыг ашигладаг.

$$L_2 \phi_m(m) = \frac{1}{2} (\alpha_s \|W_s(m - m_{ref})\|_2^2 + \alpha_z \|W_z(m)\|_2^2) \quad (2.12)$$

Тэгшитгэл (2.12)-ийн эхний нөхцөл нь загварын хэмжээг илтгэдэг бөгөөд энд W_s матриц нь загварын масштабын уртын тухай (эсвэл загварт харгалзах хэд хэдэн параметруудийн жин) мэдээллийг агуулах

диагональ матриц юм. Харин скаляр α_s нь регуляцийн хэсэгт хамаарах фактор байна. Энд бид тулгуур загварыг мөн оруулж өгсөн бөгөөд энэ нь ихэвчлэн тогтмол утга байх боловч орчны тухай илүү дэлгэрэнгүй мэдээлэлтэй бол тогтмол бус байж ч болно.

Тэгшитгэл (2.12)-ийн хоёр дахь нөхцөл нь загварын тэгш байдлыг илэрхийлдэг. Энд гүнтэй хамаарах загварын уламжлалуудыг агуулсан матриц буюу Хэшиан матриц байна. Иймээс энэ нь загварын өөрчлөлт болох тэгш байдлыг илэрхийлдэг. Скаляр α_s нь регуляцийн тэгш байдалд хамаарах жин байна.

Тэгшитгэл (2.10, 2.11, 2.12)-д тодорхойлсон объектив функцийг бүрэн параметрийн утгууд олгохын тулд өгөгдлийн тодорхойгүй байдлыг тодорхойлох (W_d -д параметр өгөх), m_{ref} тулгуур загварыг сонгох, скалярууд болох β , α_s , α_z -ийг олох зэрэг хүндрэлүүдтэй тулгарч байна. Эдгээрийн шинж чанарын талаар дараагийн хэсэгт өгүүлэх синтетик загвар дээр дэлгэрэнгүй тайлбарлана.

2.3.2 Детерминистик инверс

Геофизикийн инверсийн бодлогоор мининумчлахаар зорьж буй объектив функц нь шугаман бус байдаг Тэгшитгэл (2.9). Учир нь хэмжилт болон системийн алдаа нь ажиглагдсан өгөгдөл агуулж байдаг ба ихэвчлэн бид түүнийг Гауссын түгэлттэй гэж үздэг тул Хи-квадрат функцийг мининумчлахад хүрдэг. Энэ нь геофизикийн бодлогын шугаман бус, муу

тавилттай байдагт оршдог (Тэгшитгэл (2.11), (2.12)).

Шугаман бус функцийг мининумчлах бүхий л оптимизацийн алгоритмууд дундаас загварын градиентад тулгуурласан аргууд болох Ньютон, Гаусс-Ньютон, Квази-Ньютон ба Левенберг-Маркуардын аргуудыг детерминистик аргууд гэж нэрлэдэг. Учир нь эдгээр аргууд нь объектив функцийн өөрчлөлтийн чиглэлд тулгуурлан мининумыг хайдаг.

Энэ ажилд, Левенберг Маркуардын арга ашиглан объектив функцийн шийдийг олсон.

$$F = (d - g(m_0 + \Delta m) + \beta \|dm\|^2) \quad (2.13)$$

Энд d нь ажиглагдсан утга, m_0 нь анхны загвар, dm нь загварын уламжлал бөгөөд Хэшиан матрицаар тайлбарлагддаг бол Левенберг-Маркуардын алгоритмын хувьд загварын шинэчлэл нь:

$$\Delta m = [J^T W J + \beta I]^{-1} J^T W g(d - m_0) \quad (2.14)$$

дээрх хэлбэртэй байна. Хэрвээ β нь загварын мэдрэх чадварыг үзүүлж байгаагийн дээр бага утгатай байх тохиолдолд алгоритм нь Гаусс-Ньютоны гаргалгаагаар харин их утгын хувьд градиентын алгоритм мэт ажилладаг. Хэрвээ нэг итерацийн дараагаар алдааны

утга өмнөх утгаасаа ихэсвэл β утга мөн л ихсэх ба эсрэг тохиолдолд багасдаг. Тэгшитгэлийг илүү тогтворжуулахын тулд

$$\Delta m = [J^T W J + \beta \text{diag}(J^T \beta J)]^{-1} J^T W g(d - m_0) \quad (2.15)$$

хэлбэрээр бичиж болно. Энд W алдаагаар жинлэгдсэн диагональ матриц байна.

3. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

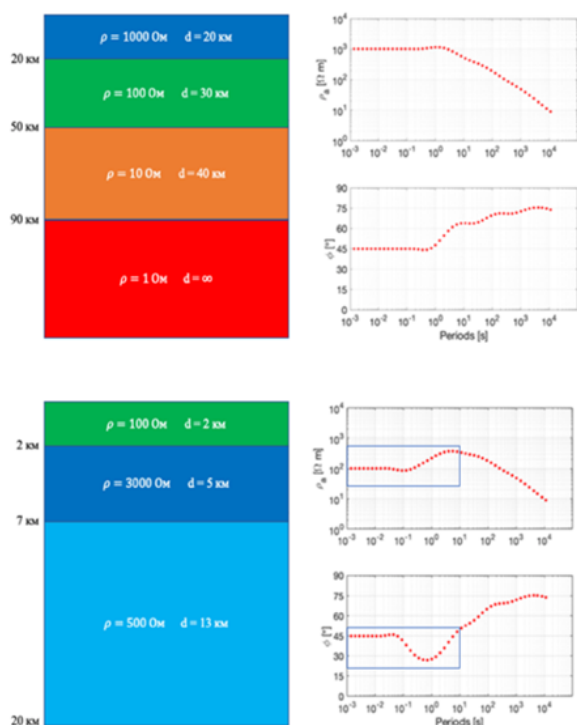
3.1 Синтетик тест

Дээрх хэсэгт дурдсан алгоритмуудыг шалгахын тулд хоёр төрлийн синтетик загвар авч үзсэн. Нэгдүгээр загварт, (Chen, Niu, Liu, & Tromp, 2015), (Zorin, Mordvinova, Turutanov, Belichenko, & Artemyev, 2002) ажлуудад тулгуурлан Монгол орны хувьд дээд болон доод царцдасын зааг (20 км) 1000 Ом, Мохо давхаргын гүн (50 км хүртэлх 30 км зузаан) 100 Ом ба мөн түүнчлэн (50-90 км) хүчтэй цахилгаан дамжуулагч чадвар бүхий 10 Ом давхаргуудаас бүрдсэн регионал синтетик загварыг зохиосон. Харин хоёрдугаар загварт царцдасын дээд давхаргыг: (Kauf, Grayver, & Comeau, 2020) ажилд тулгуурлан өндөр дамжуулагч бүхий (2 км) 100 Ом, өндөр эсэргүүцэл бүхий (5 км) 3000 Ом ба 500 Ом цахилгаан эсэргүүцэл бүхий (13 км) үеүдэд хуваан авч үзэн шууд бодлогыг тестэлж, ажиллагааг найдвартай болохыг баталсан.

3.2 МТ өгөгдөл

МТ судалгааны баг Булган аймгийн Могод сумын нутагт МТ хэмжилтийг 2020 оны 10 дугаар сард нийт 7 өдрийн туршид хийж гүйцэтгэсэн. Зүүн уртрагийн 102.907301, хойд өргөргийн 48.163642 байрлалтай 0100В цэгийн хугацааны цуваанаас холбогч функцийг тодорхойлохын тулд бид Робертын давталтад аргаар шугаман бус регрессийн тэгшитгэлийн шийдийг олсон. МТ тандалтын үндсэн өгөгдөл болох холбогч функц (Батмагнай & Сүхбаатар, 2016), (Батмагнай & Сүхбаатар, 2017) нь цахилгаан ба соронзон орны хоорондын хамаарлыг илэрхийлдэг. Үүний үр дүнд тодорхойлсон холбогч функцийг Зураг 3.2-т үзүүлсэн. Энд 125Hz – 1000с хүрч байгаа нь уг өгөгдлөөр Дэлхийн гадаргаас царцдасын доод давхарга болон мантийн дээд давхарга хүртэл тандах боломжтой юм. 1-D цахилгаан дамжуулах чадварыг инверсийн аргаар тодорхойлохын тулд

анхны загварыг геологийн орчинтой уялдуулан зохиох нь инверсийн бодлогын нарийвчлалыг нэмэгдүүлж байдаг. Энэ ажилд ажигласан өгөгдлийн шинж чанарт тулгуурлаж нэгэн төрлийн дамжуулах чадвар бүхий хагас огторгуй загварыг сонгосон. Загварын параметрийг хэмжсэн долгионы үед харгалзах төлөөллийн эсэргүүцлийн геометр дунджаар, гүний хамаарлыг скин гүнээр холбон авч үзсэн нь градиентад тулгуурласан аргуудын нэг болох Левенберг-Маркуардын аргыг ашиглах явцад тохиолддог локал минимумын хүндрэлээс зайлсхийхэд маш тохиромжтой юм. Нэгэн төрлийн хагас огторгуй болох 100 Ом, 1000 Ом бүхий загварыг анхны загвараар сонгон авахад ажигласан болон синтетик өгөгдлийн хоорондох алдаа >130 байсан бол бидний дөхөлт уг алдааг <30 болгож багасгасан нь энэ дөхөлтийн давуу талыг харуулж байна. Бидний тохиолдолд анх инверсийн процесс эхлэхэд энэ алдаа нь 22 байсан бөгөөд 128 итерацийн дараагаар <1 буюу хамгийн бага утгадаа хүрсэн. Инверсийн бодлогын характеристикийг илэрхийлэхэд RMS алдааг түгээмэл ашигладаг хэдий ч энэ нь зөвхөн тоон үзүүлэлт тул загварын чанарын талаарх мэдээллийг илэрхийлдэггүй. Иймээс загварын чанар ба мэдрэх чадварыг ойлгохын тулд объектив функцийн шинжилгээ болон өгөгдлүүдийн хоорондын харьцааг хянах шаардлагатай. Өөрөөр хэлбэл загварыг тогтворжуулах регуляцийн утгыг объектив функцэд өгөхөд энэ утга өндөр байх эсвэл тохиромжгүй байвал локал минимумд орж алгоритм зогсдог. Энэ тохиолдолд RMS утга мөн л бага байх боловч ажигласан болон синтетик загварын утгын зөрүү их байдаг. Зураг 3.3 (дээд)-т ажигласан өгөгдөл ба тухайн итерац бүрд харгалзах загвараар тодорхойлсон өгөгдлүүдийг харуулав. Инверсийн бодлогоор гарган авсан загвараар ажигласан утгыг бүрэн тайлбарлах боломжтой болох нь уг өгөгдлүүдийн хоорондын нийцэл болоод



Зураг 3. 1. Синтетик загвар ба Алгоритм 1-ээр түүнээс тодорхойлсон синтетик өгөгдөл. Энд дээд хэсэг нь региональ синтетик загвар, доод хэсэг нь дээд царцдасын өөрчлөлтийн загварыг харуулсан ба цэнхэр хүрээн доторх өгөгдлийн цэгүүд нь эхний 20 км-т харгалзах ба хүрээний гаднах цэгүүд нь 20 км - ээс дооших гүнд харгалзана.

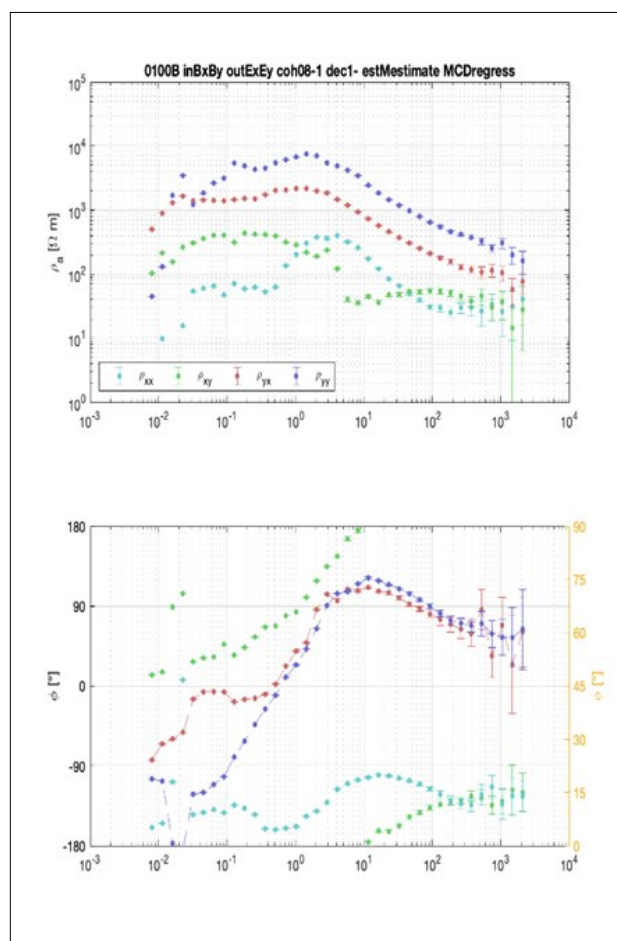
алдааны утга илтгэж байна. Мөн түүнчлэн алдааны түгэлтийн гистограмм (Зураг 3.3 баруун доод) нь анхны ба сүүлчийн загварын өгөгдлийн хувьд тэгш хэмтэй байх төдийгүй төвийн цэг рүү тэмүүлж буй нь бодлогын шийд үнэн болохыг баталж байна.

Зураг 3.4-т итерацуудад харгалзах загварын шинэчлэлийг үзүүлсэн. Энэ нь хамгийн сайн тохирсон өгөгдөлд хүргэнэ. Итерац бүрээр тодорхойлогдох синтетик өгөгдлийн дөхөлт ба синтетик загварын шинэчлэлийн градиентийн чиглэл өөрчлөгдөхгүй байгаа нь тооцооллын хувьд дифференциал матрицын тодорхойлогч нь хязгааргүй аль эсвэл утга олдохгүй (NaN) байх улмаар дээд эрэмбийн уламжлалд шилжин матрицыг тодорхойлоход хүндрэл учруулж тооцооллын хурдыг багасгахаас зайлсхийж чадсан. Энэ нь өгөгдөлд тулгуурлан анхны

загварыг зохиож мөн Левенберг-Маркуардын алгоритмыг авч үзсэний давуу тал юм. Дифференциал матрицыг (бидний тохиолдолд Якобын матриц) үнэлэхдээ бид төгсгөлөг ялгаврын аргыг ашигласан. Мөн

β -ийн утгыг 0.8 гэж авч үзсэн нь итерац бүрд буурч загварын нарийвчлалыг сайжруулж байсан. Загварын гүнээс хамаарсан мэдрэх чадварыг Зураг 3.4 (баруунд) -т үзүүлсэн.

