

Using the processing and modelling of the geomagnetic method for exploring mineral deposits: A case study at the gold area in Dashbalbar, Dornod

Bayanjargal Gendenpuntsag^{1*}, Batmagnai Erdenechimeg¹, Nasan-Ochir Tumen¹, Tserendug Shoovdor¹, and Otgonbold Nyamdorj²

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

²Research, Development and Innovation Center of Magnetotelluric survey, Ulaanbaatar, Mongolia

*bayanjargal@iag.ac.mn, 

Received: 2024-10-31, Accepted: 2024-12-10, <https://doi.org/10.5564/mjag.v11i1.4184>

Abstract

This paper presents the results of geomagnetic measurements conducted along 23 profiles in the 740-hectare Uvur Khooloi area, located 35 km northwest of the centre of Dashbalbar Sum, Dornod Province. The data were processed and combined with the geological map of the area for interpretation. In this study, anomalies associated with the lithosphere were extracted from the total geomagnetic field measurements on the Earth's surface, and an anomaly distribution map was created for the area. The magnetic anomaly map for Uvur Khooloi revealed a linear structure approximately 120 meters wide, with a high amplitude and a positive magnetic anomaly in the northeastern part of the area. Furthermore, a 2-D magnetic susceptibility distribution model across the linear structure was developed to understand the subsurface characteristics of the structure. The geological map of the area indicated that faults extending from southwest to northeast explained the geometric features of the linear structure observed in the geomagnetic field measurements. The positive geomagnetic anomalies correspond spatially with unsorted volcanic rocks and conglomerate sediments cut by short, north-south trending faults.

Keywords: Data processing, Inversion, Anomaly, magnetic susceptibility

1. Удиртгал

Монгол орны нийт газар нутагт алтны үндсэн орд, шороон орд, нөөц нь тогтоогдоогүй алтны илэрлүүд ихээр тархсан байдаг нь алтны нөөц ихтэйг илэрхийлнэ. Монгол орны хувьд алтны шороон ордын судалгаа ихээр хийгдсэн бөгөөд идэвхтэй олборлолт хийгдэж буй ордууд нь ихэвчлэн шороон ордууд байдаг. Олборлолт хийгдсэн алтны үндсэн орд гэвэл Бороогийн алтны үндсэн орд юм. Гацуурт болон бусад алтны үндсэн ордуудад нөөцийг тогтоох судалгаа хийгдэж байна (Jargalan, 2016). Алтны

үндсэн ордын эрэл хайгуулд түүний бүрэлдсэн орчны магматизмийн тухай ойлголтыг олж авах нь чухал ач холбогдолтой байдаг. Иймээс геофизикийн хайгуулын аргуудыг ашиглаж алтны үндсэн ордын гарал үүслийг тодорхой ойлгох нь маш чухал юм. Геосоронзон орны хэмжилтээр ажиглагдах утга нь олон эх үүсвэртэй орнуудын нийлбэр юм. Энэ нийлбэр орноос Литосферт үүсгэгчтэй орныг ялган авч түгэлтийн зураглал гаргах нь ашигт малтмалын хайгуулын судалгааны үндсэн зорилтын нэг болдог. Кюри цэгээс дээш, Литосферт орших чулуулгуудын үүсгэх соронзон орныг Литосфе-

рийн аномаль орон гэнэ (Shoovdor et al., 2023). Энэ Литосферийн аномаль соронзон орон нь түүнийг үүсгэгч эрдсийн нэгэн төрлийн бус тархалтаас хамаарсан локал шинж чанартай байдаг. Энэ локал шинж чанар нь судлагдаж буй талбайн геологийн тогтоц, эрдэсжилтийн шинж чанар, түүний геометр тархалт зэргийн талаарх анхдагч мэдээллийг агуулдаг. Иймээс геосоронзон хэмжилт нь региональ ба локал масштабын геологи ба хайгуулын судалгаанд чухал үүрэг гүйцэтгэнэ (Gao et al., 2013). Монгол орны нийт нутаг дэвсгэрийг эрдсийн тархалтаар нь 17 бүсэд хуваасан байх ба үүнээс 7 бүсийг нь эдийн засгийн хувьд өндөр ач холбогдолтой гэж үздэг (Gerel et al., 2021). Энэ судалгааны хүрээнд, бид Өмнөд-Хэнтий бүсэд орших Өвөр-Хоолойн алтны үндсэн ба шороон ордын талбайд геосоронзон хайгуулын ажил хийсэн. Уг талбай нь алтны А-лиценз бүхий талбай бөгөөд энэ талбайд ХХ зууны 2 дугаар хагасаас 2000 он хүртэл геологи, геофизикийн идэвхтэй судалгаа хийгджээ. Гэвч өмнө нь хийгдсэн геофизикийн судалгааны өгөгдөл ба үр дүн нь он цагийн явцад устаж үгүй болсон бөгөөд зөвхөн судалгаа хийгдсэн болохыг хайгуулын ажлын тайланд товч дурдсан төдий байв. Энэ талбайд хийгдсэн хайгуулын ажлын тайланг (Batchuluun, 2004) авч үзвэл IP хайгуулын үр дүнгээр тодорхойлсон хүдэржилтийн бүсийг шалгасан өрмийн ажил нь амжилтгүй болсон байна. Мөн геосоронзон зураглалын ажлын үр дүнг тодорхой оруулаагүй боловч талбайн зүүн хойд хэсэгт соронзон орны өндөр эрчимтэй аномаль бүс буй гэх мэдээллийг геологийн зурагт оруулж өгсөн байсан. Тэд Өвөр-Хоолойн талбайн алтны нөөцийг хайгуулын геологи, суваг малтлагын үр дүнд тулгуурлан бодсон байна. Иймээс энэ удаагийн талбайн геосоронзон судалгааны ажлаар Өвөр-Хоолойн харгалзах талбайн аномаль геосоронзон орны түгэлтийн зураглалыг гаргаж, эрдсийн тархалтын байршлын зүй тогтлыг ойлгох, региональ хүдрийн бүсийн түгэлтийг тоймлон мэдэх зорилго тавьсан. Мөн цаашлаад мезо-кайнозойн хучаас хурдасны доор алтны шороон орд байх магадлалыг үнэлэн, уг алтны ордын нөөцийг таамаглах зорилготой юм. Энэ

