

Gravity investigation in the Ikh Bogd fault

Buyantogtokh Bazar^{1*}, Battogtokh Davaasambuu¹, Nyambayar Tsend-Ayush¹, Dorjdavaa Myagmar¹, and Buyankhishig Gantumur¹

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

*buyantogtokh@iag.ac.mn, 

Received: 2024-10-15, Accepted: 2024-12-25,

<https://doi.org/10.5564/mjag.v11i1.4242>

Abstract

On December 4, 1957, a moment magnitude (M_w) 8.1 earthquake generated approximately 270 km of surface rupture along the Ikh Bogd Fault, situated within the Gobi-Altai Mountain Range. As part of the research initiative titled “Methodology for Determining Parameters of Active Faults That Are Not Visible on the Surface”, a gravity survey was conducted at three strategically selected sites: Site 1 – Toromkhon Sair, Site 2 – Dalanturuu Foreberg, and Site 3 – Builsnii Zadgai Sair, all located in proximity to the Ikh Bogd Mountain. Gravimetric data acquired from these sites facilitated the delineation of subsurface geological boundaries and enabled the identification of fault continuations that are not visible on the Surface. Bouguer anomaly data are analyzed at the three sites to investigate features of the active fault zones, including continuity, segmentation, and faulting type. Several derivatives and structural parameters derived from the gravity gradient are applied to enhance the visibility of these features. In particular, the first horizontal and vertical derivatives, together with the normalized total horizontal derivative, effectively characterize the continuous subsurface fault structures along the fault zone.

Keywords: Gravity study, active faults, Gobi-Altai fault, Bouguer anomalies

1. Удиртгал

1957 оны 12-р сарын 04-ны өдөр Говь-Алтайн нуруунд M_w 8.1 хүчтэй газар болж газрын гадаргууд 270 км урт үргэлжилсэн хагарал үүссэн (Bobrov et al., 1959; Choi et al., 2012).

“Газрын гадаргууд илэрцгүй идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлох арга зүй” суурь судалгааны төслийн хүрээнд Говь-Алтайн гол хагарлын зүүн жигүүр Их Богд уулын орчимд Торомхоны сайр, Далантүрүү, Бүйлсний задгай сайр гэсэн гурван талбайд хүндийн хүчний судалгаа хийж гүйцэтгэсэн.

Судалгааны ажлын зорилго нь тодорхой хэмжээнд сайн судлагдсан хагарал дээр геологийн болон хүндийн хүчний судалгаа хийж, газрын гадаргууд илэрцгүй идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлох арга зүйг боловсруулах юм.

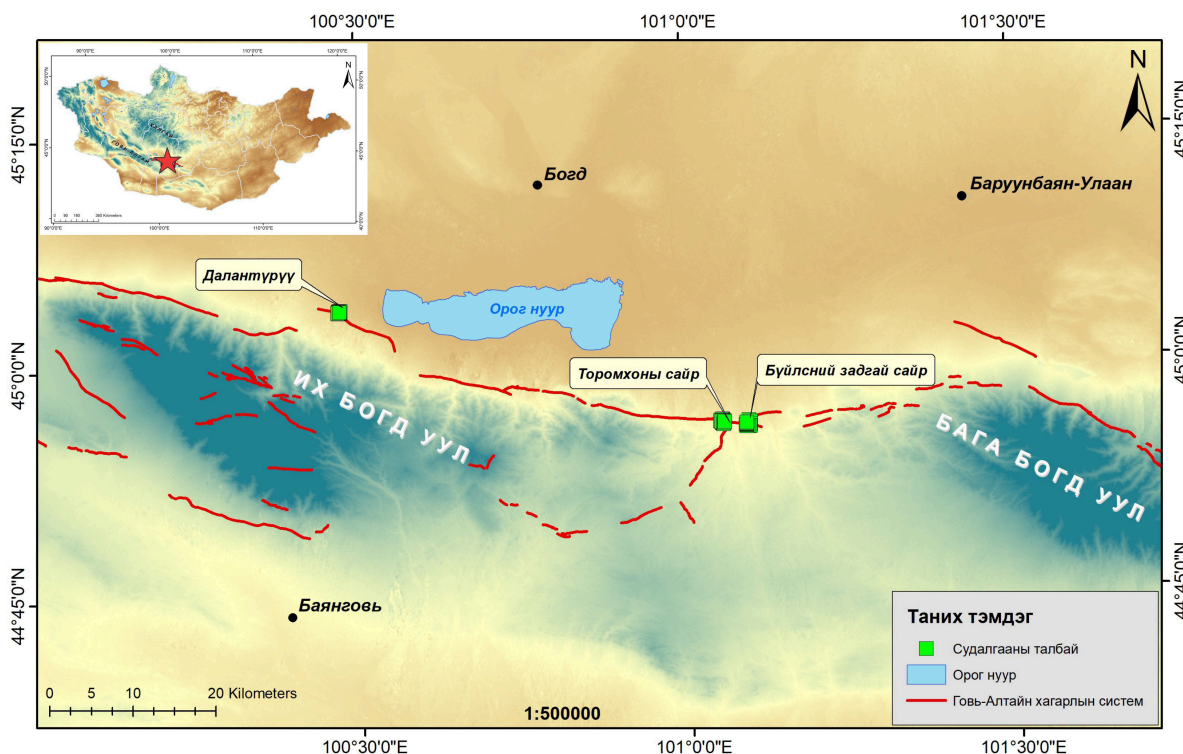
2. Судалгааны талбай

Судалгааны талбай Баянхонгор аймгийн Богд сумын төвөөс урагш 40-60км зайтай оршино (Зураг.1). Өмнөх судлаачид Их Богдын хагарал дээр геологийн судалгаа нилээдгүй хийсэн байдаг. Иймээс уг талбайг сонгон ажилласан болно.

2.1 Геологийн тогтоц

Судалгааны талбайд хожуу протерозойгоос хожуу дөрөвдөгчийн настай төрөл бүрийн хурдас чулуулаг тархсан байдаг.

