

Улсын бүртгэлийн  
дугаар:

Нууцын зэрэглэл: А

Аравтын бүрэн  
гэрээний  
ангиллын код:

Төсөл гүйцэтгэх  
дугаар: ШУА 30/2018



**МОНГОЛ УЛСЫН ШИНЖЛЭХ УХААНЫ АКАДЕМИ**

**ОДОН ОРОН, ГЕОФИЗИКИЙН ХҮРЭЭЛЭН**

# Нарны титэм, дөл, тэсрэлтийн физик шинж чанарын судалгаа

Суурь судалгааны төслийн эцсийн тайлан  
2018-2021 он

Төслийн удирдагч:

**Д.Батмөнх**, доктор, дэд профессор

Төслийн гүйцэтгэгч:

**Ш.Амаржаргал-э/ш-ний** дэд ажилтан, докторант

**Д.Баатархүү-э/ш-ний** дэд ажилтан, докторант

**Б.Батбаяр-э/ш-ний** дэд ажилтан, докторант

**Ч.Мөнхжаргал-э/ш-ний** дэд ажилтан

**Д.Мөнхманлай -э/ш-ний** дадлагажигч ажилтан

**Б.Нямсүрэн -э/ш-ний** дэд ажилтан, докторант

**С.Одонгэрэл** -инженер

**Б.Түвшинжаргал-э/ш-ний** дэд ажилтан, докторант

Санхүүжүүлэгч байгууллага: БШУЯ-ны Шинжлэх ухаан, технологийн сан

Захиалагч байгууллага: БШУЯ-ны Шинжлэх ухаан, технологийн  
бодлогын газар

Гүйцэтгэгч байгууллага: Одон орон геофизикийн хүрээлэн

Улаанбаатар 51, ш/х-152

Утас: 11458024, 99236081

Э-шуудан: batmunkh@iag.ac.mn

Гарчиг

<b>1 Товч агуулга (Реферат)</b> .....	<b>3</b>
1.1 Н-альфа ажиглалт, хэт ягаан цацраг ба нарны радио гялбаа.....	3
1.2 Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн .....	5
1.2 GPS ба Ионосфер.....	5
<b>2 Нарны идэвхт үзэгдлүүдийн физик шинж чанарын судалгаа</b> .....	<b>7</b>
2.1 Идэвхт үзэгдлүүдийн Н-альфа ажиглалт, тооцоолол.....	9
2.2 Нарны радио гялбаа (e-CALLISTO network).....	17
2.3 Нарны хэт ягаан цацраг.....	25
2.4 Нарны титмийн FeXIV ионы ногоон шугам.....	37
<b>3 Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн</b> .....	<b>41</b>
3.1 Тэнгэрийн жижиг биеийн хөдөлгөөн .....	41
3.2 Тэнгэрийн жижиг биеийн тойрог замын тооцоолол.....	44
<b>4 GPS ба Ионосфер</b> .....	<b>55</b>
4.1 GPS Дата систем.....	55
4.2 GPS Ионосферийн судалгаа.....	58
4.3 Ионосфер дэх электроны нийт агууламжийн спектр анализ.....	78
<b>5 Бүтээлийн жагсаалт ба сурталчилгаа</b> .....	<b>85</b>
5.1 Эрдэм шинжилгээний өгүүлэл .....	85
5.1.1 Гадаадад хэвлэгдсэн бүтээл.....	85
5.1.2 Дотоодод хэвлэгдсэн бүтээл.....	86
5.1.3 Гадаадад хэлэлцүүлэгдсэн илтгэлүүд.....	87
5.1.4 Дотоодод хэлэлцүүлэгдсэн илтгэлүүд.....	89
5.2 Сурталчилгаа ба бусад.....	90
6 Дүгнэлт.....	91
<b>7 Хавсралт (Үр дүнгийн даалгавар, санхүүжилт)</b> .....	<b>94</b>