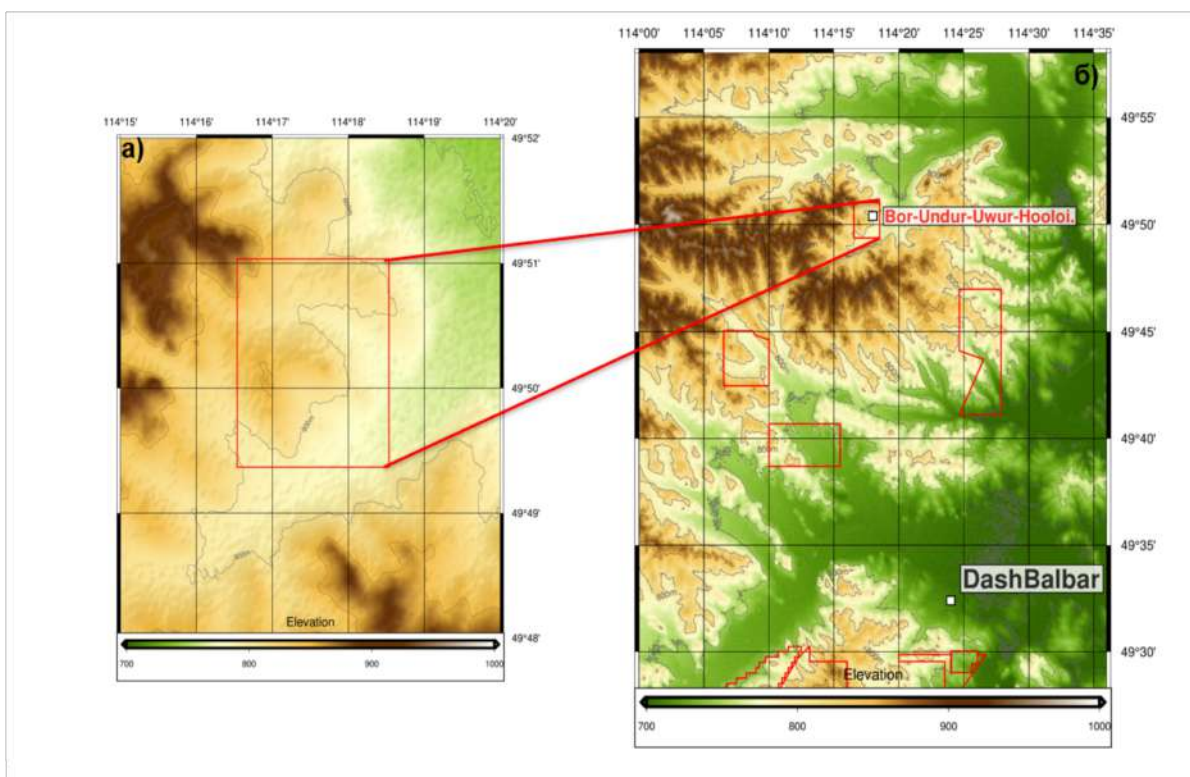
өгүүллэгт үзүүлсэн үр дүнгүүд нь бидний сүүлийн жилүүдэд нэвтрүүлсэн судалгааны арга зүй ба алгоритм дээр суурилсан болно.

2. Судалгааны материал ба мэдээлэл боловсруулалт

Өвөр-Хоолойн судалгааны талбай нь Дорнод аймгийн Дашбалбар сумын төвөөс хойш 36 км зайд оршино. Зураг. 1-т судалгааны талбайн газар зүйн мэдээллийг үзүүлсэн, а) -д соронзон хэмжилт хийсэн талбайг улаан хүрээгээр ($3 \times 2 \text{ км}^2$) тэмдэглэсэн бөгөөд уг талбайн баруун урд хэсэг дэх хагас дугуй хэлбэртэй өндөрлөг ба түүний урд хөндийг Өвөр-Хоолойн гэж нэрлэдэг, б) -д региональ өндөршлийн зураг дээр орших талбайн байрлалыг харуулсан. Эндээс авч үзэхэд Өвөр-Хоолойн талбай нь Бор-Өндөрийн (талбайн баруун хойд талын өндөрлөг) зүүн урд үзүүрт геоморфологийн хувьд мөлгөр гадарга бүхий цагираг төрлийн бүтэц мэт биетийг агуулсан газарт байрласан байна.

2.1. Судалгааны талбай

Энэ талбай нь Монгол орны зүүн хойд бүс нутгийн региональ масштабын судалгааны ажлын хүрээнд, геологийн хувьд судлагджээ. Тодруулбал 1935 онд ЗХУ -ын эрдэмтэн С.С.Смирнов энэ талбайг полиметаллын бүс гэж үзсэн байна. Улмаар энэ бүс нутагт дөрөвдөгч, геоморфологи, гидрогеологи, ашигт малтмалын судалгаа, давхаргын насыг тогтоох ажлууд нь 1945 онд хийгджээ. Хожим нь энэ талбайд 1:200000 геологи хайгуулын ажил иж бүрэн хийгдсэн ба түүний үр дүнг одоог хүртэл мөрдөж буй бөгөөд энэ талбайд хэд хэдэн ашигт малтмалын хүдэржилт, геохими ба геохимийн элементүүдийн гажлын зураг зохиосон (Т.Биндэрьяа, 1995). ХХ зуунд хийгдсэн эдгээр судалгааны ажлуудыг авч үзвэл, Өвөр-Хоолойн талбай нь алтны бүсчлэлийн хувьд Урд Хэнтийн бүсчлэлд орно. Зураг. 2д үзүүлснээр энэ талбайн ихэнх хэсгийг Tr-триасын доод-дунд, N2-аносовын мөн Q1-2-дөрөвдөгчийн үеийн хурдас бүхий давхаргуудын чулуулгаас бүрдэж байна. Уг талбайн зүүн хойд хэсэгт ногоон өнгөөр илэрхийлэгдэж буй баруун урдаас зүүн хойш чиглэсэн шугаман бүтэц болох цэрдийн настай конгломарит вулка-



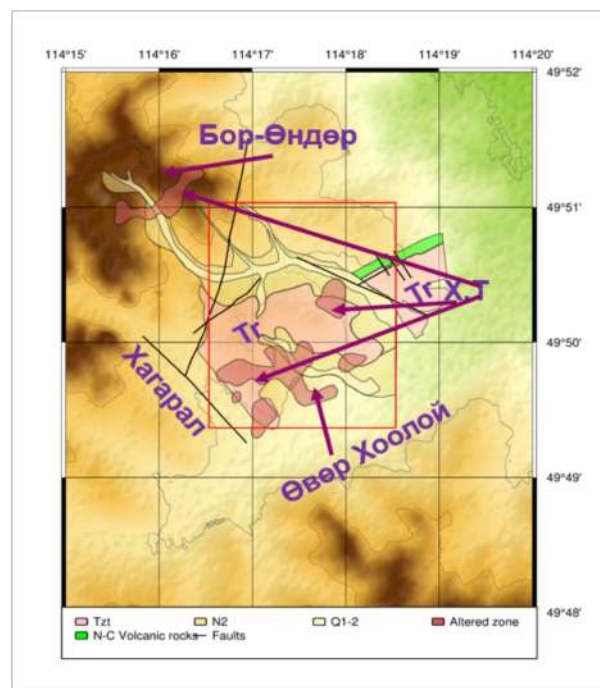
Зураг 1. Бүс нутгийн өндөршлийн зураг ба судалгааны талбайн байрлал..

ноген нь (базальт, трахибазальт, андезитбазальт, трахиандезит-базальт) хойноос урагш чиглэсэн хагарлуудаар хэрчигдсэн байна. Мөн өмнөх судалгааны ажлуудын үр дүнд тогтоосон үндсэн ордын хүдэржилттэй гэж ялгасан талбайнуудыг хүрэн улаанаар дүрсэлсэн. Хүдэржилтийн хувьд, талбай нь Дорнод Монголын алтны бага температурын хүдэржилт бүхий Дөчголын хүдрийн бүсэд байрлах ба энд триас, юрын настай Ямалх, Чулуунхороотын интрузив бүрдлүүдийн жижиг биетүүдийг агуулсан алт, мөнгө, полиметал, ховор элементүүдийн хүдэржилт байдаг.