Их Богд уулыг бүрдүүлэгч гол чулуулаг нь цэрд, юрагийн настай элсэн чулуу, алеврит, тэдгээрийн хөрзөн зонхилох ба мезозойн эдгээр чулуулаг пермийн настай интрузив чулуулгаар зүсэгддэг. Их Богдын нурууны хойд хэсэгт Их Богдын хагарал юрагийн настай хурдасны хил зааг буюу мезозойн хагарлыг зонхилон дагадаг.



Зураг 1. Судалгааны талбайн байршил: ногоон дөрвөлжингөөр судалгааны талбай, улаан зураасаар Их Богдын хагарлыг тэмдэглэв.

Их, Бага Богдын хойд талын Орог нуурын хөндийд неогены болон хожуу дөрөвдөгчийн шаварлаг, элсэрхэг, хайргархаг хурдас өргөн тархсан (Badarch et al., 2002).

Говь-Алтайн нуруу нь Монгол Алтайн нуруу болон Төв Азийн олонх уулсын адилаар Энэтхэг-Евроазийн хавтангуудын шахалтын нөлөөгөөр үүссэн гэж судлаачид үздэг (Molnar & Tapponnier, 1975; Tapponnier & Molnar, 1979).

Говь-Алтай болон Гурван Сайханы уулс нь Кайнозойн үед үүссэн хэд хэдэн томоохон цувраа байрлалтай, шилжилттэй хагарлуудын механизмаар өргөгдсөн цулдам блокууд юм (Cunningham et al., 1996).

Тэдгээр хэвтээ шилжилттэй хагарлууд нь чиглэл, хэмжээ, зүүн-гарын шилжилт зэргээрээ Хятадын нутаг дэвсгэр дээрх Кунлун, Алтын Таг, Монголын Булнай гэх мэт хагарлуудтай төстэй байдаг (Baljinnyam, 1993).

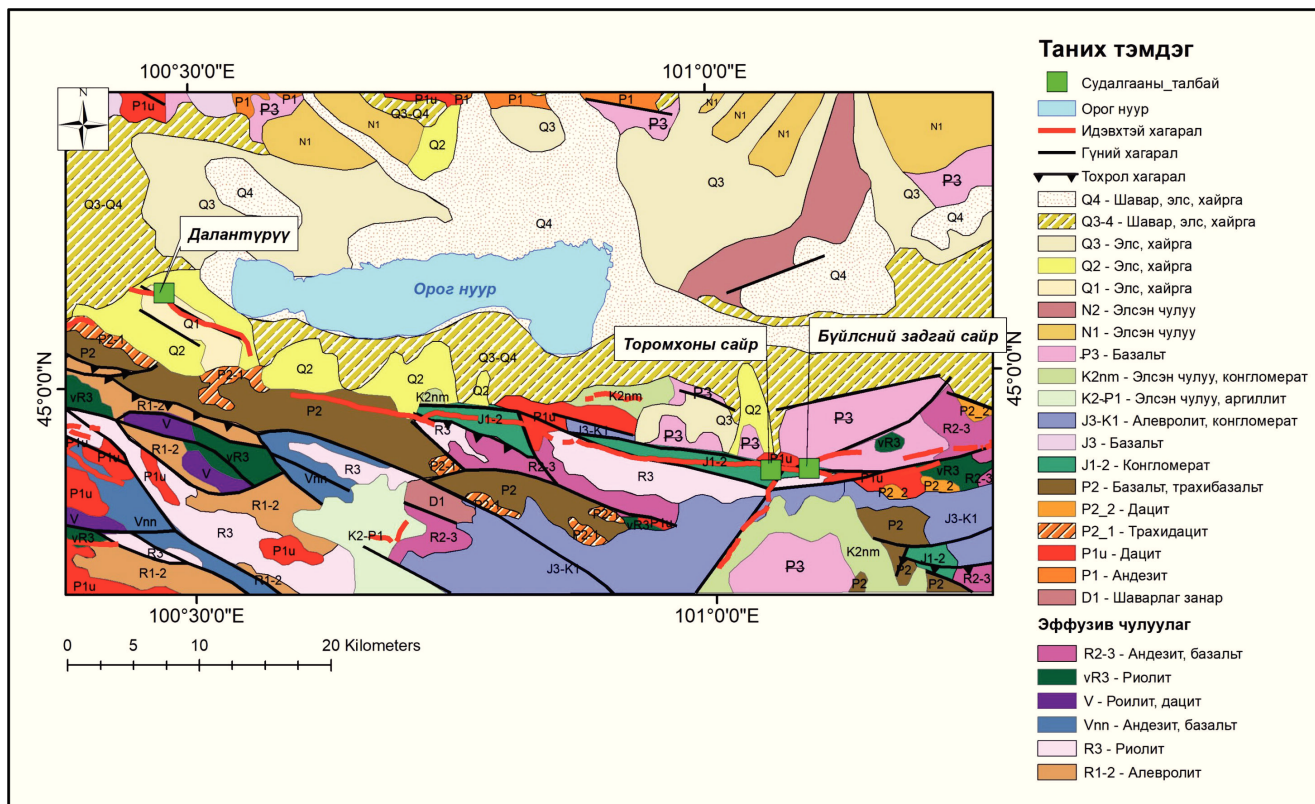
Говь-Алтайн нурууны Их Богд хагарлын дагууд шилжсэн аллювын хурдсанд хийгдсэн 10Be нас тогтоох судалгаагаар Зүүн Богд хагарлын шилжилтийн хурд $0.5\text{-}1.2\text{мм/жил}$ гэж тодорхойлсон (Ritz et al., 1995; Owen et al.,

1999; Ritz et al., 2003; Vassallo et al., 2005) бол Баруун Богд хагарал дээрх дундаж шилжилтийн хурдыг $0.7\pm 0.2\text{мм/жил}$ гэж тодорхойлсон (Kurtz et al. 2018).

Уул өргөгдлийн босоо шилжилтийн тухайд $0.25\text{-}1.0\text{мм/жил}$ гэж тодорхойлсон (Vassallo et al., 2007) бөгөөд энэ тоон утга нь хөрш зэргэлдээх бусад хагарлууд дээр хэмжигдсэн дээд плейстоцены босоо шилжилтээс бага зэрэг өндөр байдаг.

Энэ бүс нутгийн уулсын сүлжээ, газрын гадаргуугийн хэв маяг дээр дурдагдаж буй хагарлуудын тархац, геометр, кинематиктай салшгүй холбоотой нь тодорхой юм.