## Нэр томьёо

- **Титэм** - Corona - Корона
- **Дөл** – Prominence - Протуберанец
- **Тэсрэлт** – Flare - Вспышка
- **Радио гялбаа** - Radio burst - Радиовсплеск
- **Толбо** – Sunspot - Солнечное пятно
- **Соронзон шугамын дахин хуваарилалт** -Magnetic reconnection –  
Магнитное пересоединение
- **Н-альфа шугам-устөрөгчийн атомын шугам**
- **Нарны идэвхжил** - solar activity - солнечная активность
- **Ионосфер** (Цэнэгт мандал) -Ionosphere -Ионосфера
- **Электроны нийт агууламж** -Total electron content -  
Полное электронное содержание

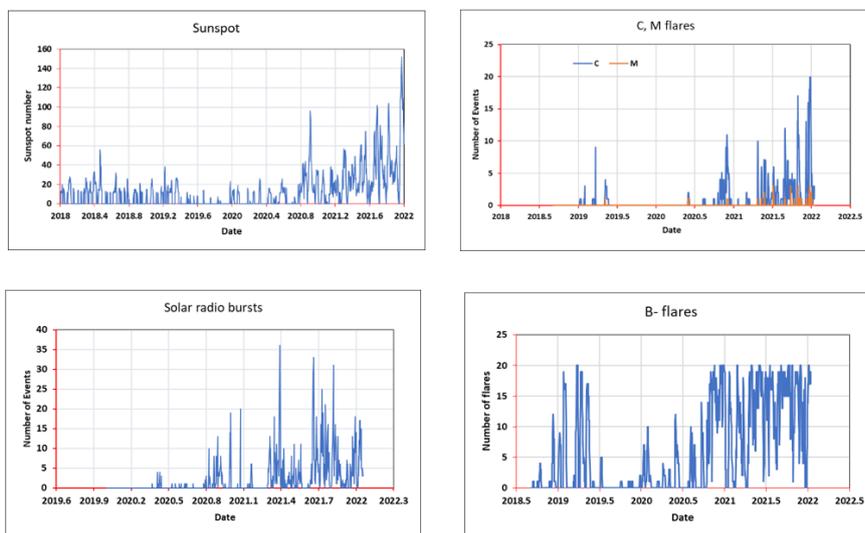
## 1 ТОВЧ АГУУЛГА (РЕФЕРАТ)

Тайлан нь (1) Нарны Н-альфа ажиглалт, хэт ягаан цацраг ба радио гялбаа, (2) Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн, (3) GPS Ионосфер гэсэн үндсэн гурван хэсгээс бүрдэнэ.

### 1.1 Н-АЛЬФА АЖИГЛАЛТ, ХЭТ ЯГААН ЦАЦРАГ БА НАРНЫ РАДИО ГЯЛБАА

“Нарны титэм, дөл, тэсрэлтийн физик шинж чанарын судалгаа” төслийн хүрээнд: Нарны коронограф дурангаар спектрийн Н-альфа шугам дээр Нарны тэсрэлт, дөл, идэвхт мужийн ажиглалт хийх, тэдгээрийн физик параметрийг тодорхойлох, тайлбарлах тооцоолол хийх, Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийг  $365\text{нм}\pm 12\text{нм}$ ,  $312\text{нм}\pm 12\text{нм}$  долгионы мужууд дээр хэмжилт хийж улирал, нарны идэвхжилийн цикл зэргээс хамаарах холбоог нарийвчлан байгуулах, Нарны радио гялбааны спектрт анализ хийх, түүний үндсэн параметруудийг тооцоолох программ зохиох зэрэг ажлуудыг өнгөрсөн хугацаанд хийж гүйцэтгэсэн.

**a)** Нарны идэвхт үзэгдлүүдийн Н-альфа ажиглалтаас Нарны идэвхжилийн 25-р циклийн эхний (2020 оны 8-р сарын 08-ны) тэсрэлтийн физик параметруудийг тодорхойлох, дүн шинжилгээ хийх ажлыг хийсэн.



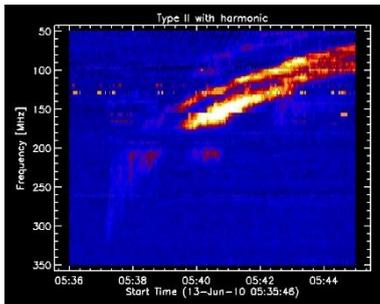
**Зураг 2.5.** Шинэ циклийн эхлэл үеийн Нарны толбо болон тэсрэлтийн үүссэн цаг хугацаа ба тоо хэмжээ.