Өвөр-Хоолой ба Бор-Өндөрийн хүдэржилтийг Дөчголын формацын доторх элсжин интрузивээр түрэгдэх явцдаа метасоматит хувирлаар Sb, Ba, Ag, Au –г үүссэн гэж тайлбарладаг (Ж.Бат-Эрдэнэ, 2021). Мөн энэ талбайн өндөрлөгийг дагасан ба баруун урдаас зүүн хойш хөндлөн огтолсон ижил бүтэцтэй хэсгүүд агуулагдаж байна (Зураг. 2).

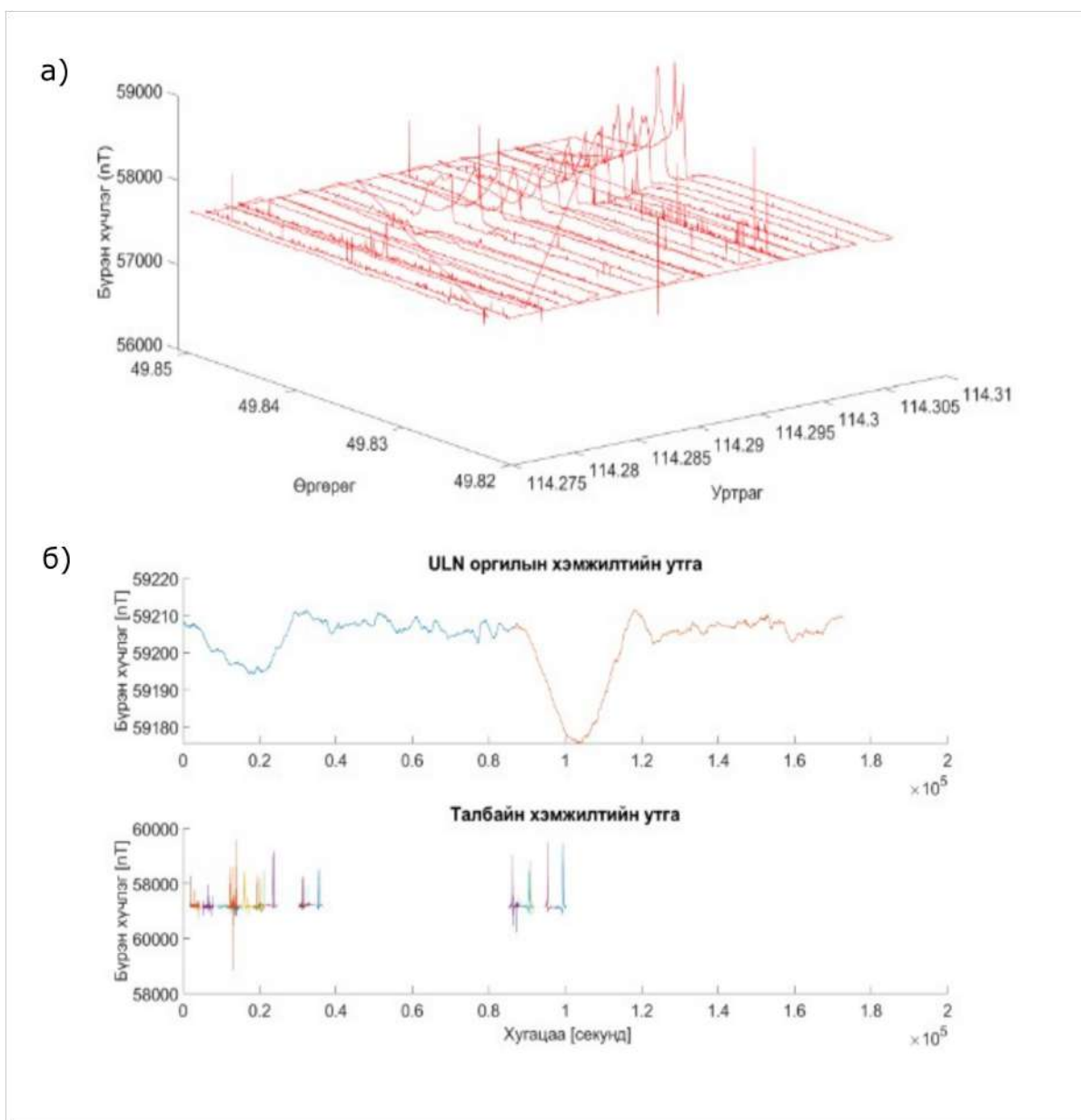
2.2. Геосорозон хэмжилт

Энэ судалгааны ажлын хүрээнд бид 1:10000 масштабтай геосоронзон орны түгэлтийн



Зураг 2. Судалгааны талбайн Batchuluun (2004) -с хялбарчилсан геологийн зураг.

зураглал зохиох зорилгоор өргөрөгийн дагуу нийт 23 профилийн геосоронзон хэмжилтийг



Зураг 3. Соронзон хэмжилтийн утгууд.

гүйцэтгэсэн. Зураг. 3а-т энэ талбайд хийгдсэн геосоронзон хэмжилтийн утгуудыг үзүүлэв. Эдгээр профилиудын хоорондох зай нь 100м ба 2 секундэд нэг утга хэмжихээр тохируулсан болно. Мөн сенсорыг газрын гадаргаас 2м зайтай байхаар тохируулсан. Зураг. 3а-с харахад талбайн баруун талын профилиудын дагуух хэмжилтийн утга нь зүүн талын профилиудын утгатай харьцуулахад харьцангуй тогтмол байна. Харин талбайн төв хэсгээс эхлэн зүүн хэсгийн бүх профилиудад хүчтэй эерэг утагтай соронзон аномаль ажиглагдаж байна.

2.3. Арга зүй ба мэдээлэл боловсруулалт

Дэлхийн гадарга дээр дурын цэгт бүртгэгдэх геосоронзон орон нь хэд хэдэн үүсгүүртэй соронзон орнуудын нийлбэр орон байдаг (Bhattacharyya, 1966). Үүнийг доорх хэлбэрт бичиж болно.

$$\vec{B} = \vec{B}_{core} + \vec{B}_{SV} + \vec{B}_{external} + \vec{B}_{var} + \vec{B}_{anomaly} \quad (1)$$

Энд $\vec{B}_{core}$ - дэлхийн дотоод цөмд үүсгүүртэй хүчтэй туйлтай орон. $\vec{B}_{SV}$ - эриний хувьсалт. $\vec{B}_{external}$ -гадаад эх үүсвэртэй орон. $\vec{B}_{var}$

–хэмжилт хийж байх хугацаанд дахь гадаад эх үүсвэртэй орны хүчтэй өөрчлөлт. $\vec{B}_{anomaly}$ -Литосферт үүсгүүртэй аномаль соронзон орон. Судалгааны талбайд орших материалын түгэлтийг тодорхойлохын тулд $\vec{B}_{anomaly}$ -соронзон орныг дээрх нийлбэр соронзон орноос ялган авдаг. Энэ нь геосоронзон хэмжилтийн мэдээлэл боловсруулалтын анхдагч хамгийн чухал алхам юм.