Их Богд болон Бага Богдын нуруу хойд бэлээрээ огшил бүрэлдэхүүнтэй, зүүн-гарын хэвтээ шилжилттэй хагарлаар хүрээлүүлж, урд бэлдээ, цэвэр огшил хагарлаар хүрээлүүлж, өргөгдөнө (Kurushin, 1997; Cunningham et al., 1996; Cunningham, 1998; Ritz et al., 2003). Гурван Богдын нуруу хөрш зэргэлдээх Орог нуурын хөндий болон Алтайн өвөр говийн хөндийгөөс 2000 метрээс дээш өндөрт өргөгдсөн байдаг (Зураг. 2).



Зураг 2. Геологийн зураг М 1:500 000 (Tumurtoogoo et. al., 1998)

2.2. Талбайн судалгаа

Говь-Алтайн нуруунд болсон магнитуд 8.1 хүрсэн хүчтэй газар хөдлөлтөөр газрын гадаргууд ~270 км хагарал үүсэж, хамгийн ихдээ 6-7 м зүүн-гарын хэвтээ шилжилт, 2-3 м босоо шилжилт үүссэн (Курушин нар, 1997; Чой нар, 2012).

Их Богдын газар хөдлөлт бол 20-р зуунд дэлхийн хэмжээнд эх газар дээр болсон сүйрүүлэх хүчтэй газар хөдлөлтүүдийн нэгд зүй ёсоор тооцогддог. Энэ газар хөдлөлт болсноос хойш 67 жил өнгөрсөн боловч Монгол орны Говийн эрс тэс, хуурай, хур тунадас багатай цаг агаарын нөхцөлд хагарлын морфолог бараг хэвээрээ өдий хүртэл хадгалагдсан. Гэвч Говь-Алтайн уулсын зарим хөндийд үүссэн хагарлын мөргөцгүүд бороо болон цасны усны урсгалаар угаагдаж хэдийнээ бүрэн арилсан байдаг.

Талбай 1: Торомхоны сайр

Газарзүйн байрлал: N44°56'14.8", E101°03'12.8"

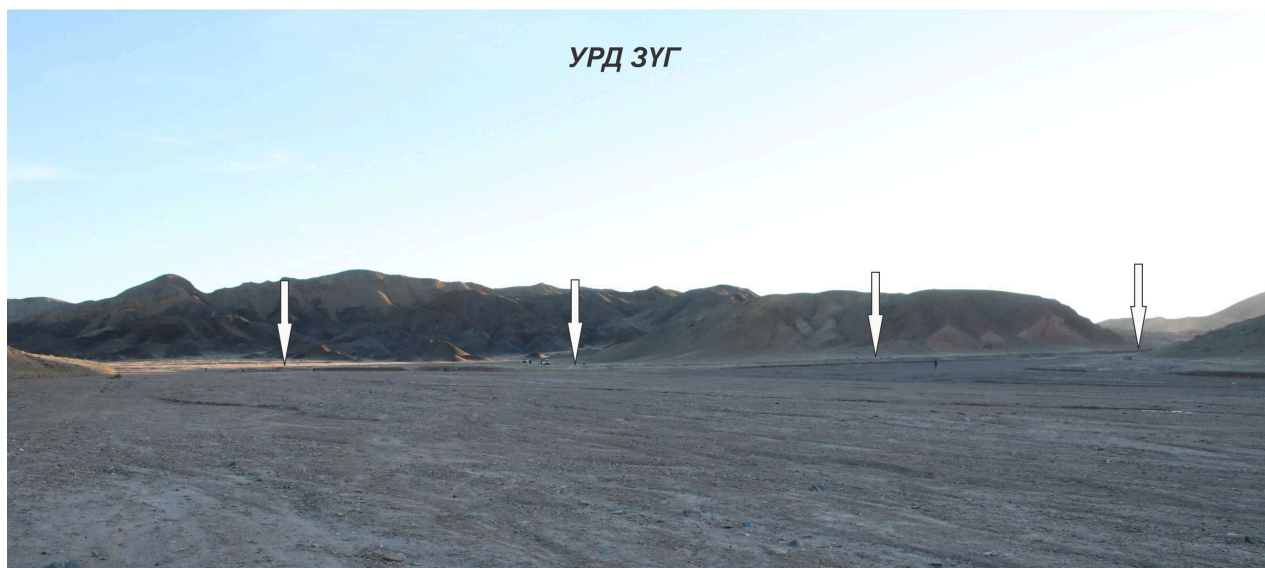
Торомхоны сайраар хөндлөн гарч байгаа хагарлын хувьд зүүн талын гол урсаж байгаа хэсэг, мөн баруун талын зам явж байгаа хэсгийн мөргөцгүүд бүрэн тэгширсэн байна (Зураг 3).

Судлаач геологич Флоренсов болон Солоненко нар Их Богдын газар хөдлөлтийн дараа 1958 оны 12-р сарын сүүлээр талбайд ирэхэд, хагарлын мөргөцөг шинээрээ, урд талын блок 1.7 м өргөгдсөн байсан гэж тэмдэглэсэн (Bobrov et al., 1959).

Дээрх газарзүйн байрлал тодорхойлсон цэгт бол шугаман суналтай 1-1.5 м орчим өндөртэй хагарлын мөргөцөг бүрэн угаагдаагүй хадгалагдан үлдсэн байна. Торомхоны хөндийд хагарлын урд талын блок өргөгдөж, зүүн-гар шилжсэн (Зураг.3).

Газарзүйн байрлал: N44°56'16.2", E101°03'04.5".

Торомхоны сайрын баруун талын хадан гарш. Суналын азимут нь зүүн хойшоо 80°,



Зураг 3. Торомхоны сайр (хойноос урагшаа авсан зураг). Зүүн талын хөндийд байнгын урсгалтай жижиг горхи урсдаг. Баруун талын хөндий бороо цасны усны түр зуурын урсгалтай. Энэ хоёр хөндийд үүссэн хагарлын мөргөцөг угаагдаж арилсан. Хагарлын мөргөцгийн ул мөрийг сумаар зааж тэмдэглэсэн болно. Зургийг Д.Баттогтох.