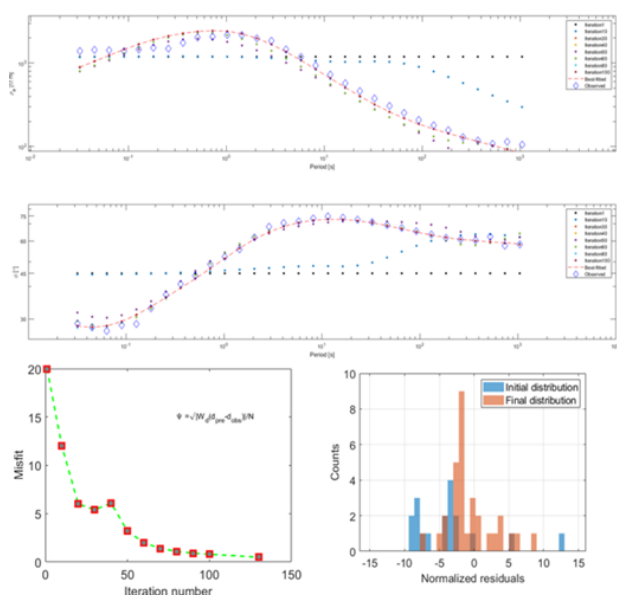
Мэдрэх чадвар бас харьцангуй тогтвортой байгаа нь инверсийн загвараар бид дэлхийн гүний үе давхаргын тогтцыг бүрэн тайлбарлах боломжтойг илэрхийлнэ.



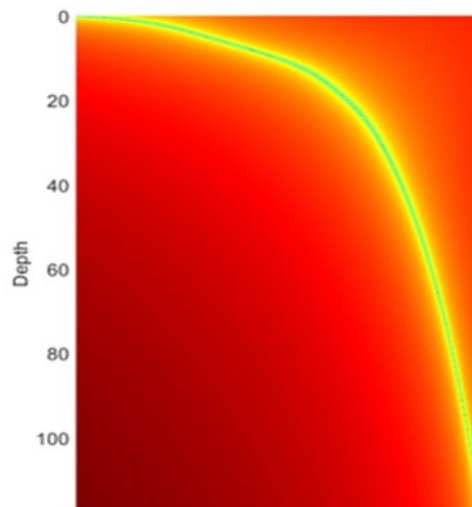
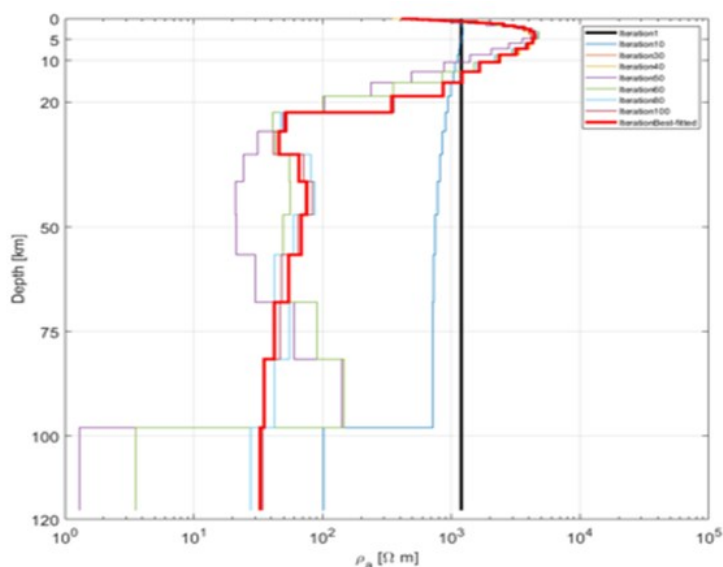
Зураг 3. 2. Цэг 0100B-ээс үнэлсэн холбогч функц.

Дээр хэлэлцүүлсэн инверсийн процессын гүйцэтгэл болоод давуу тал нь энэ удаагийн судалгааны ажлын үндсэн зорилт юм. Цаашид 1-D цахилгаан дамжуулах чадварын загвараар Дэлхийн гүний үе тогтцыг хэрхэн тайлбарлах талаар

товч авч үзэх болно. МТ-ийн инверсийн бодлогоор тодорхойлогдох цахилгаан дамжуулах чадвар нь Дэлхийн үе давхаргуудын нэгэн төрлийн бус тогтоц болон Дэлхийн гадаргын өндөршилтэй холбогдох цэнэгийн хуримтлалаас хамаарсан МТ гажлыг үзүүлдэг. Энэ судалгааны ажлын хүрээнд бид 1-D МТ загварын талаар авч үзсэн нь энэ загвар тооцооллын хувьд харьцангуй түргэн бөгөөд зарим тохиолдолд 2-D загвартай харьцуулахад нарийвчлал өндөр байдаг нь



Зураг 3.3. Ажигласан ба онолын өгөгдөл, инверсийн гүйцэтгэл



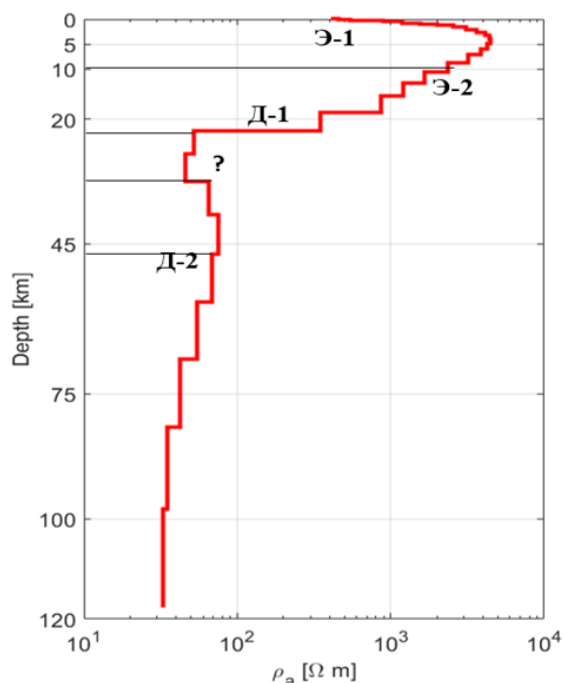
Зураг 3.4. МТ 1-D загварын шинэчлэлийг итерацуудад үзүүлсэн байдал (зүүн), загварын мэдрэх чадвар.

аналитик шийдэд тулгуурласан шууд бодолттой холбоотой.

Иймээс гүний тогтцын судалгаа хийхэд хангалттай тооны МТ хэмжилтийн цэгүүдийн утгаар 1-D тооцоолол хийн тайлбарлах нь тоон алдаа бага болохыг баталсан юм. Бидний тохиолдолд зөвхөн нэг цэгийн хэмжилтийн утгыг энд авч үзсэн тул тодорхойлсон загварт тайлал хийх нь мөн хязгаарлагдмал юм. Учир нь 1-D загвар нь цахилгаан дамжуулах чадварын гүнээс хамаарсан түгэлтийн өөрчлөлтийг илэрхийлдэг. Гэсэн хэдий ч Дэлхийн гүний тогтцын үе давхаргуудын байрлал, материалын шинж чанарыг ойлгоход анхдагч боловч үнэтэй мэдээллийг МТ 1-D загвараас олж авах боломжтой.

Зураг 3.5-т үзүүлсэн 1000–3000 Ом эсэргүүцэлтэй Э-1 орчныг Хангайн нурууны царцдасын дээд давхаргын тогтцын түгээмэл тайлбарын нэг болох Урьд-Кэймбрийн настай кратоник блоктой холбон тайлбарлаж болно. Орчин Э-2-оос цахилгаан дамжуулах чадварын утга 1000 Ом бас 500 Ом болж, 19 км орчмын гүнээс эхлэн цахилгаан эсэргүүцлийн утга 30 Ом хүртэл өөрчлөгдөж байна. Тухайн Д-1 дамжуулах чадвар бүхий орчныг дээд ба доод царцдасын зааг гэж үзэж болно.

Харин Д-2 орчинг царцдас ба цаваг мандлуудын үе зааг буюу Мохотой холбон тайлбарлаж байна. Энд өгсөн тайлбаруудад өмнө хийгдсэн геофизикийн судалгааны ажлуудын үр дүн болон тэдгээрийн тайлалтыг ашигласан.



Зураг 3. 5. 1-D инверсийн загварын тайлал

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү судалгааны ажилд МТ 1-D инверсийн тухай дэлгэрэнгүй авч үзэн уг төрлийн кодыг градиентад тулгуурласан Левенберг-Маркуардын аргыг ашиглан хөгжүүлж синтетик болон бодит өгөгдлөөр шалган гаргасан үр дүнг хэлэлцүүлсэн болно. Бид шууд бодлогын алгоритмыг шалгахдаа синтетик загварыг геологийн орчинтой холбон авч үзэж алгоритмын ажиллагаа болон нарийвчлал өндөр болохыг баталсан. Харин бодит өгөгдлийн хувьд зөвхөн нэг цэгийн хэмжилтийн утгаар холбогч функцийг тодорхойлсон нь учир дутагдалтай хэдий ч гүний тухай мэдээллийг өгөх энэ 1-D инверсийн хувьд

ТАЛАРХАЛ

Энэ төрлийн арга зүйн судалгааны ажлыг хийхэд цаг заваар хангаж өгсөн Ж.Гүррагчаа удирдагчтай Астропарк салбарынханд баярлалаа. Судалгааны

Гэсэн хэдий ч бидний тодорхойлсон загвар доод царцдасын цахилгаан дамжуулах чадварыг харьцангуй өндөр харуулж буй төдийгүй цаваг мандлын дээд давхаргын цахилгаан дамжуулах чадвартай ижил утгатай байгаа нь ихээхэн сонирхол татаж байна. Иймээс дээд ба доод царцдасын зузаан мөн Мохо гүний байрлалыг нарийвчлан судалж ойлгох шаардлагатайг илэрхийлж байна. Цахилгаан дамжуулах чадварын гажил 20-30 км орчимд ажиглагдаж буй нь магадгүй мантийн хэсэгчилсэн хайлалт болон магмын өргөлттэй холбоотой байж болох юм.

Могод сумын МТ 1-D цахилгаан дамжуулах чадварын загвар нь тухайн бүс нутгийн дээд ба доод царцдасын зузааныг нарийвчлан тодорхойлох боломжийг олгож байгаа хэдий ч энэ загвар нь стандарт тайллаас харьцангуй зөрж байгаагийн дээр литосфер ба астеносферуудын зааг гэх мэт тогтцын тайлал хийхэд хүндрэл учруулж байгаа тул уг төрлийн нарийвчилсан судалгаа хийх нь бидний цаашдын зорилго болж байгаа юм.

Дэлхийн гүний тогтцын үе давхаргуудын байрлал, материалын шинж чанарын тухай мэдээллийг бидэнд өгч чадах юм. Могод сумын орчимд хийсэн энэхүү хэмжилтийн үр дүн давхаргын зузаан буюу хэдэн км хүртэл тандах боломжтойг төвөггүй хэлж өгч байгаа ч тогтцын тухай нарийвчилсан судалгаа хийх шаардлагатайг өмнө хийсэн ажлууд болон геологийн стандарт тайллууд харуулж байна. Бидний хөгжүүлсэн код үнэн зөв ажиллаж тодорхой үр дүнг өгснөөр бид Могод сумын орчимд цаашид энэ төрлийн нарийвчилсан судалгаа хийх шаардлагатай гэж үзсэн.

ажилд ашигласан хэмжилтийн өгөгдлийг бэлтгэж өгсөн Магнетотеллурикийн судалгааны багт баярлалаа. Мөн түүнчлэн бичвэрийн ажлыг сайжруулахад үнэтэй

зөвлөгөө өгсөн докторант Ш.Цэрэндүгт талархсанаа илэрхийлье. Энэхүү судалгааны ажил нь Одон орон Геофизикийн хүрээлэн дээр хэрэгжиж буй

С.Дэмбэрэл удирдагчтай МТ-ийн онол арга зүйг хөгжүүлэх ба хайгуулд нэвтрүүлэх төслийн хүрээнд хийгдэв.

НОМ ЗҮЙ

- Tikhonov, A. (1950). On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's. *Doklady*, 295-297.
- Cagniard, L. (1953). Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635.
- Wait, J. R. (1954). Mutual coupling of loops lying on the ground. *Geophysics*, 19, 290-296.
- More, J. J. (1978). *The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory*. Springer.
- Батмагнай Э. (2018). Магнетотеллурикийн аргын өгөгдөл боловсруулалт. *Master's thesis*.
- Батмагнай Э. (2020). Магнетотеллурикийн тензорууд ба тэдгээрийн физик тайлбар: I хэсэг 1-D загвар. *Геофизик ба Одон Орон судлал*, 7, 38-47.
- Батмагнай, Э., & Сүхбаатар, Ү. (2016). Цахилгаан соронзон тандлын сигнал боловсруулалт арга. *Хүрэл-тогоот эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхэтгэл*.
- Батмагнай, Э., & Сүхбаатар, Ү. (2017). MAG-MTT соронзон оргил дахь Леми-418 магнетотеллурикийн станцын мэдээлэл боловсруулалт (1. Хугацааны цуваанаас импеданс тензорыг тодорхойлох). *Геофизик ба Одон Орон судлал*, 4, 84-91.
- Berdichevsky, M. N., & Dmitriev, V. I. (2008). *Models and methods of magnetotellurics*. Springer Science & Business Media.
- Chen, M., Niu, F., Liu, Q., & Tromp, J. (2015). Mantle-driven uplift of Hangai Dome: New seismic constraints from adjoint tomography. *Geophysical Research Letters*, 42, 6967-6974.
- Constable, S. C., & Parker. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300.
- Grandis, H., & Maulana, Y. (2017). Earth and Environmental Science. *Earth and Environmental Science*. 62, хууд. 012033. IOP Publishing.
- Guo, R., Liu, L., & Liu, J. a. (2019). Effect of data error correlations on trans-dimensional MT Bayesian inversions. *Earth, Planets and Space*, 71, 1-13.
- Kaufl, J. S., Grayver, A. V., & Comeau, M. J. (2020). Magnetotelluric multiscale 3-D inversion reveals crustal and upper mantle structure beneath the Hangai and Gobi-Altai region in Mongolia. *Geophysical Journal International*, 221, 1002-1028.
- Loke, M. H., & Dahlin, T. (2002). A comparison of the Gauss--Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of applied geophysics*, 49, 149-162.
- Mandolesi, E., Ogaya, X., Campanya, J., & Agostinetti, N. P. (2018). A reversible-jump Markov chain Monte Carlo algorithm for 1D inversion of magnetotelluric data. *Computers & Geosciences*, 113, 94-105.
- Rodi, W., & Mackie, R. L. (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187.
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Zorin, Y. A., Mordvinova, V. V., Turutanov, E. K., Belichenko, B., & Artemyev, A. a. (2002). Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia:

receiver function data and their possible geological implication. *Tectonophysics*, 359, 307-327.
deGroot-Hedlin, C., & Constable, S. (1990).

Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

1-D MT INVERSION USING BY DETERMINISTIC INVERSION TECHNIQUE

Abstract. this study, we report the MT 1-D inversion algorithm that is efficient to probe Earth's subsurface. The inversion algorithm is developed by using the Levenberg-Marquardt method, which is one of the gradient-based optimization tools. Our purpose that to use such an inversion code for the real data-set was successfully implemented. The resulting obtained 1-D electrical conductivity model of the Mogod study region can suggest that future detailed study needed.

