



## Original article

### ON THE MODERNIZATION OF NATIONAL GEODETIC NETWORK WITH GNSS CORS REFERENCE FRAME

Sharav Amarjargal<sup>1\*</sup>, Gankhuyag Bulgan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Space Geodesy Group, Institute of Astronomy and Geophysics, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 15160, Mongolia

<sup>2</sup>Informatics Department, Institute of Physics and Technology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar 13330, Mongolia

\*Corresponding author. Email: [amarjargalsh@mas.ac.mn](mailto:amarjargalsh@mas.ac.mn)

#### ARTICLE INFO

##### *Article history:*

Received 3 June 2019

Accepted 25 June 2019

#### ABSTRACT

New technical developments, growing applications and requests for higher accuracy in georeferencing of national reference frame raise a demand on high accuracy National Terrestrial Reference Frame based on Global Navigation Satellite System (GNSS) and other space geodetic techniques. Since the last decades many countries decided to switch main geodetic control points from triangulation points to Continuously Operating Reference Stations (CORS). This task is currently undertaken by the geodetic authority of Mongolia in collaboration with research and private organizations. The first continuous Global Positioning System (GPS) station in Mongolia became operational in the late 1995 for the global geodetic scientific applications. Since 1997 the survey-mode GPS observations were utilized in Mongolia for crustal deformation studies and for re-survey of the national triangulation network. During the years 2011-2013 CORS network of nearly 18 stations has been built to modernize the old geodetic network. Currently the total number of the reference stations counts to nearly 40. Since Mongolia is located in the tectonically active region, its geodetic reference frame is continuously deforming, which requires regular updates of reference frame. In this paper we discuss the technical issues of the national reference frame of Mongolia considering the crustal deformation of Mongolia and the data management of the national CORS network.

**Keywords:** GPS geodesy, crustal deformation monitoring, geodetic network



## ҮНДЭСНИЙ ГЕОДЕЗИЙН СҮЛЖЭЭГ GNSS CORS ТУЛГУУР ТОГТОЛЦООГООР ШИНЭЧЛЭХ АСУУДАЛД

Шаравын Амаржаргал<sup>1\*</sup>, Ганхуягийн Булган<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Шинжлэх Ухааны Академи, Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэн, Сансрын Геодезийн хэсэг, Улаанбаатар 15160, Монгол

<sup>2</sup>Шинжлэх Ухааны Академи, Физик Технологийн Хүрээлэн, Информатикийн салбар, Улаанбаатар 13330, Монгол

\*Email: [amarjargalsh@mas.ac.mn](mailto:amarjargalsh@mas.ac.mn)

### ХУРААНГУЙ

Техникийн шинэчлэл болон өндөр нарийвчлалтай газарзүйн холболт хийх хэрэгцээ, шаардлагын өсөлт нь Глобаль Навигацийн Дагуулын Систем болон бусад сансрын геодезийн техникт суурилсан илүү өндөр нарийвчлалтай Үндэсний Тулгуур Тогтолцоог шаардах боллоо. Сүүлийн арваад жилд олон улс орон геодезийн хяналтын цэгүүдээ триангуляцийн цэгээс байнгын ажиллагаатай тулгуур станцаар орлуулах үйл ажиллагаа явуулж эхэлсэн бөгөөд хөгжингүй орнууд динамик тогтолцоо руу шилжиж байна. Энэ ажлыг Монгол улсад Газрын Харилцаа Геодези Зурагзүйн Газар толгойлон судалгааны болон хувийн хэвшлийн байгууллагуудтай хамтран хэрэгжүүлж байгаа билээ. Байнгын ажиллагаатай GPS станц Монголд анх 1995 оны сүүлээс ажиллаж эхэлсэн бөгөөд геодезийн шинжлэх ухааны глобаль хэрэглэнд зориулагдаж байв. 1997 оноос эхлэн давтан хэмжилтийн GPS ажиглалтуудыг царцдасын деформац болон триангуляцийн сүлжээг хэмжихэд ашиглаж эхлэв. 2011-2013 оны хооронд триангуляцийн сүлжээг шинэчлэх зориулалтаар ~18 байнгын ажиллагаатай тулгуур станцуудын сүлжээ байгуулагдсан бөгөөд эдгээр станцуудын тоо одоо 40 гарсан байна. Монгол улсын нутаг дэвсгэр нь тектоникийн идэвхтэй бүс нутагт оршдог тул геодезийн тулгуур тогтолцоо нь байнгын деформацд байна. Тиймээс тулгуур тогтолцоог тогтмол шинэчилж байх шаардлагатай. Энэ өгүүлэлд бид үндэсний тулгуур тогтолцооны техник нөхцлийг байнгын ажиллагаатай станцуудын ажиллагаа, Монгол орны царцдасын деформацыг тооцон тусгасан бөгөөд үндэсний CORS (Байнгын Ажиллагаатай Тулгуур Станцын) сүлжээний өгөгдөл, түүний зохицуулалтын талаар илтгэх болно.

**Түлхүүр үг:** GPS геодези, царцдасын деформацын мониторинг, геодезийн сүлжээ

### ОРШИЛ

Дэлхийн дотоод хайлмал цөмөөс гадаад плазмт ионосфер хүртэлх давхаргууд динамик харилцан үйлчлэлд байнгын хөдөлгөөнд байж уур амьсгал, хүрээлэн буй орчинд нөлөөлөхийн зэрэгцээ мантийн конвекц, түүнээс үүдэлтэй массын шилжилт, изостатик тэнцвэрт тэмүүлэх хөдөлгөөн, гадаргын деформац зэрэг нь Дэлхийн эллипсоид хэлбэр болон геопотенциалыг өөрчилж байдаг. Эдгээр өөрчлөлтийг тоон утгаар, газрын зөв байрлалд оноож илэрхийлэх, геофизикийн үзэгдлүүдийн мөн чанар, үүсгэх хүчийг таних, цаашдын өөрчлөлтөнд урьтан бэлдэх зэрэгт чухал

мэдээ бүрдүүлэх нь орчин цагийн геодезийн үндсэн бодлогуудын нэг юм. Үүнийг, сонгосон эх өгөгдөлд удаан хугацааны туршид (олон арван жил) өндөр тогтворжилттой байх Дэлхийн физик биед бэхлэгдсэн тулгуур тогтолцоогоор хэрэгжүүлнэ. Энэ тулгуур тогтолцоо нь (1) Дэлхийн хэлбэр дүрс, (2) огторгуй дахь чиглэмж, (3) хүндийн хүчний орныг бодит байдалд хамгийн нийцтэйгээр дүрсэлнэ. Дэлхий нийтээр одоогийн хэрэглэж буй, геодези, геофизикийн бүх төрлийн хэрэглээний суурь болж байгаа геодезийн эх өгөгдөл нь Олон Улсын Газрын Тулгуур Тогтолцоо болох ITRF (International Terrestrial Reference Frame) юм (Altamimi et