Зураг 4. Бүйлсний задгай сайр (баруунаас зүүн зүг рүү авсан зураг). Улаан ягаан өнгийн неогены хурдас хар өнгөтэй үндсэн чулуулагтай (туфф) хагарлаар хиллэдэг. Хагарлын мөргөцгийг сумаар зааж тэмдэглэсэн болно. Зургийг Д.Баттогтох.

унал нь бараг эгц босоо, хагарлын хавтгайн шилжилтийг илэрхийлэх тодорхой харагдах шинж тэмдэг ажиглагдаагүй.

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}56'10.2''$, $E101^{\circ}03'42.4''$.
Усан сувгийн 5 м зүүн-гарын шилжилттэй.

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}56'15.8''$, $E101^{\circ}03'25.5''$.
Хагарлын хойд талын блок дээрх диорит, шүлтлэг интрузивын хадан гарш.

Торомхоны хөндийн баруун талын Дулаан Богд уулын зүүн хойд бэлээр хагарал шулуун үргэлжилдэг. Тэнд хагарлын механизм нь цэвэр зүүн-гарын хэвтээ шилжилттэй ба босоо шилжилт хэмжигдээгүй.

Талбай 2: Далантүрүү фореберг

Газарзүйн байрлал: $N45^{\circ}03'47.5''$, $E100^{\circ}28'20.2''$.

Тохрол хагарал гэж үзэж, хагарлын хавтгай, уналын өнцөгтэй структур гаргахаар георадар, сейсмик, гравиметр, соронзонгийн хэмжилт хийсэн.

Талбай 3: Бүйлсний задгай сайр (Торомхоны хөндийн зүүн талын хөндий)

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}55'59.5''$, $E101^{\circ}05'40.9''$.

Салбар хагарлаар өргөгдөж гарч ирсэн Pop-Up структур.

Энэ бэсрэг Толгойн урд болон хойд талаар хагарал (1957) тод илэрцтэй харагддаг. Бэсрэг Толгой нь неогений тунамал хурдаснаас бүрэлдсэн ба хоёр талаар гарсан жалганаас неогены хурдас цухуйж байгаагаар баталгаажна. Гэвч Толгойн зүүн урд хэсэгт бага хэмжээний шохойн чулуун гарш хагарал дагаж байршина. Энэ шохойн чулуу нь хаанаас зөөгдөж ирсэн нь тодорхойгүй.

Хагарлын урд талын блокод байрлах хар өнгөтэй үндсэн чулуулаг нь Торомхоны хөндийн хагарлын урд блокод илэрсэн үндсэн чулуулагтай ижил галт уулын туфф ба бага зэрэг соронзон шинж чанартай чулуулгаас бүрдэнэ.

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}55'59.9''$, $E101^{\circ}05'54.6''$.
5 м зүүн-гарын шилжил.

Газар зүйн байрлал: $44^{\circ}56'10.5''2$, $010^{\circ}15'1E.3''$.

Торомхоны хөндийн зүүн талд бэсрэг уулын хөтөл дээр, хагарлаас хоёр тийш буулгасан хэсгийг Зураг.4.-д харуулав. Хагарлын сунал баруун хойш 80° .

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}56'10.0''2$ $E101^{\circ}15'01.0''$.

Неогены тод улаан өнгөтэй хурдас ба хар өнгөтэй үндсэн чулуулгаас (туфф) бүрдэх уулын хил зааг.

Неогены улаан өнгийн энэ давхарга баруун талын Торомхоны хөндийн аманд илэрцтэй. Конгломератын нарийн үе агуулсан, тод улаан өнгөтэй, бутрамтгай сэвсгэр хурдас бүхий энэ давхарга Торомхоны хөндийн амнаас зүүн урагшаа суналтай үргэлжилсээр Торомхоны зүүн талын хөндийд илэрч, хагарлаар тасалдаж, хар өнгөтэй үндсэн чулуулагтай хиллэдэг (Зураг .4).

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}56'00.2''$, $E101^{\circ}05'27.9''$.

Хагарлын урд талын блок 1 м өргөгдсөн. Хагарлын урд блок хар өнгөтэй үндсэн чулуулагаас, хойд блок неогены тунамал хурдаснаас бүрдэнэ.

Газарзүйн байрлал: $N44^{\circ}55'59.9''$, $E101^{\circ}05'31.6''$.

Энэ цэгээс хагарал зүүн тийшээ 2 салаалж, хөндийг огтолдог.

3. Судалгааны арга зүй

Гравиметрийн судалгаа нь олон жилийн туршид геологийн биетийн хил зааг болон бүтцийг тодорхойлоход ашиглагдаж ирсэн (Cooper & Cowan, 2006; Toushmalani, 2010).

Мөн гравиметрийн аргаар гүн болон хэмжээгээрээ өөр, гүний царцдасны блокууд, мөн гадаргууд ойр хүдрийн биетүүдийн геологийн бүтцийг тодорхойлох судалгаанд хэрэглэдэг (Kusumoto, 2017; Xu et al., 2015).

Буге гажлын региональ утгын томоохон өөрчлөлт нь Дэлхийн царцдасны зузааны өөрчлөлтөөс эсвэл ихээхэн хэмжээний холимог шинжийн массаас хамааралтай байдаг бол хүндийн хүчний локаль гажлын утга нь гадаргууд ойрхон холимог шинжийн

массаас хамаарна. Сөрөг гажлын утгаар тунамал хурдсаар дүүргэгдсэн бассейнууд, давсны хотгорууд (бүүнхэрүүд), боржингийн биетүүд болон грабен хэлбэрийн хагарлууд ялгарч харагдана.(Wada et al., 2017).

Гадаргуугийн шугаман бүтцийн талаар илүү тодорхой мэдээлэл авах, суурь чулуулгийн нөлөөг багасгах зорилгоор үлдэгдэл гажлыг ялгасан. Геологийн биетийн хил зааг тодорхойлох, үндсэн хагарлын байршлыг тогтоохын тулд судалгааны талбайг хөндлөн зүссэн шугамын дагуу 1-р эрэмбийн уламжлал болон хэвтээ, босоо градиентыг бодож гаргасан (Matsumoto et al., 2016).