Key Words: Inversion, objective function, apparent resistivity, phase

5. ХАВСРАЛТ

А. Хельм-Хольцийн тэгшитгэлийн гаргалгаа

$$\nabla^2 E = -k^2 E \quad (A.1)$$

Нэг хэмжээст орчинд

$$\frac{d^2 E}{dz^2} = -k^2 E(z) \quad (A.2)$$

$$Z = \int_0^z k(q) dq$$

Эндээс

$$\frac{dZ}{dz} = ik(z)$$

Одоо $\frac{dE}{dz}$ -г хувиргаж $\frac{dZ}{dz} = ik(z)$ орлуулга хийвэл:

$$\frac{dE}{dz} = \frac{dE}{dZ} \cdot \frac{dZ}{dz} = \frac{dE}{dZ} ik(z)$$

болно. Иймд Тэгшитгэл (A.2) дараах хэлбэртэй болно:

$$\frac{d^2 E}{dZ^2} = \frac{d^2 E}{dz^2} \cdot \left(-k^2(z)\right) + i \frac{dE}{dZ} \frac{dk}{dz} \quad (A.3)$$

Өөрөөр,

$$\frac{d^2 E}{dz^2} = -\frac{d\left(\frac{dE}{dZ}\right)}{dZ} \cdot k^2(z) + i \frac{dE}{dZ} \frac{dk}{dz}$$

Тэгшитгэл (A.3) ба Тэгшитгэл (A.2) – ийн тэнцүүгийн тэмдгийн баруун гар талыг

тэнцүүлж k^2 - т хувааж дараах хэлбэртэй

$$\frac{d\left(\frac{dE}{dZ}\right)}{dZ} + i \frac{dE}{dZ} \frac{d\left(\frac{1}{k}\right)}{dz} = E \quad (A.4)$$

Матриц тэгшитгэл

$$\frac{dE}{dZ} = \psi, \frac{d\left(\frac{1}{k}\right)}{dz} = \gamma \quad (A.4)\text{-д} \quad \text{гэж орлуулбал:}$$

$$\frac{d\psi}{dZ} = E - i \gamma \psi \quad (A.5)$$

Тэгшитгэл (A.5)-ийг Матриц хэлбэрт шилжүүлбэл:

$$\frac{d\phi}{dZ} = M \phi \quad (A.6)$$

энд,

$$\phi = \begin{bmatrix} E \\ \psi \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -i\gamma \end{bmatrix}$$

ба $M = J - i\gamma K$ байна. γ нь z-ийн функц. Тиймээс Z нь матриц M болно.

Аналитик скаляр дифференциал тэгшитгэлийн шийд:

$$y(x) = e^{\left(\int_0^x \mu(z) dz\right)} y(0)$$

гэдгийг санавал Матриц тэгшитгэл:

$$\Phi(x) = e^{\left(\int_0^Z M dZ'\right)} \Phi(0) \quad (A.7)$$

дээрх тэгшитгэлийн баруун гар талын шийдийг

Λ функцээр олдоно гэвэл:

$$\Lambda(Z) = e^{(\int_0^Z M dZ')} \Lambda(0) \quad (\text{A.8})$$

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda \\ \mu \end{pmatrix}$$

$$\mu(z) = \frac{d\lambda}{dz}$$

M матрицын интеграл

$$\int_0^Z M(Z') dZ' = \begin{bmatrix} 0 & Z \\ Z & -i \int_0^Z \gamma(q) dq \end{bmatrix} \quad (\text{A.9})$$

Тул Тэгшитгэл (A.9)-ийн шийд:

$$\begin{bmatrix} \lambda(Z) \\ \mu(Z) \end{bmatrix} = e^{\left\{ \begin{bmatrix} 0 & Z \\ iZ' & -i \int_0^Z \gamma(q) dq \end{bmatrix} \right\}} \begin{bmatrix} \lambda(0) \\ \mu(0) \end{bmatrix} \quad (\text{A.10})$$

$$Z' = \int_0^Z k(q) dq, Z = iZ' \quad \text{гэвэл дээрх шийд:}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda(Z') \\ \mu(Z') \end{bmatrix} = e^{\left\{ \begin{bmatrix} 0 & iZ' \\ iZ' & -i \int_0^Z \gamma(q) dq \end{bmatrix} \right\}} \begin{bmatrix} \lambda(0) \\ \mu(0) \end{bmatrix} \quad (\text{A.11})$$

Иймд Тэгшитгэл (A.8) дараах хэлбэртэй болно.

$$\Lambda(Z') = e^{(iZ' J - iLK)} \Lambda(0) \quad (\text{A.12})$$

энд, $L = \int_0^Z \gamma(q) dq$ нь дээрх Тэгшитгэл (A.12)-ийн хувьд $\begin{bmatrix} e^{(iZ' J)} e^{Exp(-iLK)} \end{bmatrix}$

$\Lambda(0)$ хэлбэртэй байж болохгүй. Харин өөр функцийг хувьд:

$$\Omega(z) = [e^{(iZ' J - iLK)}] \Omega(0) \quad (\text{A.13})$$

хэлбэртэй байх ба энд,

$$\Omega = \begin{bmatrix} \omega \\ \varsigma \end{bmatrix}, \varsigma(x) = \frac{d\omega}{dz}$$

$$e^{(iLK)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & e^{(-i \int_0^Z \gamma(q) dq)} \end{bmatrix}$$

$\Omega(z)$ шийдийн хэлбэлзэл нь $e^{(iZ' J)}$ ба гүйдэг дунджийн хэмжээ нь $e^{(iLK)}$ - аар өгөгдсөн бол доорх шийдэд хүрнэ:

$$e^{(-i \int_0^Z \gamma(q) dq)} \varsigma(0) \quad (\text{A.14})$$

$$\gamma = \frac{d(\frac{1}{k})}{dz} \quad \text{тул гүйдэг дунджийн хэмжээ:}$$

$$e^{(\frac{-i}{k(z)})} e^{(\frac{i}{k(0)})} \varsigma(0)$$

Тогтмолууд нормчлох явцад алга болдог. Энд 2-р дөхөлт авбал:

$$e^{(A)} e^{(B)} e^{(-\frac{1}{2})} e^{([A,B])}$$

ба дараах шийдэд хүрч байна.

$$[J, K] = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

МАГНЕТОТЕЛЛУРИКИЙН СИГНАЛ БОЛОВСРУУЛАЛТ БА ЗАГВАРЧЛАЛ: ЛЕМИ-423 МТ СТАНЦЫН ЖИШЭЭНД

¹Б.Энхзул,¹ Ш.Цэрэндүг,² Э.Батмагнай

¹Одон орон Геофизикийн хүрээлэн

²ETH Zurich

enkhzul@iag.ac.mn

Хураангуй. Энэ өгүүлэлд соронзон оргилын ба МТ хээрийн судалгаанд ашиглах Леми станцын мэдээлэл боловсруулалтын арга зүй ба загварчлалын талаар дэлгэрэнгүй авч үзсэн. Шинжлэх ухааны академийн одон орон геофизикийн хүрээлэн 2019 оноос ЛЕМИ-423 загварын магнетотеллурикийн станцуудтай болж судалгаанд ашиглах болсон. Эдгээр станцуудын хэмжилт, боловсруулалтаас гарган авсан өгөгдөл нь Дэлхийн тогтцын судалгаанд бүрэн ашиглах боломжгүй зөвхөн дээд царцдасын судалгаанд ашиглах боломжтой байсан. Уг асуудлыг багажийн техник хангамжийн судалгаа ба мэдээлэл боловсруулалтын арга зүйн шинэчлэлээр бүрэн шийдвэрлэж газрын гадаргаас дээд цавгийн судалгаанд бүрэн ашиглах боломжтой болсон.

Түлхүүр үгс: Магнетотеллурик, ЛЕМИ-423, Холбогч функц.

1. ОРШИЛ

Геофизикийн үндсэн аргуудын нэг бол Цахилгаан соронзон (ЦС) судалгааны арга юм. ЦС аргаар дэлхийн гүний үе давхаргын гео-цахилгаан структурыг танддаг төдийгүй Дэлхийн дотоод мандлуудад явагдах кинематик ба динамик үйлчлэлээс үүсэх цахилгаан соронзон орон мөн гадаад давхаргууд дахь ЦС үзэгдлүүдийн мониторингт ашиглаж байна. ЦС судалгаа нь орны хугацааны өөрчлөлтийг бүртгэн авч түүнд анализ тайлбар хийхэд суурилдаг. Хүн төрөлхтөн Дэлхийн соронзон орны өөрчлөлтийг аль XVII зуунаас эхлэн бүртгэж эхэлсэн түүхтэй. XX зууны дунд үеэс эхлэн Дэлхийн соронзон орны индукцийн процессийн улмаас өдөөгдөн үүсэх теллурикийн гүйдлийн цахилгаан орныг бүртгэх болсон. Дэлхийн гадарга дээр бүртгэгдэх цахилгаан соронзон орныг хамтад нь бүртгэснээр Дэлхийн гүний ЦС судалгаанд магнетотеллурикийн (МТ) аргыг ашиглах үндэс тавигдсан гэж үзэж болно. МТ арга нь Дэлхийн гадарга дээр зэрэг бүртгэгдэх цахилгаан соронзон орны хамаарлыг илэрхийлэх импедансыг бүртгэн авч Дэлхийн үе давхаргын цахилгаан

дамжуулах чадварыг тодорхойлоход оршино. МТ-ийн онолын үндсийг тавьсан хоёр эрхмийн нэрээр нэрлэгдэх Тихонов-Каньярын импедансыг гүнээс хамааран өөрчлөгдөх цахилгаан дамжуулах чадварын утгыг тодорхойлоход ашигласаар ирсэн. МТ хэмжилтээр цахилгаан соронзон орны вектор хэмжигдэхүүнүүдийг бүртгэх тул импеданс нь үнэндээ тензор хэмжигдэхүүн байдаг. Ажиглагдсан хугацааны цуваанаас импеданс тензорыг үнэлэх алгоритм нь 1986 онд бүрэн боловсорсноор МТ судалгаа нь хоёр ба гурван хэмжээст огторгуйн хувьд хийгдэх болсон. Өнөөдөр МТ арга нь Дэлхийн гүнийг тандах геофизикийн хүчирхэг арга болон өргөжин хөгжиж буй нь уг аргын хэмжилтийн зардал хямд бүтцийн мэдээллийг илэрхийлэх чадамж өндөр байдагтай холбоотой.

Монгол орны хувьд 2016 оноос эхлэн МТ тоног төхөөрөмжийг ашиглан гүний ЦС судалгаа хийх арга зүйн судалгаа хийж эхэлсэн төдийгүй Швейцарь ба Германы судлаачидтай хамтран хоёр төсөлт ажлыг амжилттай хэрэгжүүлээд байна. Онолын судалгааны хүрээнд МТ хэмжилтээс

холбогч функцийг үнэлэх мэдээлэл боловсруулалтын арга зүйг боловсруулж соронзон оргилуудын мэдээлэл боловсруулалтад ашиглах болсон. Улмаар 1-D ба 2-D MT загварчлалын судалгааны ажлууд амжилттай хийгдэж тодорхой үр дүнд хүрээд байна. Энэ ажилд бид 2019 оноос эхлэн судалгаанд ашиглаж буй ЛЕМИ-423 станцын шинж чанар ба мэдээлэл боловсруулалтын талаар дэлгэрэнгүй авч үзэн уг багажуудаар хийж буй судалгааны ажлын зарим үр дүнг хэлэлцэх болно.

Монгол оронд хэрэглэгдэж буй MT ба соронзон оргилууд нь Украйны Леми үйлдвэрийн багажуудаар тоноглогдсон. ЛЕМИ станцууд нь үнэ хямд хэрэглэхэд ойлгомжтой интерфестэй зэрэг нь уг станцыг ашиглахад давуу талууд олгож байдаг. Станцын бүртгэн авсан хугацааны цуваа нь бинари хэлбэрээр бүртгэгддэг. Уг өгөгдлийг шууд унших ямар нэгэн код болон мэдрэгчийн тохируулгын коэффициентээр үнэн зөв хангаагүй байдал уг төрлийн станцыг ашиглахад хүндрэл учруулдаг. Сүүлийн 3 жилийн хугацаанд ЛЕМИ станцын үндсэн программ хангамжийг ашиглан бинари өгөгдлийг аравтын хэлбэрт хөрвүүлэн мэдээлэл боловсруулалт хийж ирсэн.

Энэ нь тооцооллын хурдыг удаашруулж зарим тохиолдолд 20 Гб хүртэлх өгөгдлийг уншуулж тооцоо хийх зэрэг асуудлуудыг бий болгодог байсан. Зохиогч практик судалгаанд тулгуурлан бинари өгөгдлийг бүрэн уншуулж судалгаанд ашиглаж байсан хэдий ч 10 км-ээс дооших гүний судалгааны хувьд өгөгдлийн чанар хангахгүй байсан. Иймээс

2. MT ОРНЫГ БҮРТГЭХ БА СИГНАЛ

MT орны үүсгүүрийг Дэлхийн гадаад давхаргуудад явагдах физик процессын улмаас үүсэх ЦС долгионоор тайлбарладаг (Tikhonov, 1950), (Cagniard, 1953). Үүсгүүрийн механизмын шинж чанараас хамаарсан өөр өөр урттай ЦС долгион Дэлхийн гүнрүү нэвтрэн ЦС индукцэл

багаж болон мэдээлэл боловсруулалтын судалгааг өргөтгөн хийж өгөгдлийн чанарыг сайжруулсан алхмуудыг уг ажилд дурдсан. Уг өгүүлэл нь цаашид MT судалгааны ажлыг илүү өргөн хүрээнд буюу бусад геофизикийн судалгаатай хамтран хийхэд суурь ойлголтыг өгөх, улмаар тулгамдсан асуудлуудын талаар эмхэтгэж оруулж буйгаараа практикийн хувьд өндөр ач холбогдолтой болж байгаа бөгөөд гол давуу тал нь MT мэдээлэл боловсруулалт ба загварчлал, цаашлаад тайлал хийхэд ашиглаж буй дөхөлтүүд ба бэрхшээлтэй байдлыг авч үзсэн байдал юм. Энэ нь MT судалгааны ажлыг олон арван судлаачид сонирхон судлах, хөгжүүлэхэд илүү түлхэц болно гэдэгт итгэлтэй байна. 1-D MT загварчлалын тухай онолын судалгааны ажил Монгол хэл дээр хийгдсэн (Энхзул & Батмагнай, 2021) байдаг хэдий ч тухайн ажлууд нь онол ба инверсийн арга зүйн талаар түлхүү оруулсан байдаг нь MT-г сонирхогчдын хувьд сигнал боловсруулалт болоод загварчлал, түүний физик шинж чанарын талаарх мэдээллийг авч үзээгүй байсан. Харин энэ судалгааны ажлын хувьд ЛЕМИ багажаар өгөгдлийг бүртгэж авахаас эхлэн боловсруулалт хэрхэн хийх улмаар түүнийг загварчлах тухай өгүүлснээрээ авууштай болж байгаа юм.

Энэ ажлын хоёрдугаар хэсэгт цахилгаан соронзон орныг бүртгэх төхөөрөмжүүдийн шинж чанар тэдгээрийн ажиллах зарчмын талаар оруулсан бол гурав, дөрөвдүгээр хэсэгт MT холбогч функц, загварчлал, үр дүнг оруулж, харин сүүлийн хэсэгт өөрсдийн ажлаа дүгнэсэн байгаа.