al., 2001). Түүний эхлэл нь Дэлхийн массын төвд, огторгуй дахь чиглэмж нь Олон Улсын Цагийн Албаны Дэлхийн Эргэлтийн Параметрийн 1984.0 (анхны) эгшинээр тодорхойлогдоно (IERS, 2010). Дэлхийн массын төвийг Дагуулын Лазер зай хэмжигч (SLR), Дэлхийн огторгуй дахь чиглэмжийг Хэт Урт Суурь Шулууны Интерферометр (VLBI), дагуулуудын тойрог замын нарийвчлалыг Допплер зай хэмжигч (DORIS), газрын сүлжээний нягтруулалт, глобал болон үндэсний тулгуур тогтолцоо хоорондын холбоог ихэвчлэн GNSS техникээр тус тус хэмжиж байна (Altamimi et al., 2001). ITRF нь сансрын геодезийн дээрх дөрвөн техникийн дэлхий даяар тархсан 600-аад газрын станцын олон жилийн ажиглалт дээр суурилдаг учир одоогоор байгаа хамгийн өндөр нарийвчлалтай тулгуур тогтолцоо юм. ITRF-ийг хангалттай хэмжээний шинэ мэдээ бүрдэхэд шинэчлэн тэгшитгэдэг бөгөөд өнөөг хүртэл нийт 13 хувилбар гарснаас сүүлийнх нь ITRF2014 юм (Altamimi et al., 2016). ITRF-ийн практик хэрэглээнд нэвтрэхэд хүндрэл үүсгэдэг гол шалтгаан нь солбицлоос гадна солбицлын харьцах эрин ба түүний хугацааны хувьслыг тооцох асуудал байдаг тул өнөөг хүртэл зөвхөн геодезийн шинжлэх ухааны хэрэглээнд байв.

Гэвч техникийн хурдацтай хөгжил, өндөр нарийвчлалтай байршлын утгын шаардлага, GNSS техникийн өргөн хэрэглээ зэрэг нь энэ байдлыг өөрчилж байнгын тэмдэгтийн солбицлыг ITRF тогтолцоонд бодит горимд тодорхойлох болсноор үндэсний, орон нутгийн сүлжээний өдөр тутмын хэрэглээ болов. Түүгээр зогсохгүй сүлжээний RTK (бодит горимын кинематик) үйлчилгээтэй CORS нь хэрэглэгчийг хялбар бөгөөд хямд аргаар см-ийн нарийвчлалаар хангадаг нь уламжлалт аргыг бүрэн халах болов. Энэ нь харин CORS-ийн тулгуур станцуудын солбицол GNSS дагуулын нэгэн адил ITRF-ийн сүүлийн хувилбарт бодит горимд өндөр нарийвчлалтай мэдэгдэж байхыг шаарддаг.

## ГАЗРЫН ТУЛГУУР ТОГТОЛЦООНУУД

Геодезийн шинжлэх ухааны болон

хэрэглээний геодезийн өнөөгийн гол зорилт нь олон улсын хамтын ажиллагаагаар ITRF-ийг 1 мм нарийвчлалтай, 0.1 мм/жил тогтворжилттой тодорхойлох юм (Plag et al., 2010). Үүнийг сансрын геодезийн SLR, VLBI, DORIS, GNSS техникүүдийг нэг дор байрлуулан, ажиглалтын ялгаатай аргуудаар (үнэмлэхүй, харьцангуй, зай, зайн өөрчлөлт, фазын хэмжилт г.м) нэг цэгийн утгыг өндөр нарийвчлалтай тодорхойлох геодезийн суурь байршил бүрдүүлж дэлхийн динамик загвартай синтезлэх замаар хэрэгжүүлж байна. Геодезийн ийм суурь байршлыг геодезийн обсерватори ч гэж нэрлэх бөгөөд дээрх 4 техникийн газрын станцаас гадна өндрийн тогтолцоонд зориулсан үнэмлэхүй гравиметр, супер дамжуулагч гравиметр, тухайн байрлалд зориулсан цаг уурын, гидрологийн станц зэргийг байрлуулж хооронд нь орон зайн холболт хийнэ (Snay and Soler, 2008). Динамик Дэлхийн тулгуур загвар нь геометр, грави, эргэлтийг нэгдсэн нэг загварт оруулах зорилготой бөгөөд энэ аргыг хэрэгжүүлэхийн тулд шинжлэх ухааны, судалгааны ихээхэн шинэчлэл шаардах тул ирээдүйн 10 жилийн геодезийн гол сэдэв байх болно (Plag et al., 2010). Глобал ITRF2014 тогтолцоо нь станцуудын солбицлын хугацааны цувааг өгөгдлөөрөө ашиглаж, урт хугацааны мэдээ хуримтлуулсан 4 техникийн станц бүрт жилийн, хагас жилийн үет хэлбэлзлийг тооцсон, газар хөдлөлийн гол бүсэд байрлах GPS/GNSS станцууд дээр пост-сейсмийн нөлөөг тооцож бусад байрлал дахь GPS/GNSS станцуудад тохируулснаараа өмнөх хувилбаруудаас ялгаатай (Altamimi et al., 2016). Бүс нутгийн хувьд ITRF-т нэгтгэсэн Африкт AFREF, Ази, Номхон далайн бүсэд APREF, Өмнөд Америкт SIRGAS, Европт ETREF тогтолцоонуудыг улс орнууд хамтын хүчээр хөгжүүлэн бүс нутгийн кинематик хурдны загварыг нарийвчилж байдаг. Үндэсний болон орон нутгийн тулгуур тогтолцоо нь бүсийн эсвэл өөрсдийн сонгосон тогтолцоонд суурилсан байдаг. Тулгуур тогтолцоог бүрдүүлэх тулгуур станцуудын их, бага хэмжээний хөдөлгөөнийг: (1) тивүүдийн хөдөлгөөн-Дэлхий дээрх үнэмлэхүй байршил

өөрчлөгдөх, (2) өргөн бүсийг хамрах тив доторх хөдөлгөөн-хавтангийн заагаар явагдах деформац, (3) орон нутаг дахь гэнэтийн хөдөлгөөн - газар хөдлөлт, хөрсний гулсалт, (4) орон нутагт аажим явагдах хөдөлгөөн-хөрсний суулт, тектоник, галт уулын процесс гэж ангилж болно.

Дээрх хөдөлгөөний улмаас орчин үеийн үндэсний тулгуур тогтолцоог 3 төрөл байхаар тодорхойлсон байдаг (FIG, 2014). (1) Геодезийн Статик тулгуур тогтолцоо: ITRF-ийн тодорхой эринд бэхлэгдсэн байх бөгөөд сейсмийн, тектоникийн деформацд орсон тохиолдолд байнга засварлагдаж, шинэчлэгдэж байх ёстой. (2) Динамик (эсвэл кинематик) тулгуур тогтолцоо: ITRF нь солбицол, хурдны утгаас бүрдэх динамик тулгуур тогтолцоо бөгөөд маш нарийн деформацийн загвар ашиглахгүй бол удаан хугацааны туршид хуримтлуулсан мэдээг нэгтгэхэд хүндрэлтэй болдог. (3) Хагас-динамик тулгуур тогтоцоо: Ерөнхийдөө, динамик тулгуур тогтолцоотой ижил боловч деформацийн загвар нь тулгуур систем тодорхойлолтын нэг хэсэг болж ордог. Үүний давуу тал нь деформацийн загвар хангалттай нарийн биш байсан ч боловсруулалтын нарийвчлалыг бууруулдаггүй бөгөөд эцсийн хэрэглэгчдэд тулгуур эрин нь хөдөлгөөнгүй мэт үйлчилдэг. Тулгуур тогтолцооны хугацааны хувьслыг зохицуулахын тулд аливаа шилжилтийг 0.5 мм/жил нарийвчлалтай тодорхойлох шаардлагатай (Plag et al., 2010) бөгөөд царцдасын деформацийн үнэлгээг орчин цагийн геодезийн аргаар хийнэ.