Дэлхийн үндсэн соронзон орныг газрын гадарга дээр хийсэн хэмжилт, агаарын хэмжилт болон хиймэл дагуулын хэмжилтэд тулгуурлан загварчилах боломжтой. Үүнийг IGRF-ийн загвар ашиглан хийдэг (Хавсралт.1 үз.). IGRF-ийн загвараар тухайн хэмжилт хийсэн цэгийн координат ба хэмжилт хийсэн өдрийн мэдээллийг оруулахад тэр цэг дээрх соронзон орны хэвийн утгыг олох боломжтой. Энэ ажилд IGRF загвараар $\theta = 49.846139^\circ$, $\phi = 114.294325^\circ$, $h=812\text{m}$ координаттай цэгт харгалзах хэвийн соронзон орны утгыг буюу $\vec{B}_{core} + \vec{B}_{SV} + \vec{B}_{external}$ орнуудын нийлбэр Тэг. Eq. (1)-ээс арилгасан болно. Үлдэгдэл орны бичвэл доорх хэлбэрт бичгдэнэ.

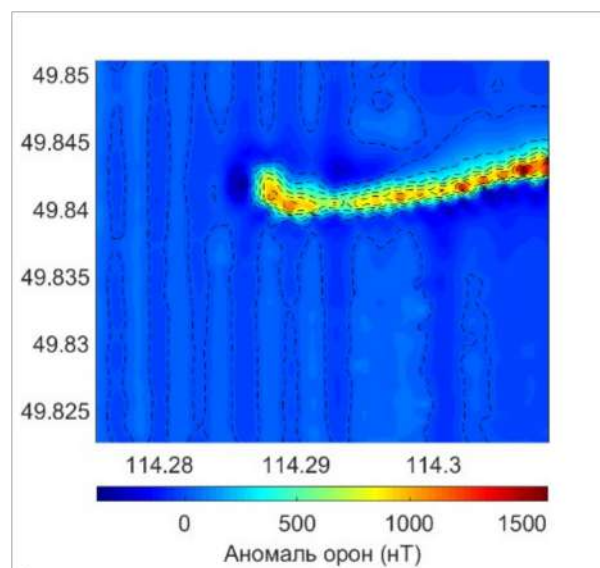
$$\vec{B}_{res}(\mathbf{r}, t) = \vec{B}_{var}(\mathbf{r}, t) + \vec{B}_{anomaly}(\mathbf{r}) \quad (2)$$

Эцэст нь хэмжилт хийж байх хугацаан дахь богино үетэй соронзон орны өөрчлөлт $\vec{B}_{var}(\mathbf{r}, t)$ -ийг үл хөдлөх суурин цэгийн хэмжилтийн өгөгдөл ашиглан засвар хийдэг. Энэ ажилд бид ULN соронзон оргилын өгөгдлийг ашиглаж засвар хийсэн.

Зураг.3б-д $\vec{B}_{var}$ орны засвар хийхэд ашигласан ULN соронзон оргилын бичлэг, талбайн хэмжилтийн утгуудыг хугацааны хувьд давхцуулан (синхрон) үзүүлэв. Соронзон оргилын утгаас тухайн цэгийн хэвийн орны утгыг хасаж өгсөнөөр $\vec{B}_{var}(t) = \vec{B}(\mathbf{r}, t) - \vec{B}_{normal}(\mathbf{r})$ оргилын утга нь зөвхөн хугацаанаас хамаарсан орны өөрчлөлтийг олж болно. Энэ өөрчлөлт нь хэмжилт хийж байх үед талбайн хэмжилтэнд синхрон байдлаар нөлөөлөх тул Тэг. Eq. (2) -д $\vec{B}_{anomaly}(\mathbf{r}) = \vec{B}_{res}(\mathbf{r}, t) - \vec{B}_{var}(t)$ гэж орлуулан тавих замаар аномаль орныг олж болно.

3. Үр дүн ба хэлэлцүүлэг

Бид дээр дурдсан алгоритмын дагуу хэмжилт хийгдсэн талбайд харгалзах литосферийн ано-



Зураг 4. Талбайн аномаль соронзон орны түгэлтийн зураг.

маль орны утгыг ялган авсан болно. Энэ ялган авсан литосферийн аномаль орны утгуудад Inverse Distance Weighting (IDW) интерполяцийн аргаар дөхөлт хийж, уг талбайн аномаль соронзон орны түгэлтийн зураглалыг гаргав. (Хавсралт-1.1 үзэх). IDW нь газарзүйн өгөгдөлтэй ажиллахад тохиромжтой аргуудын нэг юм. Судалгаанд хамрагдсан талбайн аномаль орны түгэлтийн зураглалаас харахад (Зураг. 4) зүүн хойноо хүчтэй аномаль бүхий судал илэрч байна. Энэ судлын аномаль шинж чанар нь орчны соронзон орноос олон дахин их болох нь харагдана. Судлын аномаль орны хамгийн их утга нь 1700 нТ ба уг судал талбайгаас зүүн тийш үргэлжилсэн бүтэцтэй байж болохоор харагдаж байна.

Бид дээрх талбайд нийт 23 профилийн дагуу хэмжилт хийсэн бөгөөд хэвтээ чиглэсэн бүтцийг хөндлөн огтолсон 2 шугамын дагуу 2D зүсэлт хийж, үе давхаргын соронзон мэдрэх чадварын түгэлтийн загвар зохиосон. Эдгээр профилийн дагуу хийсэн орчны соронзон мэдрэх чадварын 2D зураглалаас үзэхэд хүчтэй аномаль орон бүхий судалд харгалзах гүний хамаарал нь 200м хүртэл үргэлжлэн бүтэцтэй байх магадлалтай болохыг илтгэж байв. Мөн уг судлын доорх давхаргын соронзон мэдрэх чадвар нь сөрөг утгатай байгаа нь энэ судал диасоронзон бодисын агуулгатай болохыг илэрхийлнэ. (Зураг.7).

3.1. Эффузив дайк ба вулканик брекчия

Геосоронзон орны талбайн хэмжилт ба мэдээлэл боловсруулалтын үр дүнд гарган авсан литосферийн соронзон орны орон зайн түгэлтийн зураг (Зураг. 4) дээр ажиглагдах баруунаас зүүн чиглэсэн хүчтэй эерэг аномаль бүхий страйк биет нь тухайн бүс нутагт бага гүний Fe агууламж өндөр буюу соронзон материал оршиж буйг илтгэнэ. Хүрээлэн буй орчны соронзон орны утгатай харьцуулан үзэхэд уг биетийн соронзон шинж чанар харьцангуй өндөр ба шугаман хэлбэртэй байгаа нь гидротермаль хувирлын улмаар талбайг хөдлөн огтолсон хагарлын дагуу зөөгдөн газрын гадаргад ойртсон эффузив чулуулгийг дүрсэлж байж болно.

Тухайн талбайн геологийн тогтцыг авч үзвэл уг биет нь доод цэрдийн настай базальт, трахибазальт, андезит-базальт, трахиандезит-базальт ба конгломерат K_1CC -аар илэрхийлэгдсэн шугамтай ойролцоогоор тохирч байна. Тухайн талбайн геологийн тогтцыг авч үзвэл уг биет нь доод цэрдийн настай базальт, трахибазальт, андезит-базальт, трахиандезит-базальт ба конгломерат K_1CC -р илэрхийлэгдсэн шугамтай давхцаж байна. Иймээс бид тухайн шугаман бүтцийг материалын соронзон шинж чанар ба түүний хэлбэр хэмжээ ба геологийн зурагтай харьцуулан үзэж базальтик дайгаар тайлбарлаж байна. Андезит төрлийн уг базальт нь лабораторийн хэмжилтээр өндөр нүх сүвэрхэгжилттэй байх тухайн орчинд гидротермаль хувирлын бүтээгдэхүүн болох вулканик брекчияг агуулж байж болно. Тухайн хайгуулын талбай нь алтны үндсэн ба шороон ордын нөөцтэй гэдэг нь батлагдсан тул геосоронзон зураглалын үр дүн нь мөн тухайн орчинд гидротермаль хувирлын улмаас бий болсон алтны шороон ордны хуримтлал байж болохыг илтгэнэ.