үүсгэнэ. ЦС индукцийн үр дүнд үүсэх теллурикийн гүйдлийн цахилгаан орон ба хоёрдогч соронзон орон мөн түүнчлэн үүсгүүр орныг бүртгэн авах нь MT хэмжилтийн үндсэн зорилго юм. MT-ийн хэмжилтээр цахилгаан-соронзон орны байгуулагчдын хугацааны өөрчлөлтийг

Дэлхийн гадаргын дурын цэгт $E(t, r)$, $B(t, r)$, $r = r(x, y, z)$ бүртгэдэг бөгөөд соронзонметр ба электродуудаас бүрдэх цогц төхөөрөмжийг (МТ станц) ашиглан хугацааны ижил моментод бүртгэн авдаг. Бүрэн МТ хэмжилтээр соронзон орны хэвтээ ба босоо байгуулагч болон цахилгаан орны хэвтээ байгуулагчдыг бүртгэдэг (агаарын цахилгаан дамжуулах чадвар маш бага байдгаас тусгаарлагч орчин гэж үзэх тул цахилгаан орны босоо байгуулагчийг бүртгэн авах боломжгүй юм). Соронзон орны хэвтээ байгуулагчид нь үүсгүүр орныг бүртгэх бол цахилгаан орны хэвтээ ба соронзон орны босоо байгуулагч нь ЦС индукцийн улмаас үүсэх орнуудыг (Дэлхийн респонс) бүртгэнэ.

2.1 Соронзон орныг бүртгэх

МТ-д соронзон орны газарзүйн хойд, зүүн ба эгц доош чиглэсэн байгуулагчдыг бүртгэдэг. МТ тандалтын гүн нь хэмжсэн сигналын давтамжаас хамаарах тул өргөн сувгийн ба урт үетэй вектор соронзон-метрүүдийг хэмжилтэд ашиглана. Урт үетэй соронзон орны хэмжилтэд Флюксгайтийн соронзон-метрийг ашигладаг.

Энэ төхөөрөмж нь 10 с-ээс дээш үед харгалзах долгионыг бүртгэн авах чадамжтай. Флюксгайтын мэдрэгч нь хоёр хэлхээнээс бүрддэг нь нэгдүгээр хүрээний хувьд соронзон нэвчих чадвар ижил хоёр ороомгийг цуваа холбосон бол хоёрдугаар хүрээний хувьд эхний хэлхээний орчимд үүссэн соронзон орныг бүртгэдэг. МТ-д ашиглах соронзон орны өөрчлөлт нь тайван үедээ ~ 1 нТ байдаг. Энэ төрлийн соронзон-метр болох ЛЕМИ-25, ЛЕМИ-18 багажийг манай оронд МТТ соронзон судлалын оргилын байнгын хэмжилтэд мөн зөөврийн станцын чиглэлээр ашигладаг.

МТ-ийн судалгаанд өргөн ашигладаг үндсэн соронзон-метр бол индукцийн соронзон-метр юм. Энэ нь соронзон орны байгуулагч бүрийг бүртгэх ба n тооны төмөр цагираг агуулсан ~ 1.5 м урт бүхий

гурван мэдрэгчээс бүрддэг. Индукцийн мэдрэгчид нь 0.001 с – 10000 с урт үетэй сигналыг бүртгэн авдаг тул МТ-ийн даалгаврыг бүрэн хангаж чадна.

Мэдрэгчдийг газарзүйн хойд, зүүн, эгц доош чиглүүлэн суурилуулна.

Индукцийн цагирагийн ажиллах механизм нь Фарадын хуулиар тайлбарлагдана.

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.1)$$

Дээрх Фарадын хуулийн дифференциал хэлбэр нь (Тэгшитгэл (2.1)) соронзон орны индукцийн векторын (B) нэгж хугацааны өөрчлөлт нь хуйларсан цахилгаан орон үүсгэхийг илэрхийлнэ.

$$\oint_C E \cdot dl = -\frac{\partial}{\partial t} \oint_A B \cdot dA \quad (2.2)$$

Фарадын хуулийн интеграл хэлбэр нь (Тэгшитгэл (2.2)) төмөр утсан хүрээгээр гүйх цахилгаан орон нь тухайн битүү хүрээний талбайн хувьд соронзон орны хугацааны уламжлалаар илэрхийлэгдэх болохыг харуулж байна. Өөрөөр хэлбэл битүү дамжуулагчаар гүйх соронзон урсгал өөрчлөгдөхөд дамжуулагч дотор цахилгаан гүйдэл гүйх үзэгдэл бий болдгийг илэрхийлнэ. Фарадын хуулийн дээрх тайлбараар индукцийн мэдрэгчийн ажиллах зүй тогтлыг хялбар ойлгож болно. Мэдрэгчид нь индукцлэгдсэн аналог (сигналыг) хүчдэл) гарган авахын тулд өндөр соронзон нэвчих чадвартай n тооны төмөр ороомгоос бүрддэг. Ороомгийн тоо их байвал урсгалын тоог нэмэгдүүлэх төдийгүй өндөр давтамжийн сигнал гарган авах үндэс болно.

$$V - nA \frac{\partial B}{\partial t} = -nA\mu_0\mu_r \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.3)$$

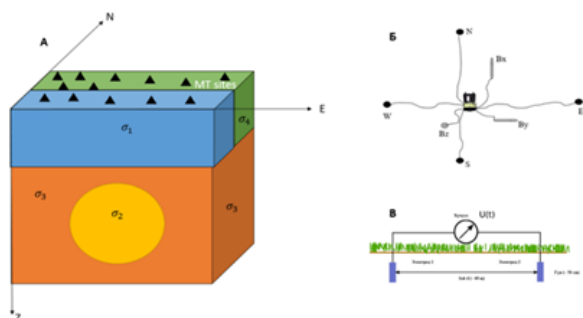
Тэгшитгэл (2.3) нь Фарадын хууль ёсоор индукцлэгдсэн хүчдэлийг илэрхийлэх ба

энд dH/dt нь давтамжаас хамааран өснө, n -ороомгийн тоо, A -ороомгоор хүрээлэгдсэн талбай, μ_r -материалын соронзон нэвчих чадвар байна.

2.2 Теллурикийн орныг бүртгэх

Теллурикийн цахилгаан орныг d зайд байрлах 2 электродуудын хоорондын потенциалын ялгавраар бүртгэн авдаг. Иймээс бид цахилгаан орны хугацааны өөрчлөлтийг дараах хэлбэрээр тодорхойлж болно.

$$E(t) = \frac{v(t)}{dt} \quad (2.4)$$



Зураг 2. 1. МТ хэмжилтийн схем (А), бүрэн МТ станцын суурилуулалт (Б) ба электродуудын хослол

МТ-д цахилгаан орны хэвтээ байгуулагчдыг (E_x , E_y) бүртгэх тул бид электродуудыг Хойд-Урд, Зүүн-Баруун гэсэн хослолоор суурилуулдаг (Зураг (2.1)). Теллурикийн хэмжилтэнд туйлширдаггүй электродуудыг хэрэглэдэг.

3. МТ ХОЛБОГЧ ФУНКЦ

МТ-ийн үндсэн өгөгдөл бол орны байгуулагчдын хоорондох хамаарлыг илтгэх холбогч функц (ХФ) юм. МТ арга нь геофизикийн байгалийн үүсгүүр бүхий арга тул ХФ-ийг шууд бус байдлаар буюу ажиглагдсан цахилгаан-соронзон орны хугацааны цуваанаас давтамжийн мужид тодорхойлдог. ХФ нь шугаман тэгшитгэлийн системийн хэлбэрээр бичигддэг. Шугаман системийн шийдийн хувьд алдаа нь Гауссын түгэлттэй гэж үзвэл хамгийн бага квадратын аргаар тооцоолдог. Харин МТ орны хэмжилтийн өгөгдөлд агуулагдах алдаа нь бүрэн Гауссын шинжтэй байдаггүй тул хамгийн бага квадратын аргыг шууд ашиглах нь тохиромжгүй. Робастын аргад суурилсан

2.3 ЛЕМИ-423 станц

Монгол оронд хэрэгжиж буй төсөл болох МТ аргаар Цэнхэрийн халуун рашааны тогтцыг тайлбарлах ажлын хүрээнд бид 2019 оноос эхлэн ЛЕМИ-423 багажийг ашиглах болсон.

ЛЕМИ-423 багаж нь Украин улсад үйлдвэрлэгдсэн бөгөөд соронзон орны хэвтээ ба босоо байгуулагчийг бүртгэх чадвар бүхий гурван индукцийн мэдрэгч, цахилгаан орны хугацааны өөрчлөлтийг бүртгэх 4 электрод болон эдгээрийг бүртгэгчтэй холбох интерфэйсүүд, GPS антен, газардуулга зэргээс бүрдэнэ. ЛЕМИ-423 станцын бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн нэг болох ЛЕМИ-120 индукцийн мэдрэгч нь 0.0001 – 1000 Гц-ийн өргөн сувагт ажиллах чадамжтай хэдий ч шумын түвшин багатай, оролтын оффсет хүчдэл ба гүйдэл нь температурын шилжилт бага байхаас гадна тогтвортой хувийн холбогч функцтэй юм. Харин ЛЕМИ-701 электрод нь урт хугацааны тогтвортой ажиллах нөхцөлийг хангах зорилгоор Cu-CuSO4 хослолоор боловсруулагдсан мэдрэгч юм. Цаашид ЛЕМИ станцаар монголд хийгдсэн судалгааны ажлуудыг голлон авч үзэх болно.

хугацааны цуваанаас ХФ үнэлэх аргыг Г.Эгбэрт 1986 онд боловсруулж стандарт боловсруулсан. Уг арга нь регрессийн тэгшитгэлд алдаагаар жинлэгдэх матрицыг авч үзэн тухайн алдааны утга хамгийн бага болох хүртэл давтах процессод тулгуурласан. Судлаачид МТ-ийн сигнал боловсруулах Робастын аргад суурилсан код хөгжүүлэн судалгаанд ашигласаар байна. Бид МТ сигнал боловсруулалтад Робастын алгоритмд суурилан хөгжүүлсэн мэдээлэл боловсруулалтын цогц кодыг ашигладаг (Батмагнай & Сүхбаатар, 2016), (Батмагнай Э., 2018).

Уг кодоод ашиглаж буй аргын талаар цааш дэлгэрүүлэн хэлэлцвэл: ХФ-ийг үнэлэх үндсэн гурван алхам болох

хугацааны цуваанаас цонх сонгох, фурье коэффициентийг үнэлэх, регрессийн тэгшитгэлийн шийдийг олох гэсэн алхмуудыг шийдвэрлэдэг. Бид хугацааны

цувааны цонхыг $S = LT$ ($T = 2\pi/\omega$) ба $L > 1$ байх нөхцөлд сонгож авдаг. L -ийн утга их байхад тодорхойгүй чанар багасах хэдий ч спектрийн алдагдал ихэсдэг тул $L=1$ байхаар авч үзсэн. Сонгон авсан хугацааны цувааны сегмент бүрийг Ханны цонхоор үржүүлсний дараагаар фурье хувиргалт хийн өгөгдлийг давтамжийн мужид хөрвүүлсэн. Сонгосон n ширхэг сегмент бүрт фурье тодорхойлсноор бид n ширхэг тэгшитгэлийн шийдийг олох бодлогод шилжинэ (Тэгшитгэл (3.1)).

$$\begin{bmatrix} Y_1(\omega) \\ Y_2(\omega) \\ \vdots \\ Y_n(\omega) \end{bmatrix} = \Theta(\omega) \begin{bmatrix} X_1(\omega) \\ X_2(\omega) \\ \vdots \\ X_n(\omega) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Энд $\Theta(\omega)$ ХФ нь $X(\omega), Y(\omega)$ -н хоорондын хамаарлыг илтгэнэ. Тэгшитгэл (3.1)-ийн шийдийг хамгийн бага квадратын арга ашиглан r алдааны хувьд дараах хэлбэрээр хайдаг.

$$\sum_i r_i^2 = \sum_i \|Y_i - \Theta X_i\|^2 = \min \quad (3.2)$$

Гэсэн хэдий ч хэмжилтийн өгөгдлийн алдаа нь зөвхөн Гауссын түгэлттэй бус тул өгөгдлийн алдааны $>50\%$ нь Гауссын түгэлттэй гэж үзэн Робастын аргыг ашигладаг (Egbert & Booker, 1986). Робастын арга нь Тэгшитгэл (3.2)-ийн хоёр талыг алдаа агуулсан диагональ матриц

$W_{ii} = \frac{1}{r_i}$ -аар үржүүлэн тэгшитгэлийг өргөтгөн бичдэг.

$$W_{ii} Y(\omega) = \Theta(\omega) X(\omega) W_{ii} \quad (3.3)$$

Тэгшитгэл (3.3) хэлбэрийн шийдийг давталтад аргаар тодорхойлдог. Математик статистикийн оновчлолын арга болох М-үнэлэгч аргыг энд ашигласан. Энэ арга нь экстремумын аль ч тохиолдлыг олоход ашиглагддаг классик арга юм.

ХФ-ийн итгэх интервал ба коггерент

чанарыг статистик анализын үндсэн хэмжигдэхүүнүүдээр хялбархан тодорхойлж болно. Үнэлсэн ба ажигласан сигналын гаралтын зөрүү болох вариаци нь

$$S_{Y|X}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|^2 \quad (3.4)$$

байх ба $\hat{Y}_i$ нь X_i оролтын сигналын хувьд гаралт нь байна. Харин ХФ-ийн стандарт алдаа нь

$$S_T = \frac{S_{Y|X}}{S_X \sqrt{n-1}} \quad (3.5)$$

байна. Энд оролтын вариациар тодорхойлогдох сигналын хазайлт

$$S_X = \sqrt{S_X^2} \quad \text{—н} \quad (3.6)$$

$S_X^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |X_i - \hat{X}_i|^2$) вариаци өндөр ба сегмент n -ийн тоо өндөр байхад алдаа бага байхыг харуулж байна. Шугаман тэгшитгэлийн системийн оролт ба гаралтын сигналын хоорондох хамаарлыг илтгэх хүчирхэг арга бол квадрат коггерент coh^2 юм.

$$coh^2 = \frac{|\sum_{i=1}^n X_i(\omega) * Y_i(\omega)|^2}{\sum_{i=1}^n |X_i(\omega)|^2 * \sum_{i=1}^n |Y_i(\omega)|^2} \quad (3.6)$$

Коггерент нь $[0 - 1]$ интервалд олдох ба 0 утгатай бол маш сул хамааралтай (хамааралгүй) байх ба 1 утгатай бол хүчтэй хамааралтай байна. Бага хамаарал нь шумын түвшин өндөр байх эсвэл үүсгүүр орны буруу математик загварчлалаас хамааран үүснэ.