2019 онд Нарны идэвхжилийн 24-р цикл дуусаж 25-р шинэ циклийн анхны толбо, тэсрэлтүүд гарч ирсэн гүнзгий минимумийн үе байлаа. Нарны дөл,

тэсрэлт болон идэвхт мужийн ажиглалтыг 100 гаруй удаа хийж судалгааны материал хуримтлуулав.

**b)** 25-р шинэ циклийн анхны тэсрэлтийг (NOAA 12770) ажиглаж түүний зарим физик параметруудийг тодорхойлсон үр дүнг харуулсан.

**c)** Нар нь цахилгаан соронзон долгионы радио мужид хэд хэдэн төрлийн механизмаар цацраг гаргадаг. Түүний нэг нь тогтмол бусаар богино хугацаанд



ажиглагддаг **радио гялбаа** (radio bursts) юм.

2009 оноос e-CALLISTO Олон улсын сүлжээнд нэгдэн Улаанбаатар, Даланзадгад хотод ажиглалтын хоёр станц байгуулан ажиллаж байна. Зурагт радио долгион үндсэн ба гармоник гэсэн хоёр давтамжаар тод зэрэгцэн

харагдаж давтамжийн дагуу шилжиж байгааг харууллаа. Үүслийн механизмаараа өөр таван төрлийн радио гялбаа байдаг бөгөөд бид 3-р төрлийн гялбааны хувьд тооцоо хийснийг тайланд тусгав. Энэ тохиолдолд долгионы давтамж плазм дахь ленгмюрийн давтамжид ойр байдаг ( $\nu \approx 9000\sqrt{n_e}$ ). Ихэнх тохиолдолд Нарны титэмд үүсэх бөгөөд титмийн электрон нягт  $n_e$  Нарны төвөөс холдох тусам багасдаг тул радио долгионы давтамж богино тал руу шилжинэ. Нарны радио гялбааны олон тооны ажиглалтаас “fit” хийн тодорхойлсон давтамж шилжилтийн хурдны ( $dv/dt$ ) давтамжийн хамаарал нь статистик тэнцвэрийн хуулиар тодорхойлсон титмийн электрон нягт  $n_e(r)$  –ийн утгаар тооцоолсон үр дүнтэй нийлэхгүй байгааг сайжруулах зорилгоор “scale height (H) буюу хуваарьт өндрийг зайнаас хамаарсан ( $\alpha$ ) жин бүхий хоёр гишүүний комбинаци буюу  $H = \alpha\lambda_T + (1 - \alpha)f(r)$  хэлбэртэй авч тооцоолсон юм. Үүнийг тооцсон тэгшитгэлийг интегралчилсаны дараа электрон нягтыг тодорхойлох дараах томъёог гарган авсан.  $n_e = n_0(1 + y)^{-1/(1-\alpha)b}$ ,  $y = \frac{1-\alpha}{\alpha} b \frac{r}{\lambda_T}$ . Тухайн тохиолдол буюу параметруудийн дундаж утгын хувьд  $n_e = n_0(1 + 0.017 \cdot h)^{-2.38}$ . Энэ нь Нарны титмийн сууриас Дэлхийн тойрог зам хүртэлх зайд ажиглалт, бусад тооцооллын утгуудаас хол зөрөхгүй байна. Давтамж шилжилтийн хурдны (FDR-frequency drift rate) хувьд харьцангуй ерөнхий хамаарал  $dv/dt \sim -\nu^{2(1-\alpha)b+1}$  гарган авсан.

**d)** Хүрэл тогоот дахь хэмжилтийн байнгын цэг болон хээрийн судалгааны цэгүүдэд Нарны хэт ягаан цацрагийн 365нм ба 312нм долгионы орчим мужид

хэмжилт хийж өгөгдөл хуримтлуулан 2008-2019 онд хийсэн хэмжилтийн материалыг ашиглан агаар мандлын тунгалгийн коэффициент, цацрагийн эрчмийн улирлын өөрчлөлтийг тодорхойлсон.