3.2. Геологийн тогтоц ба геосоронзон шинж чанар

Зураг. 4-д үзүүлсэн эерэг геосоронзон аномаль нь талбайн хувьд давамгайлж орших тул бусад геологийн тогтцын талаарх мэдээллийг геосоронзон зураглалаас авах нь хүндрэлтэй байсан.

Иймд хүчтэй соронзон аномаль биетийг хэмжилтийн утгаас зайлуулан хүдрийн биетийн тү-

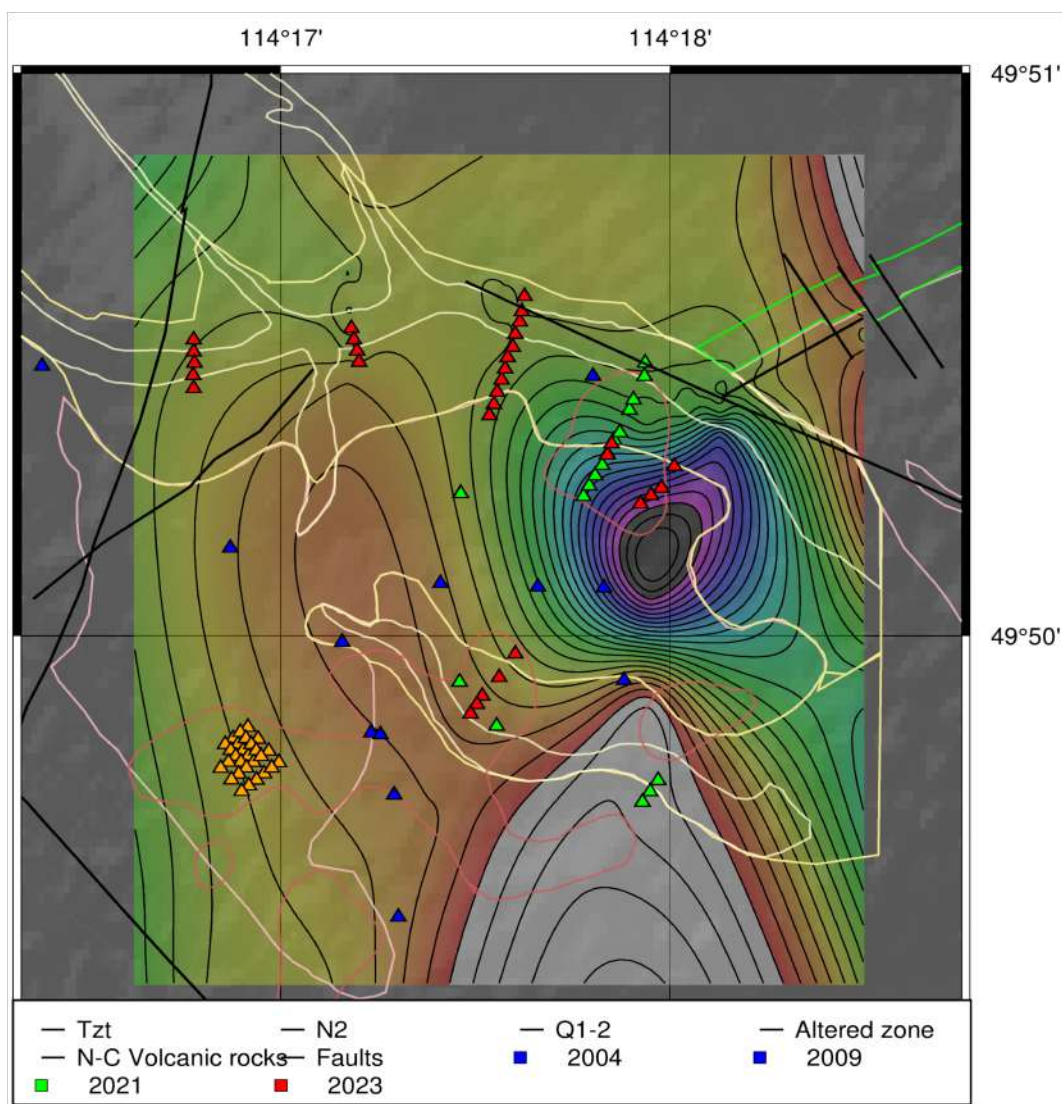
гэлтийн геометр шинж чанарыг тодорхойлох зорилгоор соронзон орны үүсгүүрийн анализ хийсэн (Хавсралт. C.3 үз). Соронзон шугаман бүтэцтэй холбогдох биетийг арилгаж, туйлын залруулга хийсний дараах геосоронзон орны түгэлтийг Зураг. 5-д үзүүлэв. Товчоор хэлбэл далайцын фильтр тавьж, хүчтэй аномалийг сулруулсан болно.

Эндээс үзэхэд судалгааны талбайн зүүн хэсэгт уулын хөндийг (урдаас-хойш) дагасан бага геосоронзон аномалийн бүс ажиглагдах ба энэ нь Өвөр-Хоолойн цагираг тогтоц болох триасын интрузив чулуулгаас харьцангуй бага соронзон чанартай байна. Харин интрузив чулуулагтай давхцаж буй өндөр соронзон утга нь баруун хойшоо буюу Бор-Өндөрийн зүг сунаан тогтсон буй нь талбайн хойд хэсэгт магадгүй соронзон шинж өндөртэй биет буйг илэрхийлнэ. Геологийн тогтцыг авч үзвэл энэ нь хагарлын байрлалтай таарах байдлаар нотлогдож байна.

Дээр дурдсан зарчмыг соронзон орны шугаман бүтэцтэй харьцуулан авч үзвэл талбайн зүүн төв ба хойд хэсэг нь бусад талбайгаас ихээхэн ялгаатай тогтоцтой болохыг ойлгож болох ба бидний таамаглалаар судалгааны талбайн зүүн хэсэгт тухайн талбайн ашигт малтмалын ордыг бүрдүүлж буй хүдэржилтийн үүсгүүр гүнд оршиж байна. Иймээс цаашид соронзон орны бага буюу сул аномалийн шинж чанарыг нарийвчлан үзэх нь судалгааны зорилготой нийцнэ. Мөн тухайн талбайд хийгдсэн хайгуулын өрмийн үр дүн нь харьцангуй өндөр хүдэржилтийн агуулгатай байсан.