3.1 Импеданс тензор

МТ тандалтын үндсэн ХФ бол комплекс утга бүхий давтамжаас хамаарсан импеданс тензор (ИТ (Z)) юм. ИТ нь хэвтээ цахилгаан ба соронзон орны хоорондох хамаарлыг илтгэх тул 2 дугаар эрэмбийн матриц хэлбэрээр бичигддэг. Уг матрицын үүсгүүр оронтой хамаарах хамаарал бүхий физик тайлбарыг Э.Батмагнай 2020 оны ажилд дурдсан байдаг. ИТ-ын хувьд хэвтээ соронзон орон $B_h (B_x, B_y)$ нь оролт ба хэвтээ цахилгаан орон $E_h (E_x, E_y)$ нь гаралт бөгөөд энэ тохиолдолд ХФ нь дэлхийн респонс байна. Тэгшитгэл (3.7) –г ИТ-ын хувьд

бичвэл,

$$\mathbf{B}_h(\omega, \mathbf{r}) = \mathbf{Z}(\omega, \mathbf{r}) \cdot \mathbf{E}_h(\omega, \mathbf{r})$$

ба

$$\begin{pmatrix} E_x(\omega, \mathbf{r}) \\ E_y(\omega, \mathbf{r}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{xx}(\omega, \mathbf{r}) & Z_{xy}(\omega, \mathbf{r}) \\ Z_{yx}(\omega, \mathbf{r}) & Z_{yy}(\omega, \mathbf{r}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x(\omega, \mathbf{r}) \\ B_y(\omega, \mathbf{r}) \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

болно. ИТ-ын хажуугийн диагоналийн элементүүд нь дэлхийн гүний цахилгаан дамжуулах чадварын өөрчлөлтөөс хамаарах бол үндсэн диагоналийн элементүүд нь хөндлөн чиглэлийн дагуух цахилгаан дамжуулах чадварын өөрчлөлтөд хамаардаг.

ИТ нь тензор хэмжигдэхүүн тул орны вектор ба скаляр хэмжигдэхүүнүүдээс гадна инвариант шинж чанаруудыг агуулж байдаг. Эдгээр инвариант чанаруудын нэг хэсэг болох төлөөллийн эсэргүүцэл ба импедансын фаз (Тэгшитгэл (3.8)) нь гео-цахилгаан тогтцын шинж чанарыг бидэнд өгдөг.

$$\rho_a = \frac{|Z_{ij}|^2}{\omega \mu}, \phi = \text{atan}^{-1} \left(\frac{\text{Im}(Z_{ij})}{\text{Re}(Z_{ij})} \right), \quad ij = xy \quad (3.8)$$

3.2 Типпер

МТ тандалтад өөр нэгэн ХФ авч үздэг нь Типпер юм. Типпер нь хэвтээ соронзон орон (оролт) ба босоо соронзон орны (гаралт) хоорондох хамаарлыг илтгэх вектор бөгөөд Дэлхийн 2-D ба 3-D шинж чанараас шалтгаалан цахилгаан гүйдлийн өөрчлөлтийн улмаас индукцлэгдэн үүсэх хоёрдогч соронзон орон болоод тухайн орчны гео-цахилгаан шинж чанарыг үзүүлнэ.

$$\begin{pmatrix} E_x(\omega, \mathbf{r}) \\ E_y(\omega, \mathbf{r}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_x \\ T_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x(\omega, \mathbf{r}) \\ B_y(\omega, \mathbf{r}) \end{pmatrix} \quad (3.9)$$

3.3 ЛЕМИ-423 станцын холбогч функцийг үнэлэх алгоритм

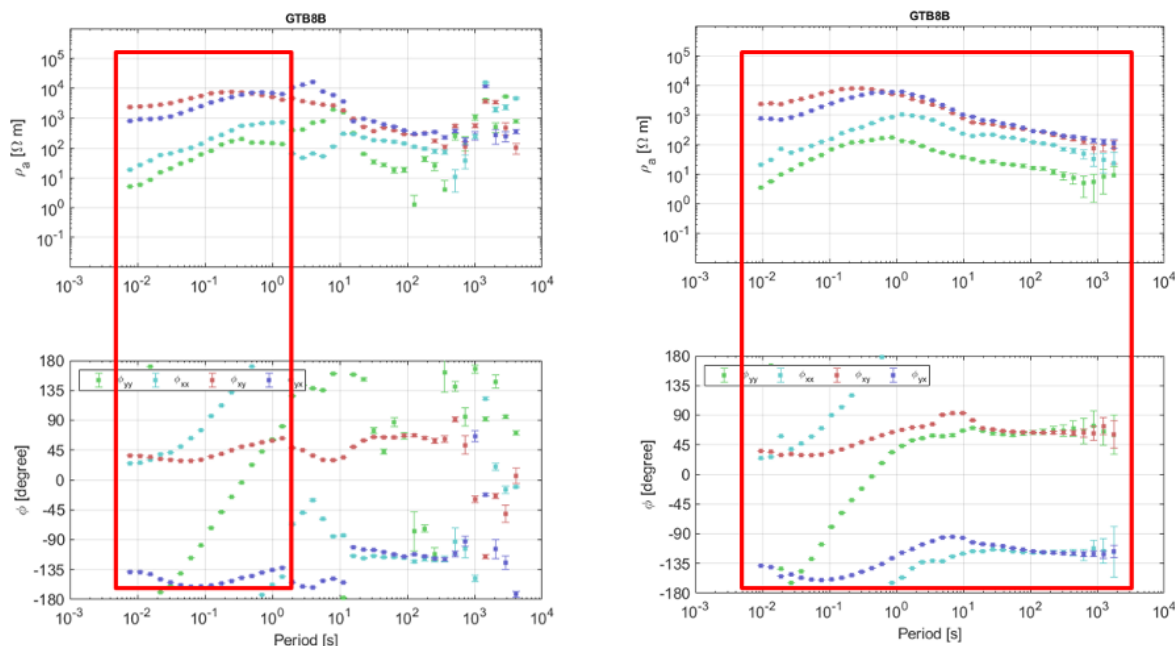
ЛЕМИ-423 бүрэн МТ орны өгөгдөл нь байтын файл байдаг бөгөөд энд GPS-ийн өгөгдөл 4 байт, сэмплийн утга 2 байт,

орны байгуулагч бүрийн утга 4 байтаар бичигддэг. Файл бүрийн эхэнд 1024 битийн толгой мөрүүд агуулагдаж байдаг. Энд суваг бүрийн фактор ба оффсет мөн газар зүйн мэдээллүүд агуулагдаж байдаг. Орны байгуулагч бүрийг уншихад дараах томъёог хэрэглэнэ:

$$N = N^* + \frac{\left(\frac{K}{F}\right)}{\text{gain}} \quad (3.10)$$

энд N нь орны байгуулагчид, K – оффсет, F – фактор, gain – өсгөлт байна. Леми багажийн зааварт тулгуурлан өгөгдөл унших анхдагч дөхөлтөөр бид орны байгуулагч бүрийн өсгөлтийн утгыг 8 байхаар авч үзэн сүүлийн 2 жилд мэдээлэл боловсруулалт хийн ХФ-ийг үнэлж байсан. Энэ дөхөлтөөр үнэлэхэд ХФ-ийн чанар нь 0.008 – 10 с хүртэл сайн (Зураг (3.2) зүүн) байсан ба тухайн өгөгдлийн цэгээс эхлэн урт үе бүхий сигналд өгөгдлийн чанар үсрэлттэй байсан. Геологи-геофизикийн дээд царцдасын даалгаврын хувьд тухайн сигналыг ашиглах нь тохиромжтой байсан хэдий ч царцдас мандал, цаваг мандлын дээд давхаргын судалгаанд уг өгөгдлийг ашиглах боломжгүй байсан нь ЛЕМИ станцын өгөгдлийн шинж чанарын судалгааг дахин хийх шаардлагад хүргэсэн. Бид практикийн олон удаагийн параллель хэмжилт ба онолын судалгааг үндэслэн соронзон ба цахилгаан орны өгөгдлүүдийн өсгөлт ба мэдрэх чадварын тогтмол коэффициентуудын сонголт дээр алдаа байгааг тодорхойлж чадсан. Үүний үр дүнд соронзон мэдрэгчдийн өсгөлт нь 16, мэдрэх чадварын тогтмол нь 100, цахилгаан мэдрэгч бүрийн өсгөлт 1 болохыг тодорхойлсон.

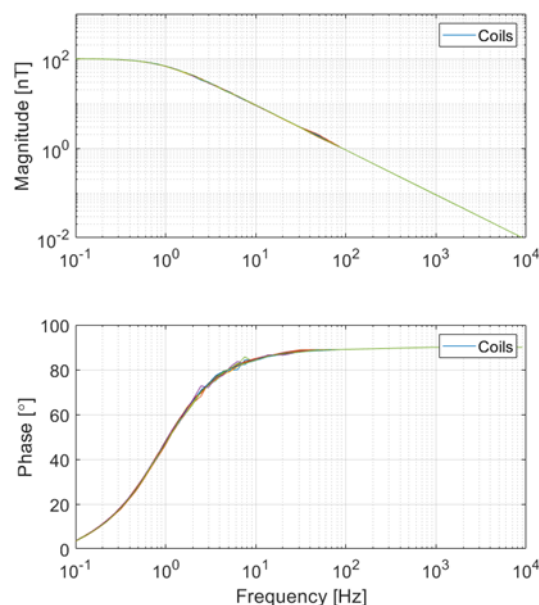
Индукцийн мэдрэгч бүр нь тодорхой давтамжаас хамаарсан өөрийн хувийн утгуудтай байдаг. Бид фурье хувиргалт хийсний дараагаар соронзон мэдрэгч бүрд тохируулга хийх шаардлагатай (Зураг 3.1). Давтамжийн мужид индукцийн мэдрэгчийн тохируулгыг тэгшитгэлээр хийх ба эцсийн үр дүнд Тэгшитгэл (3.11)-ийн шийдээр ХФ-ийг үнэлсэн.



Зураг 3.2. Төлөөллийн эсэргүүцэл ба импеданс фазын муруй: зүүн талд хуучин алгоритм, баруун талд шинэ алгоритмыг ашигласан үр дүн.

ЛЕМИ-423 станцын бүрэлдэхүүн хэсэг болох индукцийн мэдрэгч бүр 0.001 – 10000 с хүртэлх өргөн суваг дээр ажиллах чадамжтай бөгөөд Зураг (3.2)-т бидний ашиглаж буй мэдрэгчүүдийн хувийн респонсийн муруйг үзүүлсэн. Тохируулга хийсний дараагаар ХФ-ийг Тэгшитгэл (3.3) -ийн шийдийг ашиглан тодорхойлдог. ХФ-ийг тодорхойлох явцад зонхилох давтамжийг сонгохын тулд бид 10-таар бууруулах арга ашиглаж төвийн давтамжуудыг сонгодог. Эцсийн үр дүнд цөөхөн хэдэн давтамжаас (үеээс) хамаарсан өгөгдлийн цэг дээр ХФ тодорхойлогддог. Зураг (3.2)-т ЛЕМИ-423 станцын ХФ-ийг өмнө болоод одоо хэрэглэж байгаа боловсруулалтын кодуудыг ашиглан тодорхойлсон үр дүнг үзүүлсэн.

Үр дүнгээс үзэхэд хуучин мэдээлэл боловсруулалтын алгоритм нь 5 с хүртэлх сигналыг сайтар тодорхойлж байсан нь өндөр давтамж дээр ажиглагдах сигналын тоо их байдагтай холбон ойлгож болно. Учир нь ажиглагдах үзэгдлийн тоо хэдий чинээ их байна сигналын чанар сайн байдаг. Харин эсрэгээр урт үетэй сигналын тоо бага тохиолдох тул сигналын чанар нь статистик анализын хэрэглээ болон



Зураг 3. 1. Бидний ашиглаж байгаа соронзон мэдрэгчдийн тохируулгын муруй

өсгөлтийн түвшингээс их хамаарч байгааг илтгэнэ. Бид хуучин алгоритмд өсгөлтийг 8 гэж авч үзэж байсан нь урт үе дээр ажиглагдах сул сигнал шумын түвшингээс ялгагдахгүй байх мөн тохиолдлын тоог цөөлж байсан сул талтай юм. Харин шинэ алгоритмд дээр дурьдсан алдаануудад бүрэн засвар оруулснаар бид МТ тандалтын сигналыг алдагдалгүй бүртгэн авч Дэлхийн гүний цахилгаан дамжуулах

чадварыг тодорхойлох боломжтой болсон.

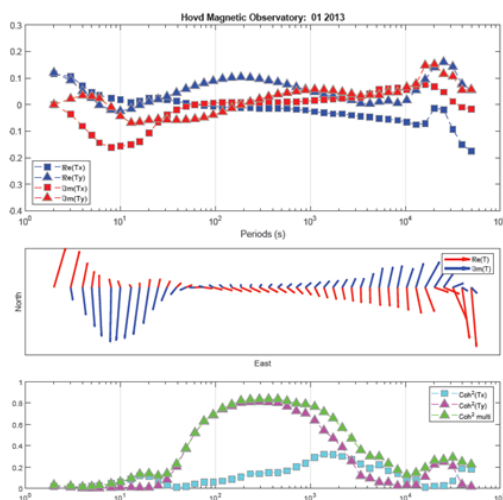
ЛЕМИ-423 станц дээр хийсэн энэ судалгааны ажил нь цаашид уг багажийг МТ тандалтын бүрэн сигналын хувьд ашиглах боломж олгосон.

3.4 Типперийн шинж чанар

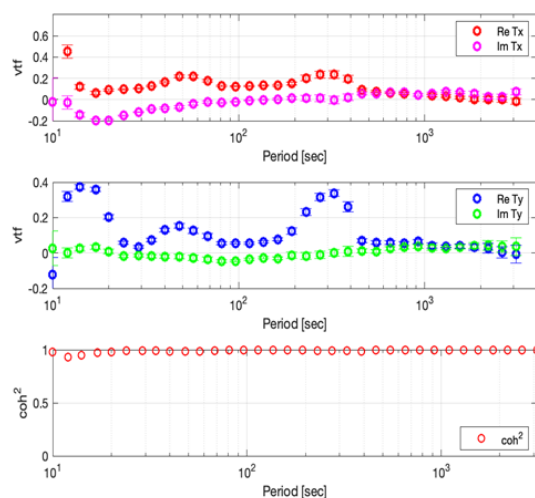
Монгол орны хувьд байнгын соронзон хэмжилт хийдэг 2 соронзон оргилууд нь Ховд аймгийн төв ба Улаанбаатар хот орчимд байрладаг. Эдгээр оргилуудад соронзон орны хугацааны өөрчлөлтийг флюксгайтийн соронзон мэдрэгч ашиглан бүртгэдэг. Флюксгайтийн соронзон мэдрэгч нь 10 с-10000 с хүртэлх урттай МТ сигналыг бүртгэх боломжтой. Соронзон орны вектор хэмжилт нь бидэнд Типперийг бодох боломжийг олгодог. Соронзон орны хэвтээ ба босоо байгуулагчдын хоорондох хамаарлыг илэрхийлэх энэхүү типперээр 3-D орчны хувьд цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг тодорхойлдог. Гэхдээ энд соронзон типперийн далайцын утга 0.5-аас их байх нөхцөлд 1-D орчныг загварчлах боломжтой.