#### **Үндэсний тулгуур тогтолцоо, ITRF хоорондын нийцлийг хянах**

Үндэсний GNSS CORS тулгуур тогтолцоог бүрдүүлэх байнгын ажиллагаатай станцыг сонгох хатуу заалт байхгүй ч багадаа 3 жил тасралтгүй ажилласан, антенны суурь тогтвортой, станцуудын тархалтын геометр сайн, сейсмийн идэвхтэй биш мужид байрласан, дагуул үзэгдэлтийн диаграммыг үндэслэн тодорхой хэдэн станцыг сонгох ба сүлжээний бусад станцууд эх өгөгдлийг нягтруулах ба байрлалын бусад (сүлжээний RTK, бодит горимын CORS сүлжээ)

үйлчилгээнд ашиглагддаг (FIG, 2014).

Тогтолцооны тогтвортой ажиллагааг хянаж, мониторинг хийх үндсэн арга нь станц тус бүрийн солбицлыг тогтсон хугацааны зайтай (өдөр тутам, долоо хоногт, сард) тодорхойлж байх төвлөрсөн боловсруулалт юм (дата боловсруулалтын төв, мэдээллийн сан, дата төв г.м). Үүний дараагаар ажигласан утгыг хэвлэгдсэн ITRF утгатай харьцуулж, тэгшитгэн бодолтонд дүн шинжилгээ хийх, үр дүнгийн статистик мэдээ гаргах, хугацааны явцад гарсан өөрчлөлт, деформацийг загварчлах үндсэн журамтай байдаг (Bosy, 2014). Станцын чанарын шалгалтаар, асуудалтай эсвэл муу мэдээтэй станцыг долоо хоногийн боловсруулалтаас хасах ба тулгуур станцуудын солбицлыг глобаль тулгуур тогтолцоонд (IGS14) бодож Гельмертийн хөрвүүлэлтийн 6 параметрээр үндэсний солбицлын систем рүү шилжүүлнэ.

### **МОНГОЛ ОРНЫ ТЕКТНИК НӨХЦӨЛ**

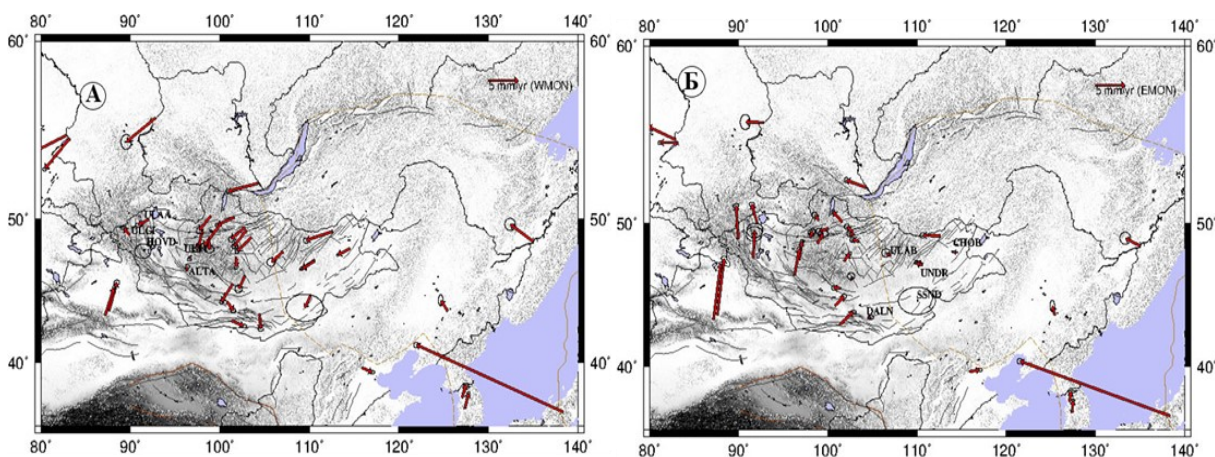
Монгол орны нутаг дэвсгэр нь сейсмийн идэвхтэй бүс нутагт орших ба хавтангийн хоёр хилийн тектоник процессын нөлөөнд байдаг. Энэ хоёр хилийн процесс нь (1) Энэтхэг-Евроазийн эх газрын хавтангийн мөргөлдөөн (Tapponier and Molnar, 1979), (2) Номхон далай ба Филиппины далайн хавтангууд Евроазийн хавтангийн зүүн захаар шургах субдукц юм (Zhang et al., 2017). Шахалт, тэлэлтийн хоёр эсрэг хүчний нөлөө Монгол орны баруун, зүүн хэсэгт ялгаатай үйлчлэх царцдасын кинематик болон газар хөдлөлтийн идэвхжилтээр илэрдэг. Гэвч гүний магмын процессын нөлөө, ялангуяа, Хангайн нурууны өргөгдөл магмын диапир эсвэл плюмын нөлөө эсэх, хавтан дундын магматизм литосферийн харилцан адилгүй зузаалаг зэргийн динамикийг судлахаар геофизик, грави, сейсмийн олон ажлууд хийгдэж байгаа боловч маргаантай асуудал байсаар байна. Харин сансрын геодезийн арга нь царцдасын деформац, хагарал дээрх хүчдэл хуримтлал, тив хоорондын шилжилт, хавтангуудын хөдөлгөөнийг мм-ийн түвшинд богино хугацаанд тодорхойлдог тул орчин цагийн

хавтангийн кинематик загварыг гаргах үндсэн техник болоод 20 гаруй жил болж байна. Бараг 40 жилийн туршид хавтангийн одоогийн хөдөлгөөнийг далайн голч нурууны тэлэлтийн хурд, трансформ хагарлын гулсалтын чиглэл болон хавтангийн заагаар үүсэх газар хөдлөлтийн гулсалтын вектороор тодорхойлж ирсэн (DeMets et al. 1990) бөгөөд кинематик загвар нь 3 сая жилийн дундаж утгаас бүрдэх бидний өнөөгийн NUVEAL-1A гэж нэрлэх геологийн загвар юм. Харин сансрын геодезийн хөгжил нь 3 сая жилийн хэмжилтийг хэдхэн жилд багцалж газрын станцын мм-ийн шилжилтийг бүртгэх түвшинд хүрснээр хавтангийн геодезийн загварууд бий болж улам бүр шинэчлэгдсэн байна (Sella et al., 2002, Kreemer et al., 2003). Энэ загварыг Монгол орны нутаг дэвсгэрт хийгдсэн GPS ажиглалтын үр дүнгээр (Calais and Amarjargal, 2000; Calais et al., 2003; Kato et al., 2012) нутгийн хэмжээнд нарийвчлан Монгол орны царцдасын шилжилт баруун болон зүүн хэсэгтээ эрс ялгаатай кинематиктай болохыг тодорхойлсон байдаг (Зураг 1). Дээрх үр дүн цөөн тооны байнгын болон давтан хэмжилтийн мэдээгээр тооцоологдсон тул шинээр нэмэгдсэн байнгын станцуудыг (Газрын Харилцаа Геодези Зурагзүйн Газрын, ГХГЗГ CORS), сайжруулсан боловсруулалтын програм хангамж болон тойрог замын мэдээ, ITRF-

ийн шинэ хувилбар (ITRF2014), нилээд их хэмжээний  $M > 4$  газар хөдлөлтүүд болсон зэргийг тооцон дахин боловсруулалт хийх хугацаа болсон байна. Монгол орны байнгын ажиллагаатай GNSS станцуудын нөхцөл байдал болон урьдчилсан боловсруулалтын үр дүнг дараахь хэсгүүдээс харж болно.