3.3. Соронзон биетийн үүсгүүр ба түүний геометр шинж чанар

Соронзон орны үүсгүүрийн шинжилгээгээр тодорхойлж болох өөр нэгэн хэмжигдэхүүн бол нэгэн төрлийн соронзон давхаргад орших биетийг илрүүлэх боломж юм. Талбайн геосоронзон хэмжилтийн шугамын дагуу бүртгэгдэх соронзон орны орон зайн өөрчлөлтийг долгионы тооноос хамаарсан функц хэлбэрээр авч үзэн Гилбертийн хувиргалтаар спектрийг тодорхойлсноор орны үүсгэгчийн шинж чанарыг вектор анализийн тусламжтайгаар олж авч болно. Зураг. 6-д соронзон орны үүсгүүрийн бүрэн градиент



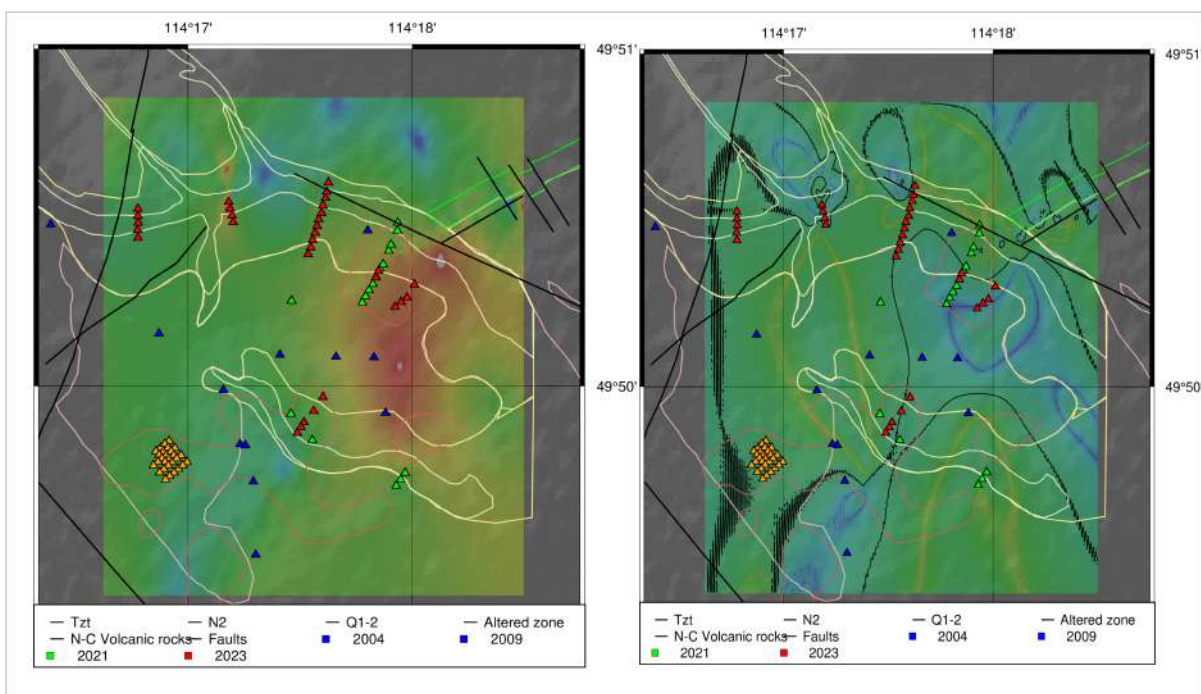
Зураг 5. Судалгааны талбайн соронзон орны түгэлтийн туйлын залруулга хийсэн зураг, энд шаргал, улбар хүрээгээр Зураг.1-т үзүүлсэн геологийн биетүүдийн хүрээг үзүүлсэн ба, хар шулуунаар орны хагарлыг тус тус үзүүлсэн. Мөн ногоон, улбар, цэнхэр, улаан гурвалжин нь тухайн талбайд хийгдсэн хайгуулын өрмийн цэгүүдийг үзүүлсэн.

буюу аналитик сигналыг үзүүлсэн. Аналитик сигналын далайцын утга нь 0-с бага байхгүй ба өндөр утга нь соронзон үүсгүүр оршин буй биетийн орон зайн түгэлтийг үзүүлдэг.

Зураг. 6б-д Гипербол хазайлтын өнцгийн филтерийг үзүүлсэн энэ нь аналитик сигналын фаз дээр тулгуурласан биетийн боломжит дээд зах хязгаарыг илрүүлэхэд тусалдаг. Эдгээр анализуудын үр дүн нь судалгааны талбайн нэгэн болон голлох томоохон уул нуруудын геоморфологийн тогтцын структураас үл хамаарсан 3-D тогтоцтой болох нь тогтоогдож байна. Анали-

тик сигналын үр дүнгээс үзэхэд талбайн зүүн хэсэгт ажиглагдах биет нь томоохон талбайг эзлэх ба талбайн урд ба хойд хэсгээр хэт бага масштабын биетүүдийн түгэлтүүд ажиглагдаж байна. Харин хазайлтын өнцгийн зураг дээрээс авч үзвэл аналитик сигналаар хүчтэй ялгагдсан талбайн мөн нэг бус хэд хэдэн материалын бүрдлээс тогтсон байж болох байна.

Ерөнхийдөө энэ судалгаанд авч үзэж буй үр дүнгүүд нь тухайн ашигт малтмалын талбайн эцсийн хүдэржилтийн тайлал биш бөгөөд цаашид ахисан түвшний боловсруулалт,



Зураг 6. Соронзон орны үүсгүүрийн анализ, а) Аналитик сигнал, б) Гипербол тангенс өнцөг.

загварчлалын ажил үе дараалалтайгаар хийгдэх болно. Гэсэн хэдий ч энэ судалгааны ажлаар судалгааны талбай нь дунд-мезозойн вулканик идэвхжилттэй холбоотой үүссэн хүдэржилт түүний ашигт малтмалын биетүүдийн хагарал ан цав бүхий биетүүдийн дагуу гидротермаль нэвчилтийн процессоор бүрэлдсэн эпитеpmаль эсвэл скарны төрлийн үүсгүүр бүхий алтны орд байж болох юм гэсэн урьдчилсан тайлал хийж болж байна. Зураг. 6-д улбар тасралттай шулуунаар дүрсэлсэн талбайнууд нь соронзон үүсгүүр болох хүдрийн 3-D биеттэй холбогдож болно. Учир нь 3-D биет нь цахилгаан цэнэг хуримтлуулагч болох ба нэгэн төрлийн орчноор гүйх цахилгаан гүйдэл тухайн цэгт тасрах эсвэл индукцлэгдэн соронзон орны үүсгүүрүүд болдог. Мөн энэ талбайд хийсэн магнетотеллурикийн судалгаа нь эдгээр үр дүнг нотлох нэгэн шалгуур болох юм.

4. Дүгнэлт

Дашбалбар сумын нутаг дахь 740га талбайд хийгдсэн аномаль геосоронзон орны судалгаанаас харахад энэ талбайн зүүн хойд хэсэгт 1700нТ орчим утгатай, хүчтэй аномаль бүхий

120м өргөнтэй урт судал илэрч байна. Дээрх хүчтэй аномаль орон бүхий судал нь зүүн тийш үргэлжлэх нь тодорхой байна. Хүчтэй аномаль бүхий судлыг хөндлөн огтолсон 15 ба 19-р профилийн дагуу хийгдсэн газрын соронзон нэвтрүүлэх чадварын 2D түгэлтийн зураглалаас харахад энэ судал нь доош 200м орчим гүнтэй бүтэцтэй байж болох нь харагдаж байна. Мөн энэ судалд харгалзах газрын үе давхаргын соронзон мэдрэх чадвар нь сөрөг утгатай байгаа нь уг судал диасоронзон шинж чанартай болохыг илтгэж байна. Тиймээс энэ судал нь зэс, мөнгө, алт зэрэг диасоронзон бодис агуулсан байх магадлалтай юм. Жижиг талбайд аномаль геосоронзон орны нарийвчилсан судалгаа хийх нь соронзон шинж чанартай эрдэс бүхий бүтцийг тодорхойлоход үр дүнтэй байж болох юм гэж дүгнэв.