3.1. Хээрийн хэмжилт

Талбайн болон шугаман гравиметрийн аргачлалыг хослуулан хээрийн хэмжилтийг стандарт аргачлалын дагуу CG5 гравиметр багажаар хийж гүйцэтгэсэн.

Гравиметрийн хээрийн хэмжилтийн утгыг нэг түвшинд оруулахын тулд тулгуур цэгүүдийг Баянхонгор аймгийн Богд сумын төвөөс урагш 7 км зайд байрлах Улсын гравиметрийн 2-р ангийн цэгтэй холболтын хэмжилтийг хийж хийсэн.

Хагарлын орчимд дараах дарааллын дагуу хэмжилтийг хийсэн бөгөөд ажил эхлэхээс өмнө талбайд бэлтгэл ажлыг хангасан. Үүнд:

- Геологийн болон чулуулгийн нягтын мэдээлэл цуглуулах
- Хээрийн хэмжилтийн төлөвлөлт хийх
- Төлөвлөсөн зургийн дагуу хээрийн хэмжилтийн талбайтай танилцах
- Судалгааны талбай дээр багажийн тэг гулсалтыг уншуулж, тодорхойлох
- Хэмжилтийн утгыг нэг түвшинд оруулахын тулд тухайн талбайд ойр байрлах гравиметрийн сүлжээний цэгийг судалгаа хийх
- Өдөр тутмын хэмжилтийн утгыг хянахын тулд тулгуур цэгийг байгуулах

Хэмжилтийн аргачлал:

- Хагарлын шугамыг хөндлөн огтолсон байхаар тооцож хэмжилтийн шугамыг байгуулсан.
- Хагарал бүр дээр хөндлөн огтолсон 2-4 шугамын дагуу хэмжилтийг хийсэн.
- Хэмжилтийн шугамыг гадаргуу дээр ил гарсан, эсвэл илэрцгүй далд хэсгийг дайрч байхаар тооцож төлөвлөсөн.

3.2. Мэдээлэл боловсруулалт

Анхан шатны болон эцсийн шатны боловсруулалтаас гарсан үр дүнг геологийн болон бусад геофизикийн аргачлалуудтай харьцуулан тайлал хийгдэнэ.

Анхан шатны боловсруулалтын явцад Oasis montaj программ ашиглан таталцал, түлхэлт, тэг гулсалт, чөлөөт агаарын засвар, томографын засвар зэрэг засваруудыг хийж, хүндийн хүчний утгыг тодорхойлсон ба эцсийн шатны боловсруулалт хийхэд бэлдсэн.

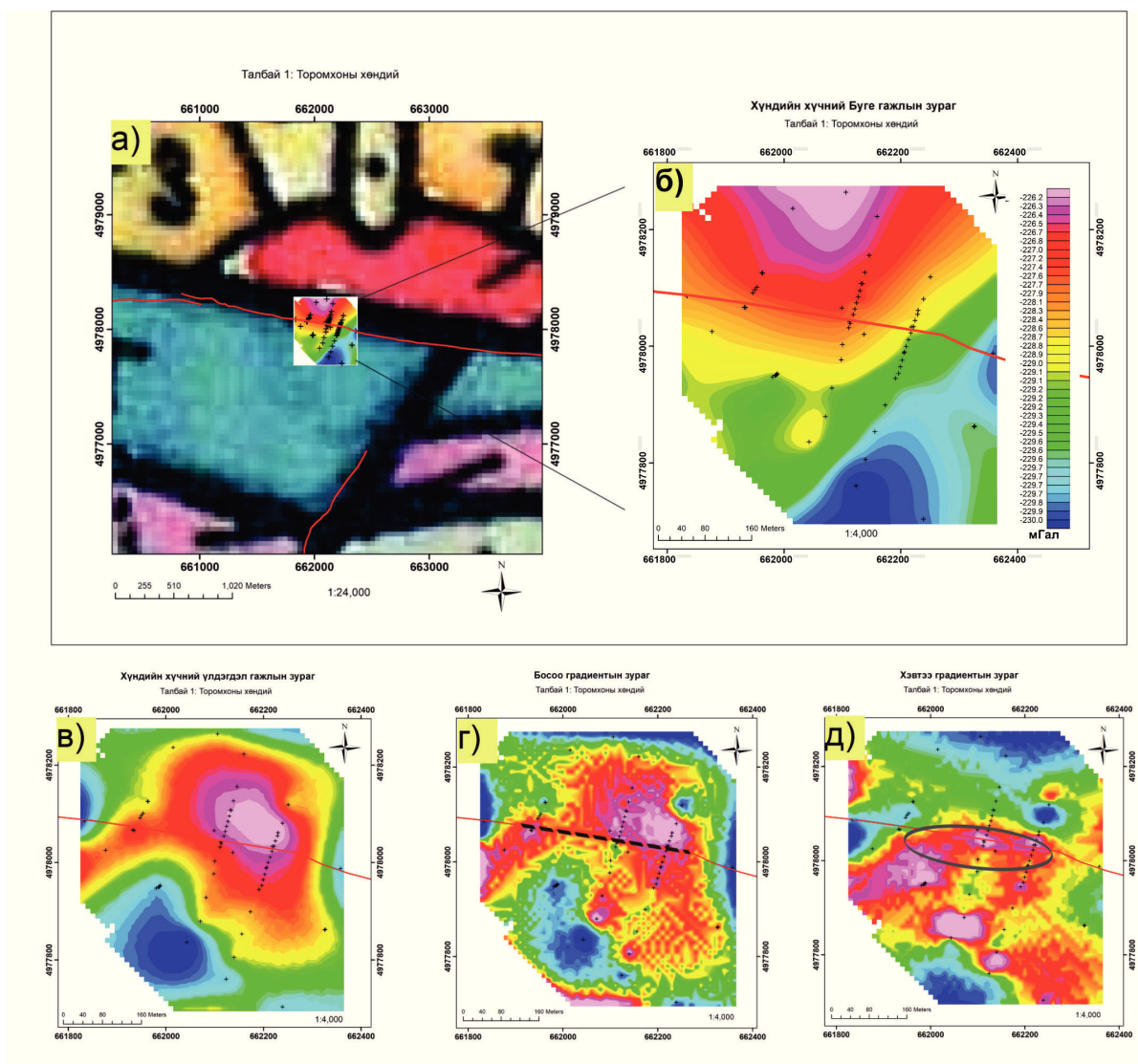
Эцсийн шатны боловсруулалтаар Буге гажлын утгаас региональ утгыг хасаж, үлдэгдэл гажлын утгыг ялгасан ба шүүлтүүрийн анализаар геологийн биетийн хил зааг болон хагарлын үргэлжлэлийг тодорхойлсон.