Зураг (3.3) –т Ховд соронзон оргилын 2013 оны 1 дүгээр сарын секундын утгаар бодсон типперийг үзүүлсэн. Коггерент шинж чанараас тооцоолсон типперийн утга нь 100 с – 10000 с үе дээр сайн тодорхойлогдсон байна. Типперийн далайц нь харьцангуй бага хэдий ч дамжуулагчийн

үзүүлж буй нөлөө 100 с -1000 с орчимд ажиглагдаж байгаа нь голын хөндийтэй хамаарах магадлалтай юм. Индукцийн сумаас харахад дамжуулагчийн байрлал нь хэмжилтийн цэгээс зүүн хойд зүгт байрлаж буйг илэрхийлнэ. Типперийн бодит байгуулагчид нь 100 с-1000 с-ийн интервалд өөрчлөгдөж байгаа энэ өөрчлөлт нь тухайн бүс нутаг супер комплекс тогтоцтой 3-D орчин болохыг илэрхийлэх ба ямар нэгэн давамгайлсан гүйдлийн үүсгүүр ажиглагдахгүй байгаа нь цаашид 1-D инверс хийхэд үүсгүүрийн механизмыг тайлбарлахад хүндрэлтэй байх тул боломжгүй юм. Харин Зураг (3.4)–т Улаанбаатар хотын ойролцоо байрлах МТТ соронзон оргилын секундын өгөгдлийн типперийн муруйг үзүүлсэн. Сонирхолтой үр дүн үзүүлсэн нь тодорхойлсон өгөгдлийн цэг бүр дээрх итгэх чадварын үзүүлэлт болох коггерент хамаарал нь маш хүчтэй байгаа явдал юм. Коггерент нь оролтын сигнал буюу үүсгүүрийн тухай тодорхойлолтоос хүчтэй хамаардаг тул УБ хот орчимд ажиллаж буй соронзон оргилын станцын мэдрэх чадвар өндөр байгааг илэрхийлж болох хэдий ч боловсруулалтын алгоритмыг дахин шалгаж үзэх шаардлагатайг мөн харуулж байна. Учир нь коггерент чанар [0-1] хооронд тодорхойлогдох ёстой бөгөөд орчны шумаас хамааран 0.8–аас дээш гарах тохиолдол тун ховор байдаг.



Зураг 3.3. Ховд соронзон оргилын типпер ба индукцийн сум



Зураг 3.4. МТТ соронзон оргилын типпер

Эсвэл багажны тохируулгын алдааг хянах шаардлагатай юм. Иймээс энэ судалгааны ажлаас бий болох цаашдын алхам бол УБ станцын мэдээллийг нэгтгэн боловсруулж эцсийн дүгнэлтэд хүрэх явдал юм. Типперээр Дэлхийн гүний тогтцын цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг тодорхойлохын тулд бид 3-D хэмжилтийн талбай зохион байгуулах шаардлагатай юм.

4. 1D MT ЗАГВАРЧЛАЛ БА ҮР ДҮН

Тэгшитгэл (3.8)–д үзүүлсэн импеданс тензорын элементүүд нь тухайн хэмжилт хийсэн орчны хэмжээсийн талаарх мэдээллийг мөн өгч чаддаг (Simpson & Bahr, 2005). MT загварчлал хийхэд тулгардаг хүндрэлүүдийн нэг бол гальваник ба индуктив дисторшны асуудал юм. Бид 1-D, 2-D, 3-D орчныг загварчлахад дисторшн үүсгэж буй биетүүдийн нөлөөг засварлаж өгөх шаардлагатай.

4.1 1-D MT загварыг бага гүний судалгаанд хэрэглэх нь

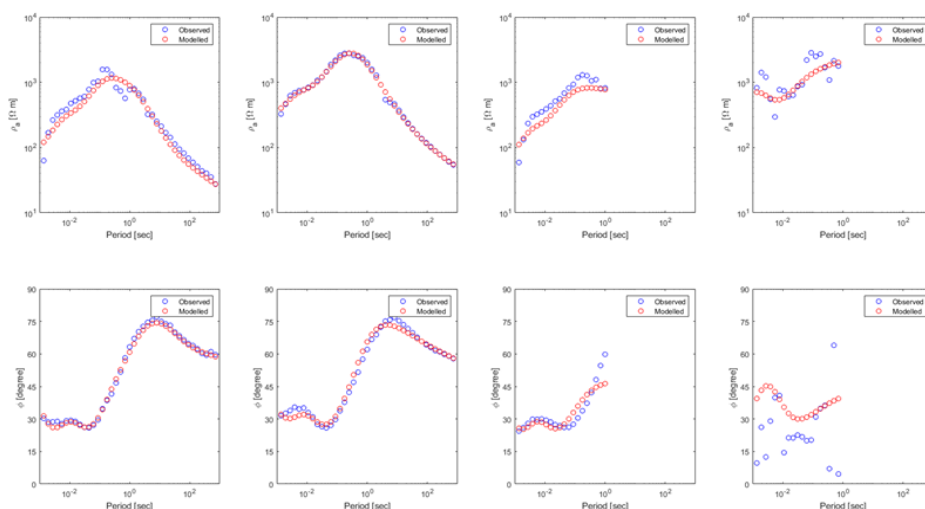
Импеданс тензорыг илэрхийлэх Тэгшитгэл (3.8)–ийн хажуугийн диагоналийн элементүүд $Z_{xy} = -Z_{yx}$ нөхцөлийг хангаж байх орчинг цахилгаан дамжуулах чадварын хувьд нэг хэмжээст (Батмагнай Э., 2020) гэж авч үздэг. Энд цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлт зөвхөн z чиглэлийн дагуу өөрчлөгдөх бөгөөд шууд бодлогын шийд нь (Батмагнай Э., 2020) тухайн уламжлалт тэгшитгэлийн аналитик шийдэд тулгуурладаг. Бид эцсийн үр дүнд скаляр импедансыг тодорхойлдог. Төлөөллийн эсэргүүцлийн далайц 1-D MT загварчлалын хувьд тухайн хэмжилтийн цэгийн гальваник дисторшны улмаас ихээр өөрчлөгддөг уг үзэгдлийг статик-шилжилт гэж нэрлэнэ.

Статик шилжилт нь хэмжилтийн цэгт ойрхон орших 3-D биет эсвэл газрын гадаргын өндөршилтэй холбогдох цахилгаан цэнэгийн жигд бус хуримтлалтай холбоотой бөгөөд үүнийг засварлах ямар нэгэн физик арга зүй байдаггүй. Гэсэн хэдий ч Z_{ssq} импедансыг

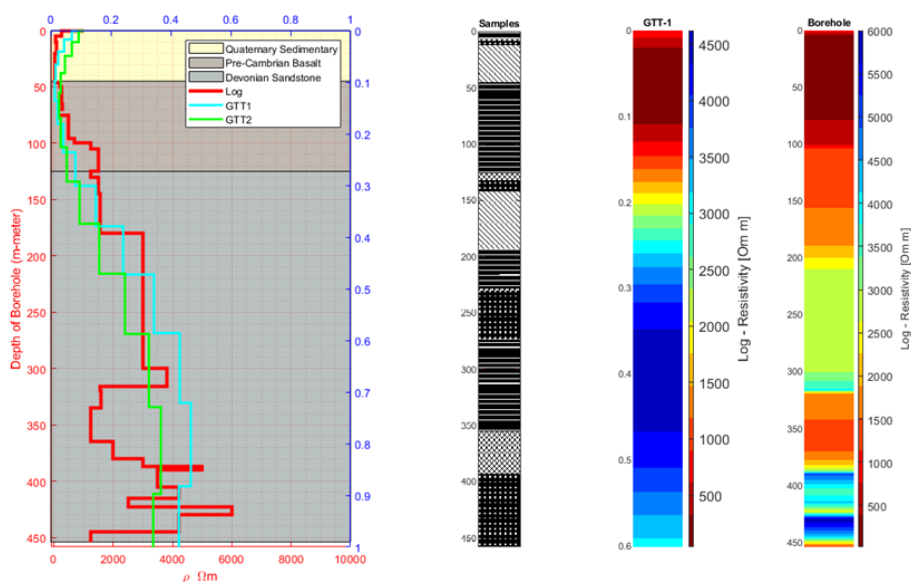
Ховд ба МТТ соронзон оргилуудын типпер нь хүчтэй бус хамааралтай байх мөн ямар нэгэн давамгайлсан гүйдлийн үүсгүүр оршихгүй байгаа нь MT 1-D нөхцөлд загварчлал хийх боломжгүйг харуулж байна. Гэсэн хэдий ч типпер нь орчны гео-цахилгаан тогтцыг хянах сайн индикатор юм.

үнэлж статик-шилжилтийн хэмжээг тодорхойлж болно. Энэ Z_{ssq} дөхөлт (Rung-Arunwan, Siripunvaraporn, & Utada, 2016) нь импеданс тензорын элементүүдийн квадрат нийлбэрийг 2 дахин багасгасан утга юм.

1-D инверсийн бодлогоор Дэлхийн цахилгаан дамжуулах чадварын түгэлтийг загварчлахдаа ихэвчлэн Z_{ssq} импедансыг ашигладаг. Архангай аймгийн Цэцэрлэг хотоос Цэнхэрийн халуун рашаан хүртэл туршилтын 4 цэгт хийсэн MT 1-D инверсийн загварын өгөгдөл ба ажиглагдсан өгөгдлүүдийн муруйг Зураг (4.1)–т үзүүлсэн. 1-D инверс хийхэд Z_{ssq} импедансыг ашигласнаар инверсийн алгоритм зөв ажиллаж гальваник дисторшны нөлөөллөөс бүрэн зайлсхийж чадаж байсан тул бид энэ импедансыг түлхүү ашигладаг. MT холбогч функцэд инверс хийж 1-D цахилгаан дамжуулах чадварын загварыг тодорхойлсон ба загварыг тухайн орчинд хийсэн цооногийн цахилгаан эсэргүүцлийн үр дүнтэй харьцуулсан үр дүнг Зураг (4.2)–т (эхний 1 ба 2 дахь зураг) үзүүлсэн (Batmagnaï, 2019). Цооногийн хэмжилтийн нийт гүн нь 450 м байсан бөгөөд бидний MT загвараар гарган авсан хэмжилтийн утгатай таарц сайн байгаа нь MT загварыг бага гүний судалгаанд ашиглах бүрэн боломжтой болохыг илэрхийлж байна. Тухайн жишээ нь бидний хөгжүүлж хэрэглээнд нэвтрүүлж байгаа 1-D инверсийн кодоод баталгаа өгч байгаа бөгөөд цооногийн цахилгаан эсэргүүцлийн хэмжилттэй харьцуулсан нь илүү найдвартай болж байна.



Зураг 4.1. 1-D MT инверсийн эцсийн загвар ба ажигласан өгөгдлийн муруй

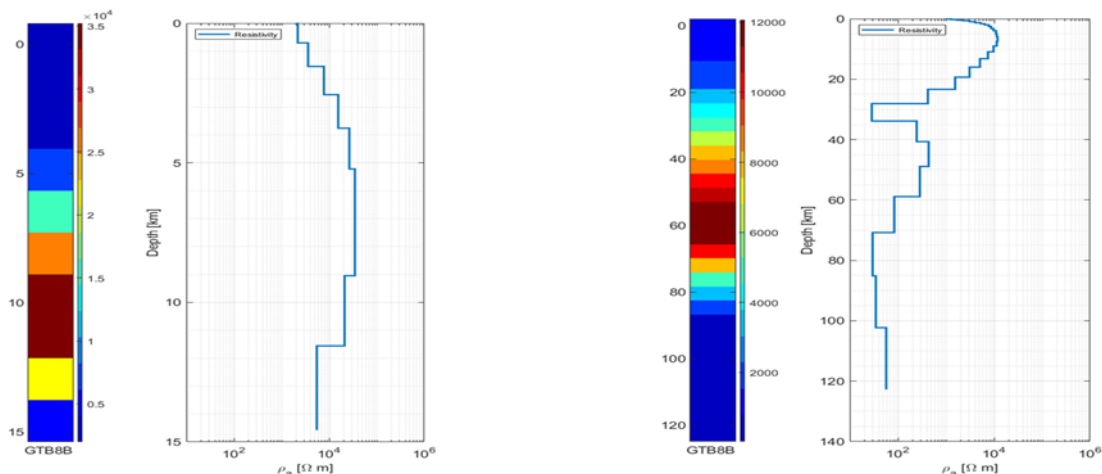


Зураг 4.2. 1-D MT инверсийн загвар ба цооногийн цахилгаан эсэргүүцлийн утгуудын харьцуулалт

4.2 1-D MT загварыг царцдас мандлын судалгаанд хэрэглэх нь

ЛЕМИ-423 багажийг судалгаанд нэвтрүүлснээс хойш бидэнд тулгарч байсан томоохон бэрхшээлүүдийн нэг бол урт үетэй сигнал бүртгэн авч чадахгүй байсан явдал юм. Бид мэдээлэл боловсруулалтын кодын шинэчлэл болон багажны судалгаагаар сигналыг хамгийн багадаа 1000 с хүртэл бүртгэн авах боломжтой болсон. Энэ нь Урьд-Кэмбрийн кратоник блокт суурилсан ерөнхий структуртай манай орны хувьд хамгийн багадаа 70 км хүртэлх гүнийг тандах боломжтойг илтгэнэ.

Өмнө нь ашиглаж байсан боловсруулалтын код ба энэ ажилд дурдсан шинэ кодуудыг ашиглан ЛЕМИ-423 станцын өгөгдлийг MT инверсээр загварчилсан утгуудыг Зураг (4.3)-т үзүүлсэн. Бид эндээс Хангайн нуруу орчим хийсэн MT судалгаагаар сигналын урт нь ~1000 с хүрсэн бол MT өгөгдлийн тандах гүн нь 100< км болохыг ажиглаж болно. Сигналын урт 1000 с хүрэх утгыг авах нийт хэмжилтийн урт нь хамгийн багадаа 1-3 өдөр байх бөгөөд тухайн хэмжилтийн өгөгдлөөр бид царцдас мандал цаваг мандлын дээд давхаргыг тандах боломжтой юм.



Зураг 4.3. Зураг (4.2) –т үзүүлсэн муруйн 1-D инверсийн загварууд

ДҮГНЭЛТ

Энэхүү өгүүлэлд Монгол оронд ашиглаж буй ЛЕМИ-423 станцаар өгөгдөл бүртгэн авахаас эхлэн эцсийн загвар гарган авах хүртэлх алхмуудын талаарх мэдээллийг судалгааны ажлын үр дүнгүүдтэй нэгтгэн авч үзсэн. Багажийн ажиллагаа болон түүний бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн тухай судалгаа хийснээр мэдрэгчийн тохируулгын тогтмолуудыг онолын хувьд үнэлэх боломжтой болсон нь уг ажлын нэг давуу тал хэдий ч цаашид соронзон мэдрэгчийн багажуудын хувьд анхаарах ёстой судалгааны нэг хэсэг мөн болохыг баталж чадсан. Уг ажил нь 2016-2018 онуудад МТТ соронзон оргил дээр ажиллаж байсан ЛЕМИ-20 мэдрэгчийн хувьд онолын хүрээнд тохируулгыг хийх боломжтой юу гэх мэт техникийн судалгааны ажлын эхлэл болж чадсан. Бид МТ-ийн анхдагч өгөгдлөөс холбогч функцийг бүрэн үнэлэх программ хангамжийг ЛЕМИ-423 станцын хувьд хөгжүүлж дууссан нь илүү урт үетэй сигнал үнэлэх боломж бүрдсэн. Уг төрлийн

судалгааны ажил нь ЛЕМИ станц нь ашиглахад хялбар, хямд мөн овор хэмжээ бага, цаашид судалгаанд бүрэн ашиглах боломжтойг харуулж чадсан гэж дүгнэж байна. МТ загварчлал нь Максвеллийн тэгшитгэлийн бүрэн гаргалгаан дээр тулгуурлах тул геофизикийн аргуудын дундаас харьцангуй төвөгтэй процесс юм. Гэсэн хэдий ч бид 1-D нөхцөлд МТ инверсийн бодлогыг бүрэн боловсруулж судалгаанд нэвтрүүлсэн төдийгүй ЛЕМИ-423 станцын урт үетэй сигналд загварчлал хийж МТ аргаар тандах Дэлхийн гүний утгыг Монгол орны нөхцөлд үзүүлсэн.