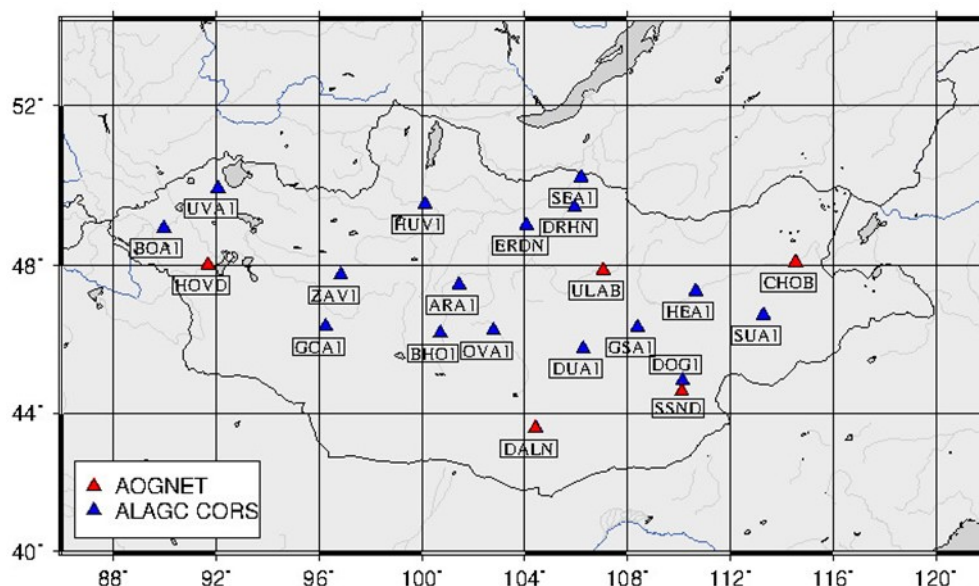
## МОНГОЛ ДАХЬ ГЕОДЕЗИЙН БАЙНГЫН GNSS СТАНЦУУД

Хамгийн анх геодезийн хэмжилтийн багаж болж геосалбарын хэрэглээнд нэвтэрсэн GNSS техник бол АНУ-ын Батлан Хамгаалах Албанаас бүтээсэн GPS систем юм. GPS-ийг нөхөх чадвартай, түүнтэй ижил зохион байгуулалт, үүрэгтэй системүүд саяхнаас гарч ирсэн нь Европын Холбооны GALILEO (2016), Хятадын BEIDOU (2012) системүүд бөгөөд сүүлийн үеийн хоёр давтамжит хүлээн авагчууд эдгээр дагуулын дохиог, засварын мэдээг нэгэн зэрэг хүлээн авах боломжтой. Монгол улсад ажиллаж байгаа байнгын ажиллагаатай геодези, геодинamik, кадастрын зориулалтаар ашиглах нийт ~50 гаруй станц ажиллаж байна. Эдгээр нь ШУА-ийн Одон Орон Геофизикийн Хүрээлэнгийн (ООГХ) Астрономын салбарын байнгын станцуудын сүлжээ (AOGNET), ГХГЗГ-ын CORS станцууд, геодезийн хувийн компаниуд болох Монмэп ХХК (MONM



**Зураг 1.** Монгол орны баруун болон зүүн хэсэгт ялгаатай кинематикийг илэрхийлэх, GPS станцуудын харьцангуй хурдны хэмжээ ба чиглэл. А) Баруун хэсэгт байрлах HOVD, ULGI, ULAA, ALTA, ULIS 5 станцын дундажтай харьцуулахад ихэнх станцуудын хурд зүүн урагш чиглэлтэй, Б) Зүүн хэсэгт байрлах CHOV, UNDR, ULAB, DALN станцуудын дундажтай харьцуулахад баруун болон хойд хэсгийн станцууд баруун хойш чиглэлтэй, өмнөд хэсгийн станцууд зүүн хойш чиглэлтэй байна.





Зураг 2. Монгол улсад ажиллаж байгаа (мэдээ нь AOGNET Дата төвд орж боловсруулагдсан) байнгын ажиллагаатай станцууд

GNSS), Инженер геодези ХХК (1769 GNSS) зэрэг байнгын станцууд болно (Зураг 2).

#### Астрономын салбарын GNSS станцууд (AOGNET)

Одон орны салбар геодези, геодинамикийн судалгааны зорилгоор ULAB, HOVD, CHOB, DALN, SSND (Зураг 2) гэсэн нийт 5 байнгын ажиллагаатай GNSS станц ажиллуулдаг бөгөөд эдгээр нь Потсдамын Геосудалгааны Хүрээлэн (Герман, IGS), Токиогийн Их сургууль (Япон, WING), БНСУ –ын Астроном, Сансар Судлалын Хүрээлэнтэй (Солонгос, KASI) хийсэн гэрээний хүрээнд байгуулагдсан болно (Хүснэгт 1). Дээрх станцуудаас ULAB станц нь анх 1995 оны 10 сард Хүрэлтогоот дахь Одон Орон Судлах Оргилд байгуулагдсанаар Монголын геодезийн шинжлэх ухаанд GPS-ийн хэрэглээ нэвтэрч байв (Amarjargal et al.,

2016). 2000 оноос техникийн шинэчлэлт хийснээр International GNSS Service (IGS)-ийн шаардлагыг хангаж түүний бүрэлдэхүүнд орж орчин цагийн геодезийн бодлого болох Глобал геодезийн тулгуур тогтолцоог (ITRFуу, уу-шинэчилсэн жилийн сүүлийн орон) тодорхойлох, Дэлхийн хатуу бие, агаар мандалын судалгаанд өөрийн мэдээгээр тухайн орон зайд хувь нэмрээ оруулсаар ажиллаж байна.