4. Судалгааны үр дүн

4.1. Торомхоны хөндий

Талбайн хэмжээнд 2 шугамын дагуу болон эргэн тойронд талбайд зураглал гаргах үүднээс 9 цэгт гравиметрийн хэмжилтийг хийж цэг тус бүрд хүндийн хүчний утгыг тодорхойлсон.

Хүндийн хүчний Буге гажлын зураг (Зураг. 5б) болон үлдэгдэл гажлын зургийг зохиосон (Зураг. 5в). Хүндийн хүчний Буге гажлын зургаас харахад талбайн хойд хэсэгт өндөр нягт бүхий хэсэг ажиглагдах ба геологийн биетийн хил зааг тодорхой ялгарч харагдаж байна (Зураг. 5б). Үлдэгдэл гажлын зургаас босоо болон хэвтээ градиентын зураг гарган авсан (Зураг. 5г,д).



Зураг 5. Талбай 1: а) Геологийн зурагтай давхцуулсан байдал, б) Хүндийн хүчний Буге гажлын зураг, в) Хүндийн хүчний үлдэгдэл гажлын зураг г) Босоо градиентын зураг, хар тасархай зураасаар хагарлын чиглэл болон байршлыг тэмдэглэв, д) Хэвтээ градиентын зураг: саарал зуувангаар эвдрэлийн бүс явагдсан хэсгийг тэмдэглэв.

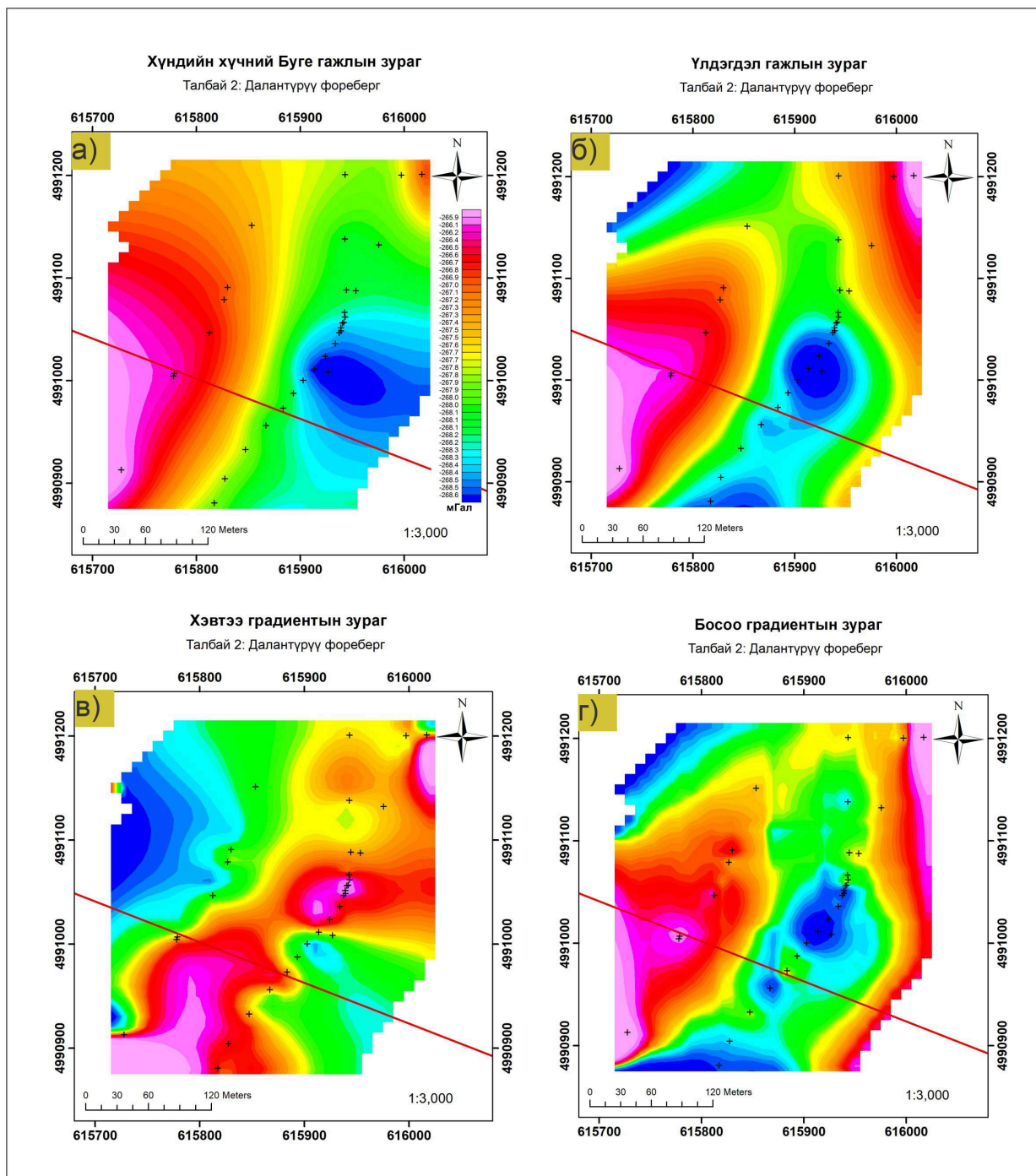
Хэвтээ градиентын зургаас харахад хоёр өөр орчны заагийн захаар үндсэн хагарал дайрч, үндсэн хагарлаас урагш байрласан хэсэгт эвдрэлийн бүс явагдсан байна (Зураг. 5г). Босоо градиентын зураг дээр хоёр өөр орчны дундуур дайрч үндсэн хагаралтай давхцаж байгаа нь хагарлын чиглэл, байршлыг тодорхой харуулж байна (Зураг. 5.д).