Талархал

Энэхүү судалгааны ажил нь Соронзон судалгааны салбарын суурь судалгааны төслийн санхүүжилт ба Делта-Голд ХХК-тай байгуулсан 03 дугаарт гэрээт ажлын санхүүжилтээр хийгдэв.

Ашигласан номзүй

- Abdelrahman, E.-S. M., El-Araby, H. M., El-Araby, T. M., & Essa, K. S., 2002. A new approach to depth determination from magnetic anomalies, *Geophysics*, **67**(5), 1524–1531.
- Batchuluun, 2004. Report of the exploration project in bor-on-dor and uwur-khooloia field, Tech. rep., Geo-Od LLC.
- Bhattacharyya, B., 1966. Continuous spectrum of the total-magnetic-field anomaly due to a rectangular prismatic body, *Geophysics*, **31**(1), 97–121.
- Blakely, R. J., 1996. *Potential theory in gravity and magnetic applications*, Cambridge university press.
- Gao, G., Kang, G., Bai, C., & Li, G., 2013. Distribution of the crustal magnetic anomaly and geological structure in xinjiang, china, *Journal of Asian Earth Sciences*, **77**, 12–20.
- Gerel, O., Pirajno, F., Batkhishig, B., & Dostal, J., 2021. *Mineral resources of Mongolia*, Springer.
- Ismail, I. S., Saada, S. A., Ali, Y. M., & Ibrahim, Y. M., 2015. An integrated study of gravity and magnetic data to determine subsurface structure and depth to basement in alamein area, western desert, egypt., *International Organization Of Scientific Research (IOSR)*, **3**(6), 11–29.
- Jargalan, S., 2016. Gold resources in Mongolia, *Geology resources*, pp. 89–94.
- Salem, A., Williams, S., Fairhead, J. D., Ravat, D., & Smith, R., 2007. Tilt-depth method: A simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives, *The leading edge*, **26**(12), 1502–1505.
- Shoovdor, T., Genden, B., Nasan-Ochir, T., & Tsoodol, Z., 2023. heat flow losing via earth's surface around of khulj hot spring, *Mongolian Geoscientist*, **28**, 34–41.
- Thompson, D., 1982. Euldp: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data, *Geophysics*, **47**(1), 31–37.
- Ж.Бат-Эрдэнэ, 2021. Чулуут толгой талбайн Алт-Холимог металын хүдэржилт, литохими: элементийн хуримтлал, сарнил, *Геологийн асуудлууд*, **20**(563).
- Т.Биндэрьяа, 1995. Эрэндаваа-Чойбалсангийн дүүрэгт 1:200000 масштабтай геологийн эрэл-зураглалын ажил, Tech. rep., УУГЗ-гайлан-4938.

А. Соронзон хэмжилтийн мэдээлэл боловсруулалтын онол, арга зүй

А.1. Үндсэн соронзон орон ба Жишиг соронзон орон

Дэлхийн үндсэн буюу геосоронзон гэдэг нь цөмд үүсгүүртэй хүчихэг диполийн соронзон орон ба түүний урт хугацааны өөрчлөлтийг нэрлэдэг.

$$\vec{B}_{internal} = \vec{B}_{core} + \vec{B}_{SV} \quad (3)$$

Уг геосоронзон орон нь дэлхийн дурын цэгт бүртгэгдэж нийт соронзон орны 90% гаруйг нь эзэлдэг. Дэлхийн нэгэн төрлийн соронзлогдсон бөмбөлөг гэж үзвэл соронзон орны индукцийн векторын дивергенц тэгтэй тэнцүү гэж үзнэ.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

Тухайн векторын скаляр градиент нь Тэг. 4 байх

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}\Psi \quad (5)$$

ба Тэг. 5-ыг Тэг. 4 орлуулан бичвэл доорх тэгшитгэл гарна.

$$\nabla^2 \cdot \Psi = 0 \quad (6)$$

Тэг. 6 Лапласын тэгшитгэл гэнэ. Ψ -геосоронзон орныг үүсгэгч скаляр потенциал юм. Тэг. 6-ийн шийд нь геосоронзон орныг үүсгэгч скаляр потенциал байна. Дэлхийн үндсэн соронзон орныг судлахад тэгш хэмт чанарт нь тохируулан бөмбөрцөг координатын системийг сонгон авч, дээрх лапласын тэгшитгэлийг боддог. Дэлхийн дурын цэгт тодорхойлогдох скаляр потенциал нь

$$\psi(r, \theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{D_n^m}{r^{n+1}} \left(g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi) \right) P_n^m \cos(\theta) \quad (7)$$

бичигдэх ба

$$\vec{B}_{internal} = \vec{B}_{core} + \vec{B}_{SV} = -\nabla \cdot \psi(r, \theta, \phi, \tau) \quad (8)$$

Энд τ -нь үндсэн орны эриний буюу хэдэн жилээс дээш үетэй хувьсалыг илэрхийлнэ.

Үндсэн соронзон орон ба гадаад үүсгүүр бүхий соронзон орнуудын нийлбэрийг бид хэвийн соронзон орон гэж нэрлэдэг.

$$\vec{B}_{normal} = \vec{B}_{internal} + \vec{B}_{external} = \vec{B}_{core} + \vec{B}_{SV} + \vec{B}_{external} \quad (9)$$

Соронзон орны эриний хувьсалтын ажиглагдахуйц хувьсал нарны циклийн хагас үе гэсэн дөхөлтөд тулгуурлан Дэлхийн гадарга дээрх соронзон хэмжилтийн оргил болон хиймэл дагуулын өгөгдлөөр хэмжилт хийж буй цэгийн скаляр потенциалын утгын g_n^m, h_n^m коэффициентуудыг Олон Улсын Жишиг Соронзон (IGRF) орны загвараар тодорхойлдог. Скаляр потенциал $\psi(r, \theta, \phi)$ нь бөмбөрцөг координатын системд тодорхойлогдох бөгөөд зарим хялбар вектор хувиргалт ашиглан бид соронзон орны ортогональ байгуулагчдыг $\vec{B} = -\nabla \cdot \psi(r, \theta, \phi)$ олдог.