AOGNET станцууд орон зайн хувьд оновчтой тархалттайн дээр хамгийн урт хугацааны (~18 жил) мэдээ хуримтлуулж ITRF05, ITRF08, ITRF14 тогтолцоонд солбицол, хурдны утгууд нь тогтоогдсон болно. Станцуудын мэдээг архивлах, боловсруулах болон станцын мэдээнээс олон-сэдэвт (ионосфер дэх электроны хэмжээ, тропосфер дэх усны уурын хэмжээ, нутгийн

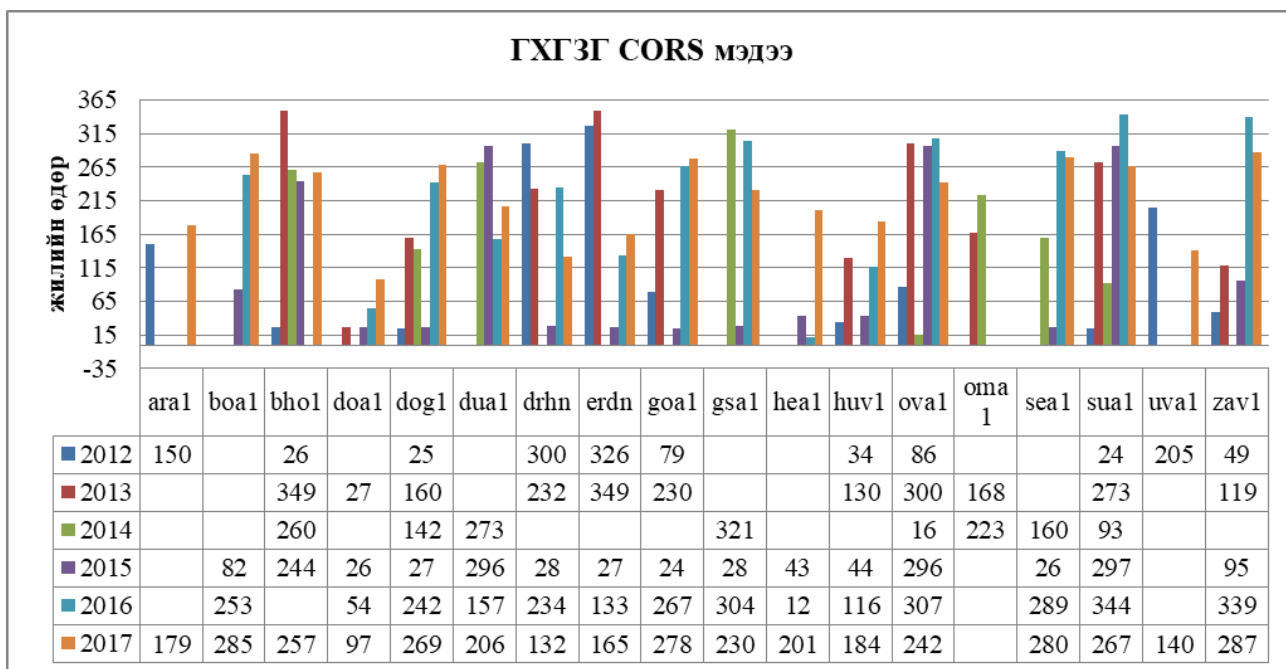
Хүснэгт 1. AOGNET байнгын станцуудын үзүүлэлт. WING –Номхон Далайн баруун хэсгийн GPS сүлжээ

Станц	Байршил	Солбицол	Хүлээн авагчийн төрөл	Эхэлсэн он	Төсөл
ULAB	Улаанбаатар	107.05E 47.86N	JAVAD TRE3	1995	IGS
HOVD	Ховд	91.66E 48.01N	TRIMBLE 4000SSE	2000	WING
CHOB	Чойбалсан	114.54E 48.08N	TRIMBLE 5700	2005	WING
DALN	Даланзадгад	104.42E 43.56N	TRIMBLE 5700	2005	WING
SSND	Сайншанд	110.12E 44.88N	TRIMBLE NETR9	2011	KASI

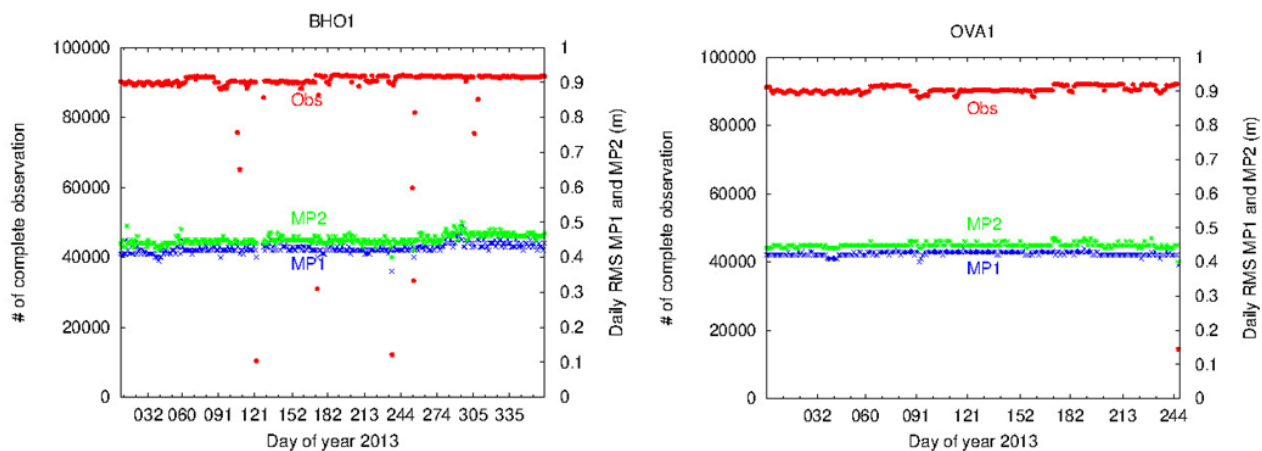
шилжилт, хөдөлгөөний хурд, станцуудын үнэмлэхүй болон харьцангуй солбицол) судалгааны бүтээгдэхүүн гаргах бүх үе шатууд AOGNET Дата төвд хийгддэг (Амаржаргал нар, 2014; Amarjargal et al., 2016). SSND станцыг сансрын геодезийн суурь байршил болгох зорилгоор байгуулсан бөгөөд одоогоор туршилтын шатандаа ажиллаж байна.

2016 оноос AOGNET Дата төвд ГХГЗГ-ын зарим CORS мэдээг нэгтгэн боловсруулах болсон нь хурдны орны жигд тархалтыг хангах болов. Гэвч эдгээр станцын мэдээг шууд аваад автомат боловсруулалтанд оруулахад бэрхшээлтэй асуудал тулгардаг нь ажиглалтын мэдээний байршил тухайн сервер дээр тогтмол биш, олон өдрийн мэдээ нэг файлд хураагдсан, цаг тутмын, өдөр тутмын мэдээ нэг директорт холилдсон, нэг станцын директорт олон станцын мэдээ

### ГХГЗГ CORS сүлжээ



Зураг 3. ГХГЗГ CORS станцуудын AOGNET-ийн боловсруулалтанд орсон мэдээ



Зураг 4. BHO1, OVA1 GNSS станцуудын ажиглалтын өдөр тутмын тоо, L1, L2 дээрх олон замын ойлтын алдаа (MP1, MP2)

хураагдсан зэргээс үүдэн ихэнх тохиолдолд программаар биш гараар татаж авч нэг бүрчлэн шалгах, засах хугацаа шаардсан ажил гарч байлаа. Нэгдсэн боловсруулалтанд оруулсан ГХГЗГ CORS станцуудын ажиглалтын тоог Зураг 3-т, ажиглалтын чанарыг BHO1, OVA1 станцын жишээгээр Зураг 4-т үзүүлэв. Ажиглалтын чанарын шалгалтаас үзэхэд хэдийгээр мэдээ тасралттай хураагдаж байгаа ч дээрх хоёр станцын өдөр тутмын хэмжилтийн тоо (15 секундын интервалтай, 24 цагийн) 89000-92000, L1, L2 дохионы олон замын ойлтын алдааны (RMS) хэмжээ 2 станц дээр тогтвортой бөгөөд MP1 нь  $\sim 0.41$  м, MP2 нь  $\sim 0.38$  м хэмжээтэй байгаа нь IGS-ийн “сайн станц” гэж тооцсон станцуудын MP1, MP2 утгуудаас (MP1  $\sim 0.5$ м MP2  $\sim 0.75$ м) бага байна. Солбицлын хугацааны цувааг BHO1, DOG1, OVA1, SUA1 дөрвөн станцын жишээгээр Зураг 5 -т үзүүлэв.