4.2. Далангүрүү фореберг

Тухайн талбайн хүндийн хүчний зургаас харахад баруун хэсэгт нягт бүхий, харин зүүн урд хэсэгт нягт багатай геологийн биетүүд

ажиглагдах (Зураг. 6а) ба хүндийн хүчний үлдэгдэл гажлын зураг дээр талбайн зүүн урд хэсэгт зүүн хойноос баруун урагш чиглэлд өөрчлөлттэй харагдаж байна (Зураг.6б)

Тухайн геологийн орчин нэгэн төрлийн учир хагарлыг ялгахад хүндрэлтэй байсан. Үүнтэй холбоотойгоор босоо болон хэвтээ градиентын зургууд дээр хагарлын чиглэл болон байршил тодорхой харагдахгүй байгаа учраас энэ талбайн хувьд уг судалгаагаар тодорхой үр дүн гараагүй гэж үзсэн (Зураг. 6.в,г).

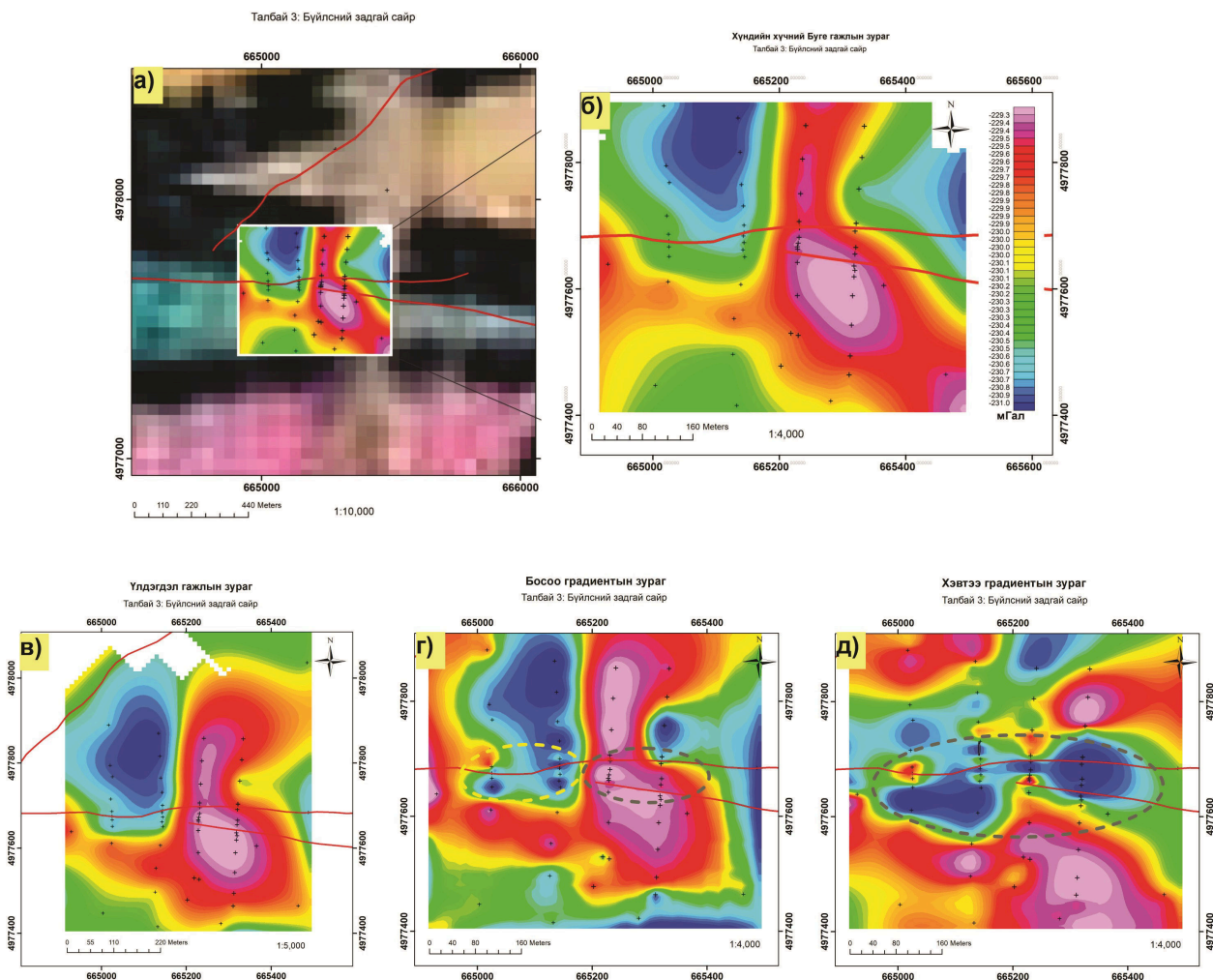


Зураг 6. Талбай 2: а) Хүндийн хүчний Буге гажлын зураг, б) Үлдэгдэл гажлын зураг, в) Хэвтээ градиентын зураг, г) Босоо градиентын зураг.

4.3. Бүйлсний задгай сайр

Уг талбайн хүндийн хүчний Буге гажлын зургаас харахад талбайн зүүн урд хэсэгт сөрөг гажил, талбайн төв болон хойд хэсгээр эерэг гажлын нягтралын бүс ажиглагдах ба геологийн зурагтай харьцуулахад үндсэн хагарал нь литологийн хил заагийн дагуу дайрч гарсан байна. (Зураг. 7а,б)

Мөн үлдэгдэл гажлын зургаас харахад литологийн хил зааг тодорхой ялгарч байна (Зураг. 7в). Босоо болон хэвтээ градиентын зургаас авч харахад энэ талбайд хагарлын илэрцгүй хэсэг хөх өнгөөр, хагарлын илэрцтэй хэсэг нь ягаан өнгөөр харагдаж байгаа бөгөөд хэвтээ градиентын зураг дээр эвдрэлийн бүс үндсэн хагарлын шугамтай давхцаж харагдаж байна (Зураг. 7г,д).