В. Соронзон орны түгэлтийг дүрслэх арга

IDW-интерполяци нь бүх цэгүүдийг хамааруулан дөхөлт хийдэг арга тул манай судалгаанд тохирсон аргачлал гэж үзэж байна. IDW арга нь тухайн туршилтын утга буюу цэгүүдэд харгалзах дөхөлтийн

утга нь бусад бүх туршилтын утгуудыг оролцуулан тооцоолж олдог арга юм. IDW-ийн функционалийг доорх томъёогоор илэрхийлж бичиж болно.

$$\Phi(\varphi, \theta, T) = \left(\sum_{i=0}^N \frac{(T - T_i)^2}{((\varphi - \varphi_i)^p + (\theta - \theta_i)^p)} \right)^{1/p} \quad (10)$$

N-нийт цэгийн тоо, φ_i -тухайн хэмжилт хийгдсэн цэгт харгалзах уртраг, θ_i -нь харгалзах өргөрөг, T_i -тухайн цэгт харгалзах хэмжигдсэн аномаль орны утга, p-зэрэг ба бидний тохиолдолд p=2 гэж үзэж болно. T-нь уг интерполиацаар олох функц. Тэг. 10-тэгшитгэлд бичигдсэн IDW- функционалийн минимум байх нөхцөлөөс T-функцийг утгыг олно. Үүнийг доор бичив.

$$\frac{\partial \Phi(\varphi, \theta, T)}{\partial T} = \frac{\partial}{\partial T} \left(\sum_{i=0}^N \frac{(T - T_i)^2}{((\varphi - \varphi_i)^p + (\theta - \theta_i)^p)} \right)^{1/p} \quad (11)$$

Товчоор хэлбэл бидний энэ тохиолдолд Тэг. 11-т бичигдсэн нөхцөлийг хангах T-ийн утгыг олж байна гэсэн үг юм.

С. 2D соронзон инверсийн анатоми

С.1. Шууд бодлого

Шугамын дагуух хавтгай (х- шугамын дагуух хэвтээ чиглэл, z- гүн) M соронзжилттой n ширхэг призмд хувааж 2-D загварыг авч үзвэл, соронзон орны респонс нь гүний j –дэхь дугаарын призмийн үүсгэх гаж соронзон орон байдаг.

$$d_j^{res} = \sum_{i=1}^M \sum_{l=1}^n (\hat{f}_x B'_x + \hat{f}_z B'_z)_i \quad (12)$$

Энд d_j^{res} –нь призмээс P цэгт ажиглагдах соронзон респонсийн утга, $\hat{f}_x$ ба $\hat{f}_z$ –нь дэлхийн соронзон орны байгуулагчид ба мөн B'_x ба B'_z - нь 2-D загварт авч үзэж буй хавтгайн соронзон орны хэвтээ ба босоо байгуулагчид.

$$B'_x = -2\beta M n \log \frac{r_2}{r_1}, B'_z = -2\beta M n \log \frac{\theta_1}{\theta_2} \quad (13)$$

r_1, r_2 ба θ_1, θ_2 – нь үүсгүүрээс ажиглалтын цэг хүртэлх зай ба хазайлтын өнцөг. M –нь соронзжилт ба n нэгж вектор нь хавтгайд үргэлж нормаль байна. Тэг. 12 –ийг матриц хэлбэрээр бичвэл:

$$d = G(m) \quad (14)$$

Энд $d \in \mathbb{R}^N$ –нь ажиглагдсан өгөгдлийн N урттай вектор, $G \in \mathbb{R}^{N \times M}$ –нь шууд бодлогын оператор ба $m \in \mathbb{R}^M$ –нь загварын үл мэдэгч буюу физик параметр (призмын соронзон мэдрэх чадвар) агуулсан вектор. Шууд бодлогын оператор буюу G матрицын аналитик гаргалгаа (Тэг. 14) байна.

С.2. Урвуу бодлого

Геофизикийн урвуу бодлого нь бүгд шугаман бус тэгшитгэлд хамаарах тул (Тэг.14) –аас параметрийг Гаусс-Ньютоны хэлбэрээр бичвэл:

$$m = m_0 + \Delta m \quad (15)$$

$$\Delta m = [J^T W]^{-1} J^T W (d - G(m_0)) \quad (16)$$

Энд m – загварын параметр (соронзон мэдрэх чадвар), Δm – итерацийн тоогоор сайжрах загварын параметр, m_0 – нь анхдагч загвар ба J – нь Якобын гэж нэрлэдэг загварын нарийвчлалын матриц.

$$J_{ij} \frac{\partial G_i}{\partial m_j} \quad (17)$$

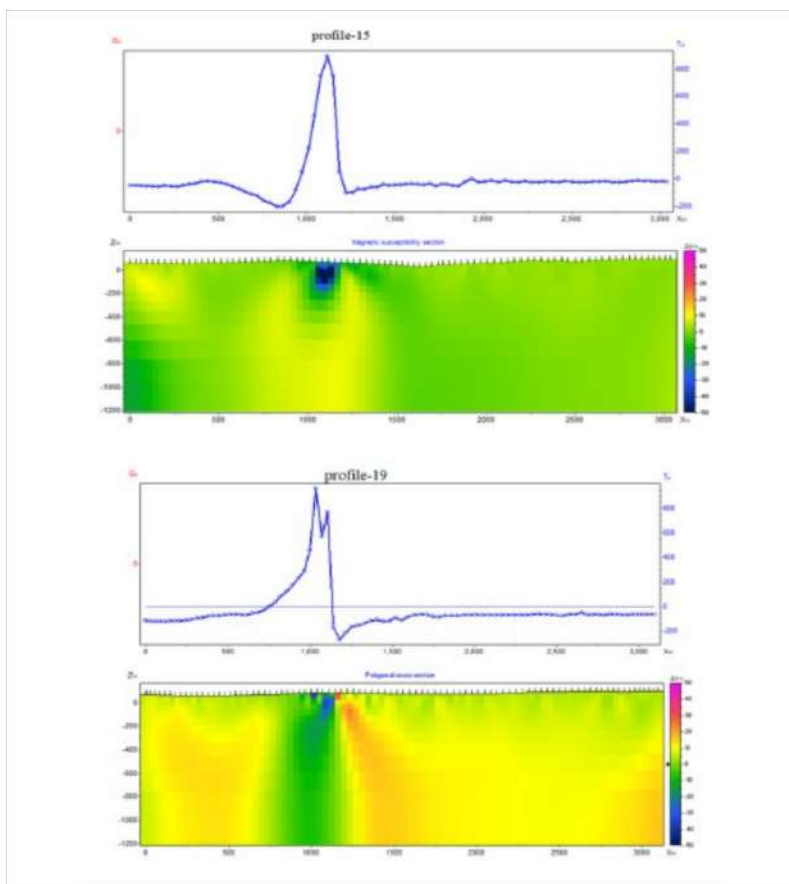
Левенберг-Маркуард (ЛМ) алгоритмыг Гаусс-Ньютоны хэлбэрийн функцийн минумчлалд бичвэл: Минумчлах обьектив функц F –нь

$$F = (d - g(m_0 + \Delta m)) + \lambda \|\Delta m\|^2 \quad (18)$$

$$\Delta m = [J^T W J + \lambda \text{diag}(J^T W J)]^{-1} J^T W (d - G(m_0)) \quad (19)$$

Энд λ – нь загварын алдааны төвшинг зохицуулах регуляцын параметр, тухайн параметр нь бага байвал, минумчлалын бодлогыг Гаусс-Ньютоны аргад шилжинэ Тэг. 16. Тиймээс ЛМ алгоритмд λ параметрийн анхны утгыг ихээр авдаг. Хэрэв давталтын дараа λ –ын утга өмнөх утгаас ихэссэн бол анхдагч загвар алдаа ихтэй байна гэж үзнэ.

С.3. Шугамын зүсэлтүүд



Зураг 7. 15 ба 19-р профилийн дагуу аномаль орны түгэлт, дараагийн хэсэгт уг оронд харгалзах газрын соронзон нэвтрүүлэх чадвар ба гүний хамаарлын 2D зураглалыг үзүүлэв.