### МОНГОЛ ОРНЫ GPS ХУРДНЫ БОЛОВСРУУЛАЛТ

AOGNET Дата төвд цугларсан байнгын болон давтан хэмжилтийн GPS мэдээний боловсруулалтаар Монгол орны GPS хурдны утгыг шинэчлэн гаргалаа. Энэ боловсруулалтанд 1997-2016 онд хийгдсэн байнгын болон давтан хэмжилтийн GPS мэдээг ашигласан болно. Байнгын ажиглалтын мэдээ нь 2 сүлжээг хамрах бөгөөд энэ нь AOGNET 5 станцын сүлжээ, ГХГЗГ CORS сүлжээний 8-12 станцыг хамарна. Давтан хэмжилтийн мэдээ нь мөн 2 төрлийн хэмжилтээс бүрдэх ба энэ нь 1997-2007 оны хооронд нийт 6 удаа давтан хэмжсэн Төв болон Баруун Монголыг хамарсан 16 цэг ба Улсын геодезийн сүлжээний 34 цэгийг 1997, 2014 нийт 2-3 удаа давтан хэмжсэн мэдээ юм. Бүх мэдээг GAMIT/GLOBK програм хангамжаар (Herring et al., 2015) 3 үе шаттайгаар, стандарт горимын дагуу, бүсийн 10-16 IGS станцтай цуг бодож глобал дэд-сүлжээний igs1, igs2, igs3, igs4-ийн станцуудтай (Зураг 6) нэгтгэж ITRF2008 тогтолцоонд солбицол болон хурдны утгыг тооцоолсон болно. Тулгуур тогтолцооны тогтворжилтын дундаж квадрат алдаа

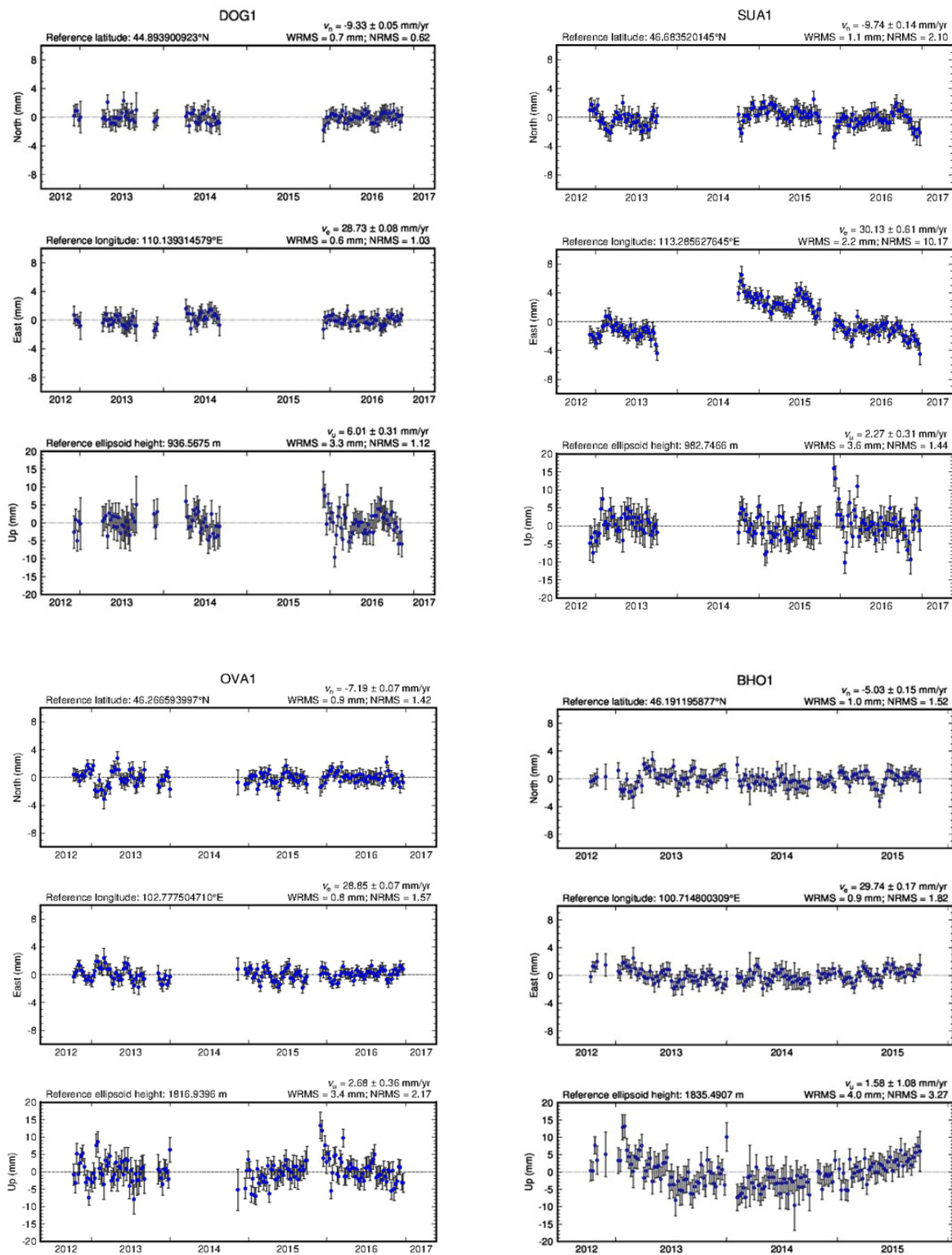
байршлын 2.5 мм/ж, хурдны 0.5 мм/ж болно. Дэлхийн массын төвтэй харьцах энэ глобал тогтолцоонд Монголын станцууд зүүн, зүүн урд чиглэлд 25-30 мм/ж хурдтай шилжиж бүс нутгийн царцдасын шилжилтийн ерөнхий дүр зургийг илэрхийлнэ (Амаржаргал ба Баатархүү, 2016). Харин Монгол орны нутаг дэвсгэрийн дотоод дахь дифференциаль деформацийг олохын тулд байрлал, хурдны утгыг Евроазийн хавтантай харьцангуй тодорхойлдог. Үүнийг бид Евроазийн хавтангийн эргэлтийн параметрийг ITRF2008 хурдны утгаас хасч тодорхойлсон болно (Зураг 7).

### ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

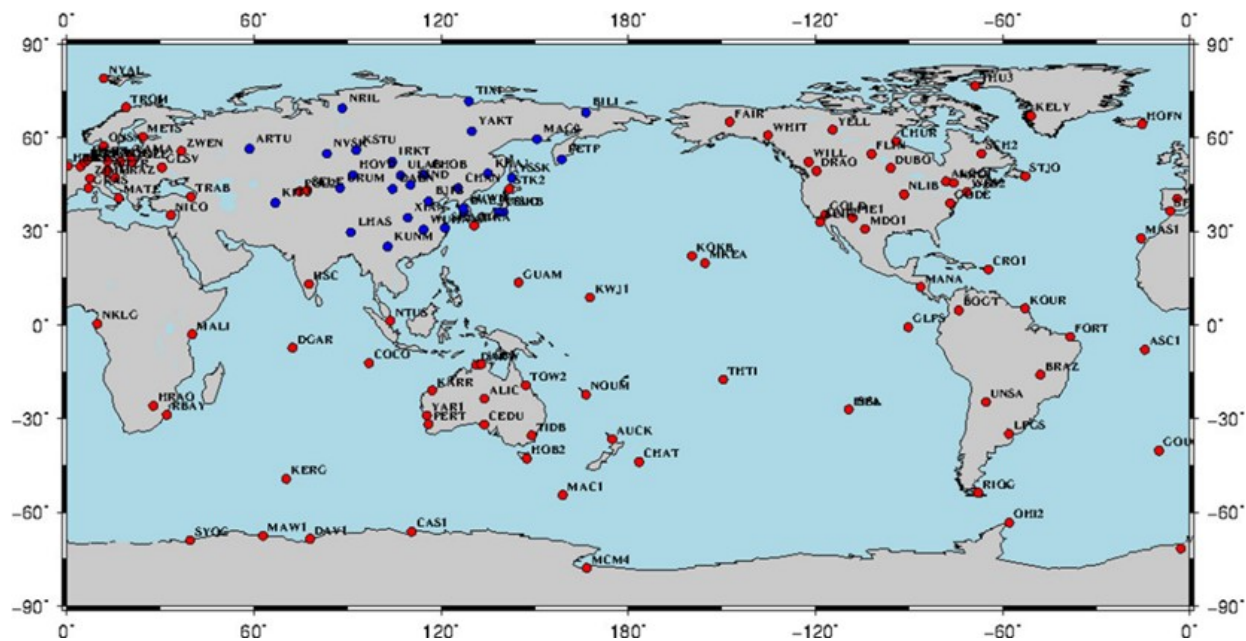
Үндэсний геодезийн сүлжээг шинэчлэн GNSS тулгуур тогтолцоо руу шилжүүлэх ажлыг үе шаттайгаар хийдэг бөгөөд манай улсын хувьд 2012 оноос өнөөг хүртэл суурин станц байгуулах эхний үе шат хийгдсэн байна. Дахин шинээр станц байгуулахын өмнө эдгээр станцуудынхаа мэдээ хураалтыг жигдэлж, “GNSS инновацийн”, “бодит-горимын” мэдээний үр ашгийг (газар хөдлөх, антенд, хүлээн авагчид өөрчлөлт гэмтэл гарах г.м) бүрэн утгаар нь хэрэглээнд нэвтрүүлэх нь зүйтэй байна. Үүнд:

- Ажиглалтын мэдээний чанарыг шалгаж, солбицлын хугацааны цуваа болон сүлжээний ажиллагааг тогтмол хянах зориулалттай боловсруулалтыг тогтмол горимд (7 хоног, сар) хийдэг байх
- Тулгуур тогтолцооны тодорхойлолт станцуудын хугацааны цуваанд суурьладаг тул станцуудын ажиллагаа болон мэдээ хураалт, дамжуулалтыг тасралтгүй, тогтмол болгох Тулгуур тогтолцооны тодорхойлолт станцуудын хугацааны цуваанд суурьладаг тул станцуудын ажиллагаа болон мэдээ хураалт, дамжуулалтыг тасралтгүй, тогтмол болгох
- Одоогийн ажиллаж байгаа CORS станцаас цөөн хэдэн (10-15) чанартай станцуудыг сонгон үндэсний статик тулгуур тогтолцоогоо баталгаажуулах, тэдгээрийн солбицол, хурдны утгыг ITRF-уу шинэ хувилбарт тухай бүрт нь шинэчилж хагас-

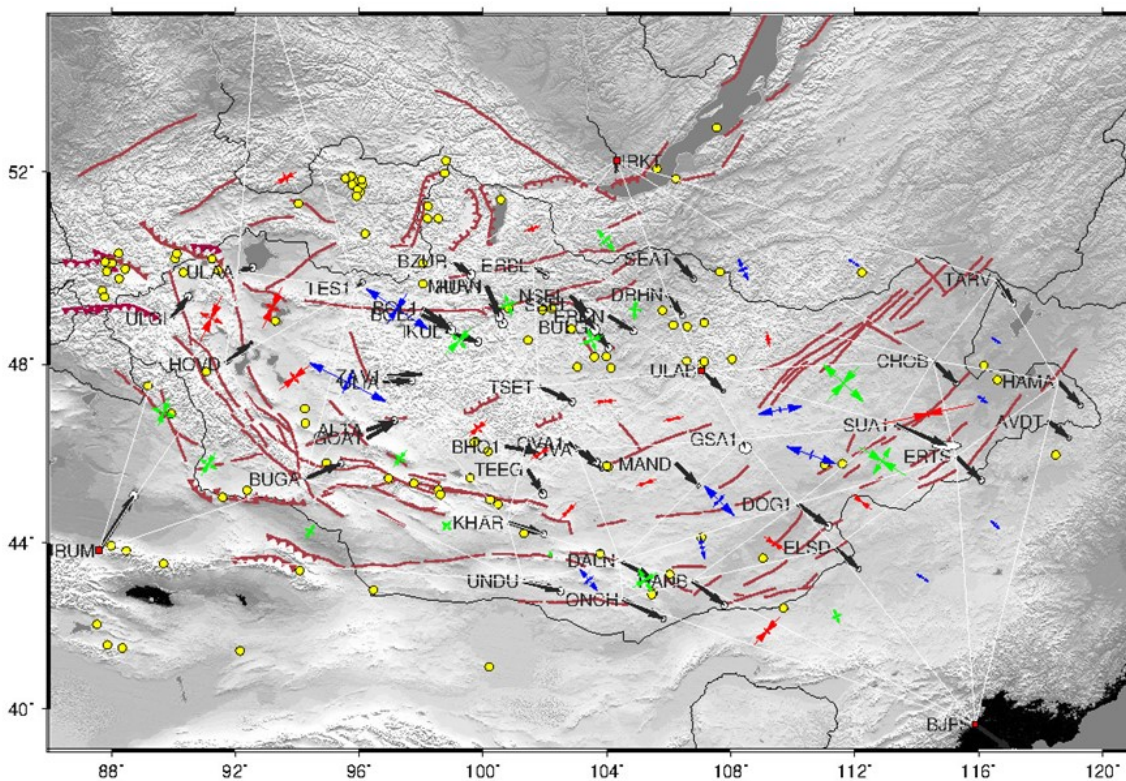




Зураг 5. ГХГЗГ CORS DOG1, BHO1, OVA1, SUA1 станцуудын долоо хоногийн дунджаар бодсон солбицлын хугацааны цуваа (ITRF08 тогтолцоонд)



Зураг 6. Монгол орны байнгын болон давтан хэмжилтийн GPS станцуудын солбицол болон хурдны утгыг ITRF08 тогтолцоонд тодорхойлоход ашигласан бүсийн (хөх), глобал (улаан) IGS станцууд



Зураг 7. Байнгын болон давтан хэмжилтийн GPS мэдээнээс тодорхойлсон харьцангуй хурдны орны тархалт (хар сум) Евроазийн хавтангийн тогтолцоонд, Делоны гурвалжинд тооцсон хүчдэл хуримтлал (улаан-шахцал, цэнхэр – тэлэлт, ногоон – сунал, зөрөл) ба Монгол улсын нутаг дэвсгэрт 2012-2018 оны хооронд бүртгэгдсэн M>4 газар хөдлөлт (шар дугуй).