Зураг 7. Талбай 3: а) Геологийн зурагтай давхцуулсан байдал, б) Хүндийн хүчний Буге гажлын зураг, в) Хүндийн хүчний үлдэгдэл гажлын зураг г) Босоо градиентын зураг: шар зуувангаар илэрцгүй хэсэг, саарал зуувангаар илэрцтэй хэсгийг тэмдэглэв. д) Хэвтээ градиентын зураг: саарал зуувангаар эвдрэлийн бүс явагдсан хэсгийг тэмдэглэв.

5. Дүгнэлт

Энэ судалгааны ажлаар геологийн талаас тодорхой хэмжээнд сайн судлагдсан хагарал дээр гүйцэтгэсэн гравиметрийн судалгааны үр дүнд газрын гадаргууд илэрцгүй идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлох арга зүйг боловсруулж, үр дүнг геологийн мэдээлэлтэй харьцуулан дараах дүгнэлт гаргав. Үүнд:

- Буге гажлын зураг дээр геологийн биетийн хил заагийг нарийн ялгаж харуулсан
- Хэвтээ градиентын зургаас хагарлын дагуух эвдрэлийн бүсийг ялгасан

- Гадаргууд илэрцгүй хагарлын үргэлжлэлийг тодорхойлсон болно.

Цаашид тухайн талбайд хийсэн геофизикийн бусад аргуудын үр дүнтэй харьцуулан энэ арга зүйг сайжруулах ажил хийгдэнэ.

Талархал

Энэ судалгааны ажлыг ШУТБИХХЗГ-2022/147 дугаартай “Газрын гадаргууд илэрцгүй идэвхтэй хагарлын параметруудийг тодорхойлох арга зүй” суурь судалгааны төслийн хүрээнд хийсэн ба хамтран ажилласан судалгааны багийн хамт олонд талархал илэрхийлье.

Ашигласан номзүй

- Badarch, G., Cunningham, W. D., & Windley, B. F., 2002. A new terrane subdivision for mongolia: implications for the phanerozoic crustal growth of central asia, *Journal of Asian Earth Sciences*, **21**(1), 87–110.
- Baljinnyam, I., 1993. *Ruptures of major earthquakes and active deformation in Mongolia and its surroundings*, vol. 181, Geological Society of America.
- Bobrov, B., Baldan, O., & Marinov, N., 1959. Gobi-altai earthquake, Tech. rep., Russian Academy of Sciences.
- Choi, J.-H., Jin, K., Enkhbayar, D., Davvasambuu, B., Bayasgalan, A., & Kim, Y.-S., 2012. Rupture propagation inferred from damage patterns, slip distribution, and segmentation of the 1957 mw8. 1 gobi-altay earthquake rupture along the bogd fault, mongolia, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **117**(B12).
- Cooper, G. & Cowan, D., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase, *Computers & Geosciences*, **32**(10), 1585–1591.
- Cunningham, W. D., 1998. Lithospheric controls on late cenozoic construction of the mongolian altai, *Tectonics*, **17**(6), 891–902.
- Cunningham, W. D., Windley, B. F., Dorjnamjaa, D., Badamgarov, G., & Saandar, M., 1996. A structural transect across the mongolian western altai: active transpressional mountain building in central asia, *Tectonics*, **15**(1), 142–156.
- Kurtz, R., Klinger, Y., Ferry, M., & Ritz, J.-F., 2018. Horizontal surface-slip distribution through several seismic cycles: The eastern bogd fault, gobi-altai, mongolia, *Tectonophysics*, **734**, 167–182.
- Kurushin, R., 1997. *The surface rupture of the 1957 Gobi-Altay, Mongolia, earthquake*, vol. 320, Geological Society of America.
- Kusumoto, S., 2017. Eigenvector of gravity gradient tensor for estimating fault dips considering fault type, *Progress in Earth and Planetary Science*, **4**, 1–10.
- Matsumoto, N., Yoshihiro, H., & Sawada, A., 2016. Continuity, segmentation and faulting type of active fault zones of the 2016 kumamoto earthquake inferred from analyses of a gravity gradient tensor, *Earth, Planets and Space*, **68**, 1–9.
- Molnar, P. & Tapponnier, P., 1975. Cenozoic tectonics of asia: Effects of a continental collision: Features of recent continental tectonics in asia can be interpreted as results of the india-eurasia collision, *science*, **189**(4201), 419–426.
- Ritz, J., Brown, E. T., Bourles, D., Philip, H., Schlupp, A., Raisbeck, G., Yiou, F., & Enkhtuvshin, B., 1995. Slip rates along active faults estimated with cosmic-ray-exposure dates: Application to the bogd fault, gobi-altai, mongolia, *Geology*, **23**(11), 1019–1022.
- Ritz, J.-F., Bourles, D., Brown, E., Carretier, S., Chery, J., Enkhtuvshin, B., Galsan, P., Finkel, R., Hanks, T., Kendrick, K., et al., 2003. Late pleistocene to holocene slip rates for the gurban bulag thrust fault (gobi-altay, mongolia) estimated with ¹⁰be dates, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **108**(B3).
- Tapponnier, P. & Molnar, P., 1979. Active faulting and cenozoic tectonics of the tien shan, mongolia, and baykal regions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, **84**(B7), 3425–3459.
- Toushmalani, R., 2010. Application of gravity method in fault path detection, *Australian Journal of Basic and applied sciences*, **4**(12), 6450–6460.
- Vassallo, R., Jolivet, M., Ritz, J.-F., Braucher, R., Larroque, C., Sue, C., Todbileg, M., & Javkhlanbold, D., 2007. Uplift age and rates of the gurban bogd system (gobi-altay) by apatite fission track analysis, *Earth and Planetary Science Letters*, **259**(3-4), 333–346.
- Wada, S., Sawada, A., Hiramatsu, Y., Matsumoto, N., Okada, S., Tanaka, T., & Honda, R., 2017. Continuity of subsurface fault structure revealed by gravity anomaly: the eastern boundary fault zone of the niigata plain, central japan, *Earth, Planets and Space*, **69**, 1–12.
- Xu, C., Wang, H.-h., Luo, Z.-c., Ning, J.-s., & Liu, H.-l., 2015. Multilayer stress from gravity and its tectonic implications in urban active fault zone: A case study in shenzhen, south china, *Journal of Applied Geophysics*, **114**, 174–182.