## **1.2 Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн**

Бага жинтэй хүчний тусламжтайгаар Дэлхийтэй мөргөлдөж аюул учруулж болох бага гаригуудын тойрог замыг өөрчлөн аюулгүй болгох боломжтойг харуулсан онолын хэд хэдэн тооцоог хийв. Дэлхийтэй мөргөлдөж болох тэнгэрийн биеийг зайлуулах хамгийн хялбар арга бол пуужингаар харвах боловч энэ тохиолдолд тооцоолоход бэрх олон хэсэг болж олон чиглэлээр тархах нь бүр ч аюултай болж болно. Иймд боломжит бага хүчээр тэнгэрийн биеийг эвдэлгүйгээр тойрог замыг нь өөрчлөх нь зөв шийдэл болох юм. Дэлхийд аюултай байж болох 66 бага гаригийг НАСА-ийн сайтаас авч 1Н хүчний хувьд тооцоолол хийв.

1. Диаметр нь 55м хүртэлх 19 бага гаригийн хувьд 1Н хүчээр ойролцоогоор жилийн хугацаанд тойрог замаас нь хазайлгаж аюулгүй болгох боломжтой. Үет гажилт тооцно.
2. 55 метрээс их диаметртэй бага гаригийн хувьд 1Н хүчээр жилийн хугацаанд аюулгүй тойрог замд шилжүүлэх боломжгүй. 1Н хүчийг 20Н, 200Н болгон өөрчлөхөд өөр өөр үр дүн гарна.

Үр дүнгээр э/ш-ний өгүүлэл гурвыг гадаадын имфакт фактортай сэтгүүлд хэвлүүлсэн.

## **1.3 GPS БА ИОНОСФЕР**

Байнгын GPS станцуудын тасралтгүй ажиллагааг хангах ULAB, HOVD, CHOB, DALN станцуудын мэдээг хөрвүүлэх, архивлах, боловсруулах, GPS хурдны өөрчлөлтийг Дэлхийн тулгуур тогтолцоонд тодорхойлох, хянах, ионосфер дэх электроны агууламжийн өөрчлөлтийг судлах ажлыг хийсэн.

Ионосфер давхаргын электроны нийт агууламжийн (ЭНА) хэлбэлзлийг Нарны идэвхт үзэгдлүүд болон гео-соронзон шуурга зэрэгтэй хэрхэн хамааралтай байгааг судалж, түүний урт болон богино хугацааны үеүдийг Фурье, Вейвлет аргуудаар тодорхойлсон.

Нарны титмээс шидэгдсэн масс, дөл, тэсрэлт зэрэг идэвхт үзэгдлүүдийн флуктуацийн нийлбэр нөлөөг Нарны хэлбэлзэл (solar variation) гэнэ. Нарны

гравитацийн орон дахь Нарны хэлбэлзлийн нийлбэр нөлөөг сансрын цаг агаар гэдэг. Сансрын цаг агаарын гол бүрэлдэхүүн хэсэгт Нарны тэсрэлтээс үүсэн гарах бөөмс болон Нарны дээд агаар мандлаас гарах плазмын урсгал орно. Сансрын цаг агаарын огцом хэлбэлзэл нь Дэлхийн ионосферийн давхаргыг долгисуулж шуурга үүсгэн цахилгаан холбоог гэмтээх, Дэлхийн магнетосферт геосоронзон шуурга, ионосферт гэнэтийн огцом долгисол үүсгэдэг. Ионосфер дэх чөлөөт электроны агууламжийг олон жилийн туршид өндөр давтамжийн геостационар байрлалтай Фарадейн техникээр хийж ирсэн бол GPS техник гарч ирснээр энэ чиглэлд шинэ боломж гарч ирсэн юм. GPS-ийн олон дагуулууд, газрын олон станцууд нь ионосферийн судлах талбайг бага зардал, хялбар аргаар глобаль масштабт хүргэсэн болно. Сансрын геодезийн бусад техникүүд байршил тодорхойлох үндсэн зориулалтаас гадна ионосфер, тропосферт дохио саатсан мэдээллийн өөрчлөлтөөс тус давхаргууд дахь чөлөөт электроны болон тунадасжих усны уурын агууламжийг тодорхойлдог. Бид GPS техникээс ионосферийн давхарга дахь чөлөөт электроны хэмжээг тодорхойлж Нарны идэвхт үзэгдлүүд болон бусад геофизикийн үзэгдлүүдтэй холбон судлах ажлыг үргэлжлүүлэн хийж байна. Уг тайлангийн хугацаанд GPS мэдээтэй холбоотой олон сэдвийн ажлууд хийгдэж байгаа боловч энд (1) GPS Дата Систем (GPS станцуудаас судалгааны мэдээ цуглуулах, мэдээллийн сангийн зохион байгуулалтыг сайжруулах тогтмол үйл ажиллагаа) ба (2) GPS Ионосфер (анхдагч мэдээг ионосферийн судалгаанд зориулан боловсруулах, тайлал хийх, зүй тогтол, уялдаа холбоог таамаглах) гэсэн үндсэн хоёр чиглэлийг нийтэлж байна.