- динамик тулгуур тогтолцоо руу шилжих
- GNSS мэдээний хувьд Монгол улсын геодезийн хуульд заасан “улсын нутаг дэвсгэрийн бүрэн бүтэн байдлыг хангах мэдээний нууцлалыг” сахиж IGS-ийн бүртгэлд ороогүй, үндэсний CORS станцын боловсруулаагүй мэдээг хил дамнуулахгүй байх олон улсын жишгийн дагуу ашиглах нь зүйтэй байна.

## ДҮГНЭЛТ

ГХГЗГ CORS станцуудын ажиглалтын чанарын үнэлгээ болон урьдчилсан тэгшитгэн бодолтын үр дүнгээс харахад станцуудын өдөр тутмын ажиглалтын тоо, олон замын ойлтын алдааны хэмжээ зэрэг нь олон улсын IGS станцуудын түвшинд, хэвийн ажиллаж байна. Станцуудын мэдээ тасралттай хураагдаж байгаа хэдий ч солбицлын хугацааны цувааны алдааны хэмжээ бага ( $wrms < 2\text{ mm}$ ,  $prms < 3\text{ mm}$ ), BOA1, SUA1, DUA1 зэрэг станцуудаас бусад нь гэнэтийн үсрэлтгүй жигд байна. Харин мэдээний бодит-горимын дамжуулалтыг жигдрүүлж, серверт орж ирэх мэдээг олон улсын CORS зөвлөмжийн дагуу цэгцэлснээр, тасралтгүй хугацааны цуваагаар бүрдэх үндэсний тулгуур тогтолцоо нь Монгол орны нутаг дэвсгэрийн хэмжээнд газарт-болон сансарт-суурилсан геодинamik, Дэлхийн цаг агаар, сансрын цаг агаар зэрэг шинжлэх ухааны олон салбарын ажиглалтын мэдээг бодит горимд хангах юм.

## ТАЛАРХАЛ

Энэ өгүүллийн бичлэгийг сайжруулахад шүүмж, санал оруулсан 3 судлаачид болон сэтгүүлийн редакцид талархлаа илэрхийлье.

## АШИГЛАСАН МАТЕРИАЛ

Altamimi, Z., Angermann, D., Argus, D., Blewitt, G., Boucher, C., Chao, B., Drewes, H., Eanes, R., Feissel, M., Ferland, R., Herring, T., Holt, B., Johannson, J., Larson, K., Ma, C., Manning, J., Meertens, C., Nothnagel, A., Pavlis, E.C., Petit, G., Ray, J., Ries, J., Scherneck, H.-G., Sillard, P.,

- Watkins, M., 2001. The Terrestrial Reference Frame and the Dynamic Earth. EOS Transactions, American Geophysical Union, v. 82(25), p. 278-279.
- Altamimi Z., Rebischung, P., Metivier, L., Collilieux, X., 2016. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. Journal of Geophysical Research, Solid Earth, 121(8), p. 6109-6131. doi:10.1002/2016JB013098
- Amarjargal, Sh., Baatarkhuu, D., Sanjjav, S., Zagdsuren, S., Nergui, B., Bulgan, G., 2016. Space geodetic activities at the Astronomical Observatory of Mongolia. Journal Geodetic Science, v. 6, p. 111-120. doi:10.1515/jogs-2016-0009
- Амаржаргал, Ш., Баатархүү, Д. 2016. Дэлхийг хэмжиж, ажиглах сансрын геодезийн судалгааны дэвшил. Монгол хүн сансарт ниссэний 35 жилийн ойд зориулсан эрдэм шинжилгээний хурлын эмхэтгэл. ISBN 978-99973-41-86-0, p. 141-147.
- Амаржаргал, Ш., Санжжав, С., Баатархүү, Д., Нэргүй, Б., Булган, Г., 2014. Геодезийн ажиглалтууд ба геодезийн тулгуур сүлжээ. Геологи, 30, p. 146-150.
- Bosy, J., 2014. Global, Regional and National Geodetic Reference Frames for Geodesy and Geodynamics. Pure and Applied Geophysics. v. 171(6), p. 1-26. doi: 10.1007/s00024-013-0676-8
- Calais E., Amarjargal Sh., 2000. New constraints on current deformation in Asia from continuous GPS measurements at Ulaanbaatar, Mongolia. Geophysical Research Letter, v. 27(10), p. 1527-1530.
- Calais, E., Vergnolle, M., San'kov, V., Likhnev, A., Miroshnitchenko, A., Amarjargal, Sh., Deverchere, J., 2003. GPS measurements of crustal deformation in the Baikal-Mongolia area (1994-2002): Implications for current kinematics of Asia. Journal of Geophysical Research. Solid Earth, v. 108(B10), 2501, p. 14.1-14.30.
- DeMets, C., Gordon, R., Argus, D., Stein, S., 1990. Current plate motions. Geophysical Journal International, v. 101, p. 425-478. IERS Conventions, 2010. Ed. G. Petit and B.

- Luzum. IERS Technical Note, No.36, 179 p.
- Herring, T. A., King, R.W., McClusky S. C., 2015. GAMIT Reference manual: GPS Analysis at MIT Release 10.7, 182 p.
- Herring, T. A., King, R. W., McClusky, S. C., 2015. GLOBK Reference manual: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, 98 p.
- Kato, T., Amarjargal, Sh., Makiko, I., 2012. Crustal deformation in Mongolia and Tectonics in Eastern Asia. The 9<sup>th</sup> General Assembly of the Asian Seismological Commission, p. 171-174.
- Kreemer, C., Holt, W. E., Haines, A. J., 2003. An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation. *Geophysical Journal International*, v. 154(1), p. 8-34.
- Plag, H. P., Rizos, Ch., Rothacher, M., and Neilan, R., 2010. The Global Geodetic Observing System (GGOS): Detecting the fingerprints of global change in geodetic quantities. In: *Advances in Earth Observation of Global Change*. V.134, No. 4, p. 125-143. doi:10.1007/978-90-481-9085-0\_10
- Snay, R. A., and Soler, T., 2008. Continuously Operating Reference Station (CORS): history, applications, and future enhancements. *Journal of Surveying Engineering*, p. 95-104. doi:10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:4(95).
- FIG PUBLICATION NO 64. 2014. Ed. Blick, G. Reference Frames in Practice Manual, 68 p.
- Sella, G.F., Dixon, T.H., Mao, A.L. 2002. REVEL: A model for recent plate velocities from space geodesy. *Journal of Geophysical Research*, v. 104(B4), 2001, p. 11.1-11.30.
- Tapponier, P., Molnar, P., 1979. Active faulting and Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Mongolia, and Baikal regions. *Journal of Geophysical Research*, v. 84(B7), p. 3425-3459.
- Zhang, F., Wu, Q., Grand S.P., Li, Y., Gao, M., Demberel, S., Ulziibat, M., Sukhbaatar, U., 2017. Seismic velocity variations beneath central Mongolia: Evidence for upper mantle plumes? *Earth and Planetary Science Letters*,