Бид МТ судалгааны ажлын хүрээнд хийгдсэн энэхүү ажлын эцсийн үр дүнд 1-D, 2-D МТ аргаар өнгөн хөрснөөс Дэлхийн гүний судалгааг бүрэн хийх боломжтой болсон гэж дүгнэж байгаа бөгөөд цаашдын судалгаанууд илүү өндөр тооцооллын (компьютер) хүрээнд хийгдэх ба Дэлхийн гадаад, дотоод давхаргуудад явагдаж буй физик механизмыг ойлгох сэдвийн хүрээнд хийгдэх болно.

НОМ ЗҮЙ

- Tikhonov, A. (1950). On determining electrical characteristics of the deep layers of the Earth's. *Doklady*, 295-297.
- Cagniard, L. (1953). Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. *Geophysics*, 18, 605-635.
- Батмагнай, Э., & Сүхбаатар, Ү. (2016).

Цахилгаан соронзон тандлын сигнал боловсруулалт арга. *Хүрэл-тогоот эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхэтгэл*.

- Батмагнай Э. (2018). Магнетотеллурикийн аргын өгөгдөл боловсруулалт. *Master's thesis*.

- Egbert, G. D., & Booker, J. R. (1986). Robust estimation of geomagnetic transfer functions. *Geophysical Journal International*, 87(1), 173-194.
- Simpson, F., & Bahr, K. (2005). *Practical magnetotellurics*. Cambridge University Press.
- Батмагнай Э. (2020). Магнетотеллурикийн тензорууд ба тэдгээрийн физик тайлбар: I хэсэг 1-D загвар. *Геофизик ба Одон Орон судлал*, 7, 38-47.
- Rung-Arunwan, T., Siripunvaraporn, W., & Utada, H. (2016). On the Berdichevsky average. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 253, 1-4.
- Batmagnai, E. (2019). Integrated geoscientific exploration for geothermal energy utilization in the Mongolian Hangai. Switzerland.
- Wait, J. R. (1954). Mutual coupling of loops lying on the ground. *Geophysics*, 19, 290-296.
- Constable, S. C. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300.
- More, J. J. (1978). *The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory*. Springer.
- Berdichevsky, M. N., & Dmitriev, V. I. (2008). *Models and methods of magnetotellurics*. Springer Science & Business Media.
- Chen, M., Niu, F., Liu, Q., & Tromp, J. (2015). Mantle-driven uplift of Hangai Dome: New seismic constraints from adjoint tomography. *Geophysical Research Letters*, 42, 6967-6974.
- Constable, S. C., & Parker. (1987). Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. *Geophysics*, 52, 289-300.
- Grandis, H., & Maulana, Y. (2017). Earth and Environmental Science. *Earth and Environmental Science*. 62, хууд. 012033. IOP Publishing.
- Guo, R., Liu, L., & Liu, J. a. (2019). Effect of data error correlations on trans-dimensional MT Bayesian inversions. *Earth, Planets and Space*, 71, 1-13.
- Kaufl, J. S., Grayver, A. V., & Comeau, M. J. (2020). Magnetotelluric multiscale 3-D inversion reveals crustal and upper mantle structure beneath the Hangai and Gobi-Altai region in Mongolia. *Geophysical Journal International*, 221, 1002-1028.
- Loke, M. H., & Dahlin, T. (2002). A comparison of the Gauss--Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of applied geophysics*, 49, 149-162.
- Mandolesi, E., Ogaya, X., Campanya, J., & Agostinetti, N. P. (2018). A reversible-jump Markov chain Monte Carlo algorithm for 1D inversion of magnetotelluric data. *Computers & Geosciences*, 113, 94-105.
- Rodi, W., & Mackie, R. L. (2001). Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion. *Geophysics*, 66, 174-187.
- Zorin, Y. A., Mordvinova, V. V., Turutanov, E. K., Belichenko, B., & Artemyev, A. a. (2002). Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication. *Tectonophysics*, 359, 307-327.
- deGroot-Hedlin, C., & Constable, S. (1990). Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55, 1613-1624.

MT SIGNAL PROCESSING AND MODELLING: IMPLEMENTATION FOR LEMI-423 MT STATIONS

Abstract. In this paper, we report details more about data processing and modelling of the magnetotelluric magnetic observatory stations, which are so-called LEMI. Since 2019, the Institute of Astronomy and Geophysics use LEMI type of MT stations for the study. LEMI's data was not enough to probe for the lower crust structure due to processing bug. As a result sensitivity analysis of sensors, we modified the processing code, then obtained a long-period signal to investigate the whole-crust's structure.

Key Words: *Magnetotelluric, LEMI-423, transfer function*

МОНГОЛ ГАЗРЫН ТОС БОЛОВСРУУЛАХ ҮЙЛДВЭРИЙН ТҮҮХИЙ ЭДИЙН ХАНГАМЖИЙН АСУУДАЛД

Д.Цэдэнбалжир

Монголын геофизикчдийн холбоо (ТББ)

Хураангуй. Энэхүү өгүүлэлд Монгол улсад барьж буй Газрын тос боловсруулах үйлдвэр (ГТБҮ)-ийн үндсэн түүхий эд болох газрын тосны геологийн судалгааны ажил, хайгуулаар бэлтгэгдсэн нөөц, ашиглалтад байгаа гурван ордын олборлолтын хүч чадал болон ГТБҮ ашиглалтад орох, улмаар төслийн хүч чадлаар ажиллахад дотоодоос олборлох түүхий тосоор хангах асуудлыг хөндөж зарим санал дэвшүүлсэн болно.

Түлхүүр үгс: Газрын тос, нөөц, нөөцийн тооцоолол, олборлолт, хангамж

УДИРТГАЛ

Монгол улсын үндэсний аюулгүй байдлын зөвлөлөөс 2014 онд “Стратегийн чухал ач холбогдол бүхий газрын тос боловсруулах үйлдвэрийг дотоодын түүхий эдийг түшиглэн байгуулах” гэсэн 14/06 дугаартай зөвлөмж гаргасан. Монгол улсын их хурлын 2020 оны 52 дугаар тогтоолоор баталсан “Алсын хараа-2050” Монгол Улсын урт хугацааны хөгжлийн бодлого-ын 4.2.16.-д “Газрын тос боловсруулах үйлдвэр, түүний дэд бүтцийн сүлжээ, нефть-химийн үйлдвэр барьж байгуулах” зорилтыг эдийн засгийн тэргүүлэх чиглэл болгосон. Энэхүү зөвлөмж, чиглэлийг хэрэгжүүлэх үүднээс Монгол улсын засгийн газар, салбарын яамдаас удаа дараагийн шийдвэрүүд гарч хөрөнгө босгосон ба газрын тос боловсруулах үйлдвэр барьж байгуулах бүтээн байгуулалтын ажил ид өрнөж байгаа билээ.

Манай орон 1990-ээд оноос газрын тосны хайгуулын ажлыг дахин сэргээж

өргөн хүрээтэй хийж эхэлсэн боловч үйлдвэр барих хэмжээний тосны нөөцийг 20 гаруй жилийн дараа л илрүүлж, тооцоолж, үнэлгээ хийсэн байдаг.

“Газрын тос боловсруулах үйлдвэр” (ГТБҮ)-ийг үндсэндээ Дорнод аймгийн Матад, Халх гол сумдын нутагт орших Тосон уул, Тамсагийн ордоос олборлох түүхий тосоор хангахаар “Газрын тос боловсруулах үйлдвэр болон дамжуулах хоолой барих төслийн нарийвчилсан техник, эдийн засгийн үндэслэл” (ТЭЗҮ)-д тусгасан. Эдгээр ордоос олборлох түүхий тосыг дамжуулах хоолойгоор тээвэрлэж үйлдвэрт хүргэх юм. 2011-2012 онуудад Монгол Улсын эрдэс баялгийн санд бүртгэж авсан дээрх ордуудын ашиглалтын баталгаат зэрэглэлээр тооцоолсон нөөц, орд ашиглах үйл ажиллагааны 2020-2036 оны төлөвлөгөөг үндэслэн олборлох тосны хэмжээ жилийн 1,5 сая тонн байхаар дээрх ТЭЗҮ-д тооцоолжээ.

МОНГОЛ УЛСАД АШИГЛАЖ БАЙГАА ГУРВАН ОРДЫН НӨӨЦ

Монгол улс 2024 он гэхэд 9 орчим сая тонн газрын тос олборлож экспортлоно гэж тооцвол ашиглалтын баталгаат зэрэглэлээр тооцоолсон нөөцийг бүрэн ашигласан тохиолдолд ГТБҮ-ийг 22 жил түүхий эдээр хангахаар байгаа юм (Хүснэгт №1). Ер нь дэлхийн ямар ч улс оронд байгалийн нөхөн

сэргээгдэшгүй баялгийг аль болох бүрэн гүйцэд ашиглах хууль, зарчим үйлчилдэг бөгөөд манай улс ч ийм шаардлага тавих ёстой. Өнөөгийн байдлаар газрын тос боловсруулах үйлдвэрийн үндсэн түүхий эд болох газрын тосны олборлолтын үйл ажиллагааг гадаадын гэрээлэгч компаниуд

гүйцэтгэж байгаа бөгөөд дэлхийн зах зээл дээрх түүхий тосны үнийн хэлбэлзэл, орон нутгийн удирдлага, иргэд, иргэний байгууллагын эсэргүүцэл, цахилгаан эрчим хүчний хангамж зэргээс хамаарч түүхий тосны олборлолтын хэмжээ буурах, улмаар тасалдах эрсдэлтэй байгаа юм. Тосон уул, Тамсагийн ордуудын Гэрээлэгч Петрочайна Дачин Тамсаг ХХК-ийн урьдчилсан байдлаар боловсруулж Ашигт малтмал, газрын тосны газарт ирүүлсэн зарим мэдээллээс үзэхэд “Тосон уул, Тамсагийн газрын тосны ордыг ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөө” (ОАҮАТ)-нд дээрх хоёр ордын түүхий тосны олборлолт 2020 он гэхэд 787,6 мянган тонн байх ба цаашид жил бүр буурч, ГТБҮ ашиглалтад орох 2024 онд 634,5 мянган тонн байхаар тооцоолжээ. Өмнөх жилүүдэд ч Монгол

улсын газрын тосны олборлолт нэг сая тонн-д хүрээгүй. (2018 онд-6,389,207, 2019 онд-6,878,055 баррель) Үүнээс үзвэл ГТБҮ-ийн түүхий эдийн хэрэгцээний тавь хүрэхгүй хувийг эндээс хангахаар байна. Дэлхийн зах зээл дээрх газрын тосны үнийн хэлбэлзэл асуудлыг улам хүндрүүлж байна. 2012 онд боловсруулсан ОАҮАТ-нд эдгээр ордуудаас олборлох түүхий тосны үнийг нэг баррель нь 80-100 америк доллар байхаар тооцоолсон байтал 2015-2020 онуудад тосны үнэ 23,07-62,79 ам доллар (2020 оны 4 сард 19,3 хүрч унасан) болсон нь цаашид үнэ өсөх хүртэл дээрх ордуудыг ашиглах нь эдийн засгийн ашиггүй нөхцөл үүсэж болзошгүй байгаа юм. Үүнд дэлхий нийтийг хамарсан Ковид 19 цар тахлын аюул ч ноцтой нөлөөлсөн ба цаашид ч нөлөө үзүүлэх хандлагатай байна.

Хүснэгт №1

Газрын тосны орд	Газрын тосны нөөц /сая тонн/					
	Баталгаат	Ашиглалтын баталгаат	Магадтай	Ашиглалтын магадтай	Боломжит	Ашиглалтын боломжит
Тосон-Уул	179.08	20.17	16.81	-	-	-
Тамсаг	127.509	21.018	10.261	3.145	7.844	1.62
Цагаан-Элс	26.056	2.079	-	-	25.58	-
Нийт	332.645	43.267	27.071	3.145	33.424	1.62

2020 оны байдлаар гурван ордоос хоногт 11-12 мянган баррель тос олборлож байгаа нь хангалтгүй бөгөөд гэрээлэгч Петро чайна дачин тамсаг ХХК-ийн зүгээс хэрэгжүүлж байгаа гэх олборлолтыг өмнөх жилүүдийн түвшинд хадгалах, улмаар нэмэгдүүлэх технологийн арга хэмжээ нь үр дүнд хүрсэнгүй (Зураг 1). Тосон уулын ордын ашиглалт нь туршилтын олборлолтын хугацааг тооцвол 20 гаруй жил болж байна (Зураг 2). Энд үзүүлсэн схемээс үзвэл Тосон уулын ордын ашиглалтын хугацаа төгсөх шатандаа аль хэдийн оржээ. Олборлолтын цооногуудад давхаргын даралт буурч, үүнээс үүдэн тос өгөлтийн хэмжээ багасгах нь зүй ёсны процесс гэхээс аргагүй. Сүүлийн жилүүдэд Тосон уул, Тамсагийн ордуудад тос өгөлт,

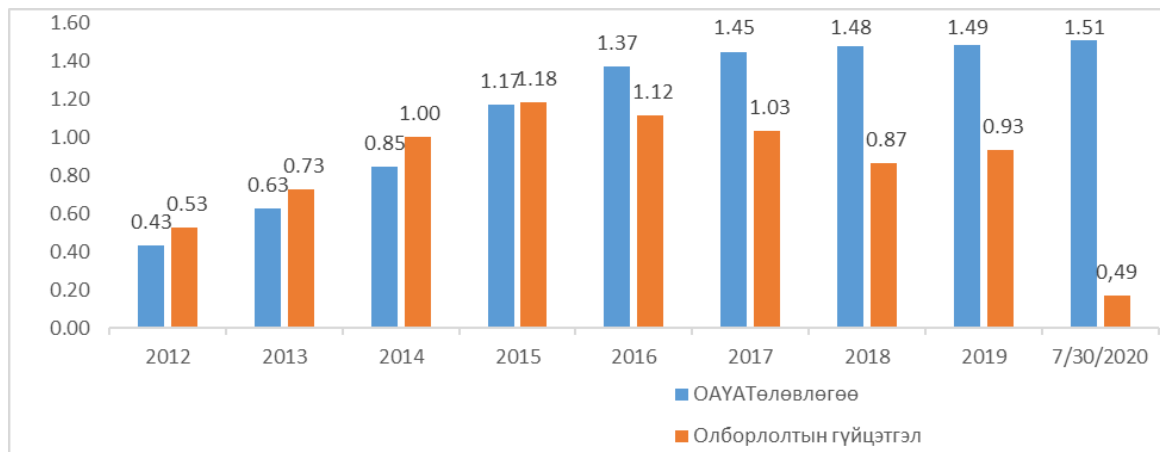
цооногийн ундаргыг нэмэгдүүлэх нэмэлт ажил үндсэндээ хийгдээгүй, хийж гүйцэтгэсэн зарим ажил нь үр дүнд хүрээгүй ба олборлолтын цооногуудын давхаргын энерги жилд 10-16 хувиар буурсан байна.

ГТБҮ-ийг төслийн хүч чадлын хэмжээнд түүхий тосоор хангахын тулд хамгийн багаар бодоход хоногийн олборлолтын хэмжээг 25-27 мянган баррельд хүргэх шаардлагатай. Сүүлийн жилүүдэд үүсээд байгаа нөхцөл байдлаас үзэхүл баригдаж байгаа үйлдвэрийг дээрх хоёр ордоос олборлож буй түүхий тосоор хангаж чадахааргүй байна. Тосон уулын ордыг л гэхэд хайгуулыг 1993 онд эхлээд 1996 онд нээсэн ба нөөцийн тооцоо, эдийн засгийн үнэлгээг зөвхөн 2011 онд л

дуусгасан байдаг.

Үйлдвэрийн олборлолтод шилжсэн эхний жилүүдэд буюу 2012-2015 онуудад тосны хэмжээ тогтвортой өсөж байсан ч дараа нь буурсаар 2020 онд ердөө 490

мянган баррель болсон байна. Тэгэхээр ГТБҮ ашиглалтад орохоос өмнө судалж боловсруулах, улмаар удирдлагын зохих түвшинд шийдвэрлэх, зохицуулах зарим асуудлыг хөндөж байна.



Зураг 1. Газрын тосны 3 ордыг ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөөний дагуу түүхий тосны олборлолтын жилийн төлөвлөгөө, түүний гүйцэтгэл



Зураг 2. Газрын тосны орд ашиглах үндсэн үе шатууд

Нэгдүгээрт: Юуны өмнө ашиглаж байгаа ордууд дээр тосны олборлолтыг нэмэгдүүлэхээс эхлэх нь зүйтэй. БНХАУ-ын Петроочайна Дачин Тамсаг компани олборлолтыг хүрсэн түвшинд нь барих, улмаар нэмэгдүүлэх талаар төлөвлөсөн ажлаа бүрэн гүйцэд хийгээгүй явж ирсэн. Цооногийн ундаргыг нэмэгдүүлэхийн тулд олборлолтын хоёрдогч аргууд, тухайлбал,

физик-химийн, физик-дулааны, термо-химийн аргуудыг зөв сонгож хэрэглэх ёстой. Мөн тостой давхаргын хангалттай зузаантай блокуудад хэвтээ цооног өрөмдөх замаар ундаргыг сэргээх боломж ч байгаа юм. Ашиглалтын блокуудад ажиллаж буй олборлолтын цооног хоорондын зай нь 200-300 метр байгаа нь бас бүрэн ашиглалтын шаардлага

хангахгүй байгаа юм.

Олборлолтын хоёрдогч аргуудыг зөв сонгож хэрэглэхгүй бол газрын доорх тосны хураагуурыг эвдэж, орд газрыг “сүйтгэх” аюултай байдаг.

Уул уурхай, хүнд үйлдвэрийн сайдын 2018 оны А/07 тоот тушаалаар батлагдсан “Газрын тосны орд ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөөнд тавих шаардлага” журмын 3.3-д заасны дагуу ашиглаж буй ордуудын “Газрын тосны орд ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөө”-г шинэчлэх хэрэгтэй. Тосон-Уул, Тамсагийн болон Зүүнбаян, Цагаан-Элсний ордуудын нөөцийн тооцоо, эдийн засгийн үнэлгээний тайланг гэрээлэгч компаниудаар олон улсад мөрдөгддөг ангилал, зэрэглэлийн дагуу шинэчлэн хийлгэх нь зүйтэй. Дээрх ордуудын шинэчилсэн нөөцийн тооцооны тайланг олон улсад хүлээн зөвшөөрөгдсөн хөндлөнгийн компаниар үнэлгээ хийлгэж баталгаажуулах ёстой.

Хоёрдугаарт: Ашиглалтын хайгуул хийх замаар өмнө нь тооцоолсон нөөцийн хэмжээг өсгөх, ашиглалтын зарим блокуудад тооцоолсон нөөцийн зэрэглэлийг ахиулах ажил заавал шаардлагатай. Гэрээлэгч компани тухайн ордуудын нөөцийг бүртгүүлж үйлдвэрийн олборлолт эхэлснээс хойш 8-9 жилийн хугацаа өнгөрсөн ч дээрх ажлыг огт хийгээгүй явж иржээ. Өнгөрсөн хугацаанд (1995-2020 онуудад) Тосон уулын ордод 982 (төлөвлөсөн нь 1638) хайгуул, олборлолт, шахалтын цооног өрөмдөж дагалдах үйлчилгээнүүд хийгдсэн боловч нөөцийн тооцоо, эдийн засгийн дахин үнэлгээ хийгдээгүй. “Газрын тосны тухай” хууль 2014 онд шинэчлэгдсэнээр “Газрын тосны орд ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөөнд тавих шаардлага” 2018 оноос хэрэгжиж эхэлсэн ч Гэрээлэгч энэ журмыг мөрдсөнгүй явж ирлээ.

2011-2012 онуудад Монголын эрдэс баялгийн нөөцийн санд бүртгүүлсэн нөөцийн магадтай болон боломжит зэрэглэлээр тухайн үед тооцоолсон нөөцийн зэрэглэлийг арваад жилийн

ашиглалтын хайгуулын хугацаанд хуримтлагдсан шинэ мэдээлэлд тулгуурлан ахиулах, “Баталгаат”, улмаар ашиглалтын “Баталгаат” зэрэглэлд шилжүүлэх боломжийг тооцоолж орд ашиглах үйл ажиллагааны төлөвлөгөөг шинэчлэх хэрэгтэй байгаа юм.

Ингэснээр ордуудын үнэ цэнэ, эдийн засгийн өгөөж өсөх ба ГТБҮ-ийн түүхий эдийн хангамж баталгаажна.

Ордуудын ашиглалт бүхэлдээ гадаадын гэрээлэгчдийн хяналтад байгаа тухай би дээр дурдсан. Тэгэхээр манай үйлдвэрийг хангахын тулд хөрөнгө оруулалтаа өсгөж олборлолтыг нэмэгдүүлэхийг шаардах эрх зүйн зохицуулалт бий юу. Ашигт малтмал, газрын тосны газрын зүгээс гэрээлэгчийн жилийн ажлын төлөвлөгөөг хянаж батлах тухай заалт газрын тосны тухай хууль, Бүтээгдэхүүн хуваах гэрээнд байдаг ч хэрэгжихгүй явж ирсэн. Ийм учраас эдгээр саналууд зөвхөн боломж юм, харин биелэх эсэх нь гэрээлэгчийн эрх мэдэлд үлдэж байна.

Гуравдугаарт: Чойбалсан, Дорноговийн болон бусад зарим тунамал хурдаст сав газруудад хийж буй хайгуул судалгааны ажлыг эрчимтэй хийж, уг талбайн нүүрс устөрөгчийн хэтийн төлөвийг үнэлэх хэрэгтэй байна.

Өнгөрсөн 30 жилийн хугацаанд Тосон уул, Тамсагийн ордыг нээж хайгуул хийсэн ба 1960-аад онд нөөц нь тогтоогдсон Цагаан элсний ордод дахин үнэлгээ хийсэн. Газрын тосны хайгуулын Галба-ХI (Зон Хэн Юу Тиан), Матад-ХХ (Петро Матад), Хөх нуур-ХҮIII, (Эн Пи Ай) талбайнуудад өрөмдлөгийн ажлаар тос илэрч, зарим талбайд нь 1-3 цооногоор геологийн нөөц тооцоолсон, эдгээрээс Петро Матад компани “Цэн тогоруу” ордод ашиглалтын талбай ялгаж, нөөц бодон эрдэс баялгийн бүртгэлд оруулсан гэх боловч боловсруулах үйлдвэрийн түүхий эдийн хангамжид нөлөөлөх хэмжээний нөөц бэлтгэгдээгүй байна. Эдгээр талбайн хувьд тойм судалгаа үндсэндээ дуусаж эрлийн үе шатанд шилжих болж байгаа ба амжилттай

бол хайгуул, үнэлгээний ажил эхлэх юм.

Монгол улсын нутаг дэвсгэрт газрын тос, метан хийн судалгаа хийхээр 25 Бүтээгдэхүүн хуваах гэрээ (Үүнээс олборлолтын 3, метан хийн 5) байгуулагдсан боловч ажил нь гэрээлэгдсэн хэмжээнд хийгдэхгүй байгаа юм.

Бүтээгдэхүүн хуваах гэрээ байгуулсан болон эрлийн ажлын эрх авсан ихэнх Гэрээлэгчид газрын тосны үнэ унасан зарим жилүүдэд бүрмөсөн зогсоод үнэ өссөн завсар хооронд нь ганц нэг цооног өрөмдсөн болоод хугацааг барж байна. Дэлхийн жишгээр үзвэл, эдгээр Гэрээлэгчид ордын нөөцийн тооцоо хийж, эдийн засгийн үнэлгээ өгөхгүй, харин Бүтээгдэхүүн хуваах гэрээтэй талбайнуудын нүүрс устөрөгчийн хэтийн төлөвт урьдчилсан үнэлгээ өгөх хэмжээний компаниуд байна.

Манай орны газрын тосны геологи хайгуулын ажил үндсэндээ тойм судалгаанаас эхэлдэг. (Региональ үе шат) Энэ үе шатны ажлын геологийн зорилт нь гэрээт талбайн геологийн тогтцыг судалж, тунамал хурдаст сав газрын давхарга зүйн зүсэлт гаргах замаар эрлийн ажил хийх талбай ялгах юм. Дараа нь эхний ээлжид геологи хайгуулын ажил хийхээр ялгасан талбайд нүүрс устөрөгчийн баялгийн үнэлгээ өгдөг. Газрын тосны ордын эрлийн ажлын амжилтын итгэлцүүр гэж байдаг.

10-12 цооногоос нэг нь тос илрүүлбэл амжилттайд тооцогдоно. Гэхдээ энэ нь ашиглах хэмжээний нөөц бүхий орд хараахан биш юм. Чухам эндээс нөөцийн тооцоолол хийж, эдийн засгийн үнэлгээ өгөх нарийвчилсан хайгуулын их ажил

эхэлдэг. Үүгээр газрын тосны хуримтлалын хэмжээ, шинж чанарыг судалж орд газрыг ашиглалтад бэлдэж, эдийн засгийн үнэлгээ өгнө. Газрын тосны хайгуул судалгаа чухам ийм үе шат, технологиор хийгдэх ба үүнд хугацаа, санхүү, техникийн чадавх шаардагдана. Үүнээс үзвэл бүтээгдэхүүн хуваах гэрээ байгуулан газрын тосны судалгаа хийж байгаа талбайнуудад нүүрс устөрөгчийн нөөц илрүүлж, тооцоолон, үнэлгээ өгч олборлох хүртэл багаар бодоход 10-15 жил хэрэгтэй.

Дэлхийн эдийн засаг сэргэж, газрын тосны үнэ өссөн 2010-2012 онуудад нэлээн хэдэн Гэрээ байгуулагдаж хайгуулын ажил эхэлсэн боловч цааш явсангүй, Ашигт малтмал, газрын тосны газрын зүгээс өндөр шаардлага тавьж тууштай ажиллаж чадсангүй. Энэ ч бас аргагүй юм. Засгийн газрын агентлаг нь зөвхөн хяналт тавих үүрэгтэй төрийн байгууллага тул Гэрээлэгчдэд тал бүрийн дэмжлэг үзүүлж хамтран ажиллах замаар Гэрээлэгчийн бизнесийн үйл ажиллагаанд оролцох боломж байхгүй.

Чухам ийм учраас 2018 онд батлагдсан “Төрөөс газрын тосны салбарыг хөгжүүлэх талаар 2017-2028 онуудад баримтлах бодлого”-ын 2 дугаар бүлгийн 2.3.6-д “Төрийн өмчит эсхүл төрийн өмчийн оролцоотой компани байгуулж компанийн засаглалаар үйл ажиллагаа явуулна” гэж заасан. Бодлогын энэ зорилтыг хэрэгжүүлснээр төрийн өмчит компани нь өөрийн мэдлийн ордтой байж хөрөнгө босгох, хайгуул судалгааг эрчимжүүлэх, нөөцийг өсгөх, олборлолтыг нэмэгдүүлэх чиглэлээр Гэрээлэгчтэй хамтран ажиллах боломж нээгдэх юм.

АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

Д.Алтанхуяг ба бусад, Ашигт малтмалын баялаг, ордын нөөцийн ангиллыг тухайн төрлийн ашигт малтмалд хэрэглэх аргачилсан зөвлөмж, Улаанбаатар хот, 2019

Х.Эрдэнэбулган, Шинэ боловсруулах үйлдвэрийн түүхий эдийн

хангамжийг шийдвэрлэх арга зам, ШУТИС, Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл 9/236, 141-146 хуудас, Улаанбаатар, 2018

С.Авирмэд ба бусад, Ашигт малтмалын баялаг ба ордын нөөц, Хайгуулчин, №48, 232-242 хуудас, 2013

Ж.Цэвээнжав. Газрын тос боловсруулалт, шатахуун, түлш үйлдвэрлэлийн технологи менежментийн асуудлууд. ШУТИС, Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл 9/236, Улаанбаатар, 2018

Д.Цэдэнбалжир. Манай дэлхийн газрын тосны нөөц. ШУТИС, Эрдэм шинжилгээний бүтээлийн эмхэтгэл, Улаанбаатар,

М.Айдын, П.Элбэгзаяа, Ч.Чулуунбат,

А.Пүрэв, Д.Ундармаа. Тосон уулын ордын газрын тосны олборлолтыг нэмэгдүүлэх боломж, технологийн аргуудын туршилт, үр дүн, Эрдэм шинжилгээ, бүтээлийн эмхэтгэл, х42-48, Улаанбаатар, 2020

Б.Чулуунцэцэг, Д.Ундармаа, Г.Норов, Тосон уулын ордын газрын тосны цооногийн өгөлтийн судалгаа. , Эрдэм шинжилгээ, бүтээлийн эмхэтгэл, х30-36, Улаанбаатар, 2020

ON THE ISSUE OF THE SUPPLY OF RAW MATERIALS FOR THE MONGOLIAN OIL REFINERY

Abstract. The article discusses the issue of providing raw materials for an oil processing plant (refinery), which is being built for the first time in Mongolia. The detailed feasibility study (DFS) provides for the supply of oil to the refinery, producing at the Toson uul, Tamsag and Tsagaan els fields. Currently, the total oil production in our country is 11-12 thousand barrels per day, which is not enough to supply refineries. The refinery's demand (design capacity 1.5 million tons per year) is at least 25-27 thousand barrels per day. The author of this article proposes several management considerations for the supply of oil to refineries.

Key words: *Oil, reserves, resource estimation, production and supply*