Тайлангийн хугацаанд гадаадад 8 өгүүлэл, дотоодод 10, илтгэл гадаадад 14, дотоодод 10, гэрээт ажил 1-ийг хийж төслийн гэрээнд заасан техникийн даалгаврыг бүрэн биелүүлсэн болно. Шинжлэх ухааныг сурталчлах чиглэлээр: Одон орон судлалын ололт амжилт, тус хүрээлэнд явуулж буй судалгааны ажлуудын талаар мэдээллийн бүх сувгаар өргөн олонд тогтмол лекц яриа 50 удаа хийж, хялбаршуулсан товхимол-1, “Нэг эрдэмтэн-нэг лекц” -1 гаргасан байна.

**Түлхүүр үг.** Нарны идэвхжил, Нарны идэвхт үзэгдлүүд, Нарны хэт ягаан цацраг, Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн, GPS, Ионосфер, Электроны нийт агууламж

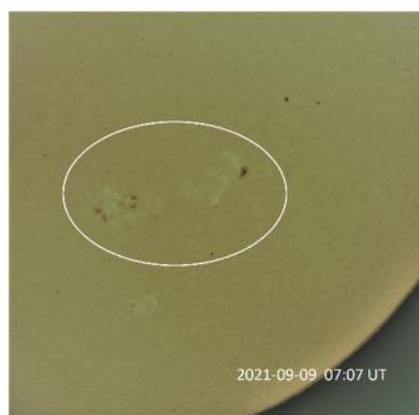
## 2 НАРНЫ ИДЭВХТ ҮЗЭГДЛҮҮДИЙН ФИЗИК ШИНЖ ЧАНАРЫН СУДАЛГАА

Нарны агаар мандлын хоёр дахь давхарга бол өнгөт мандал (chromosphere) юм. Нарны бүтэн хиртэлтийн үед улбар ягаан өнгийн нимгэн цагариг ( $\sim 4000\text{km}$  орчим зузаантай) байдлаар өнгөт мандал Нарны бүтэн хиртэлтийн үед авсан 2.1а-р зураг дээр дөлний хамт харагдана.

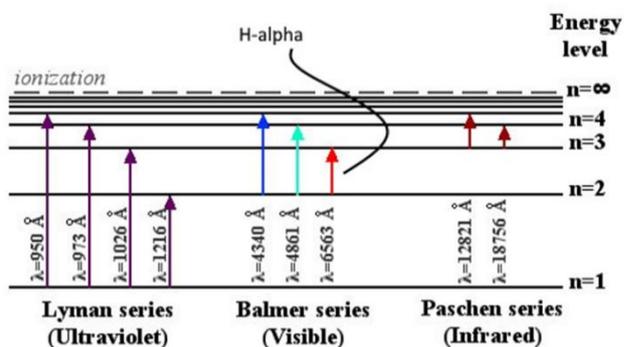


**Зураг 2.1а.** 2008 оны 8-р сарын 01-нд Монгол орны Баян-Өлгий, Ховд аймгийн нутгаар дайран өнгөрсөн Нарны бүтэн хиртэлт. Алтай сумын “Өвдгийн үзүүр” гэдэг газар авсан зураг (Д.Батмөнх нарын авсан).

Нарны өнгөт мандал болон дөл, тэсрэлтүүд нь устөрөгчийн атомын спектрийн Н-альфа шугамаар (зураг 2.2) хурц тод харагдана. Устөрөгчийн атомын энергийн түвшиний схемийг 2.2-р зургаар харууллаа.

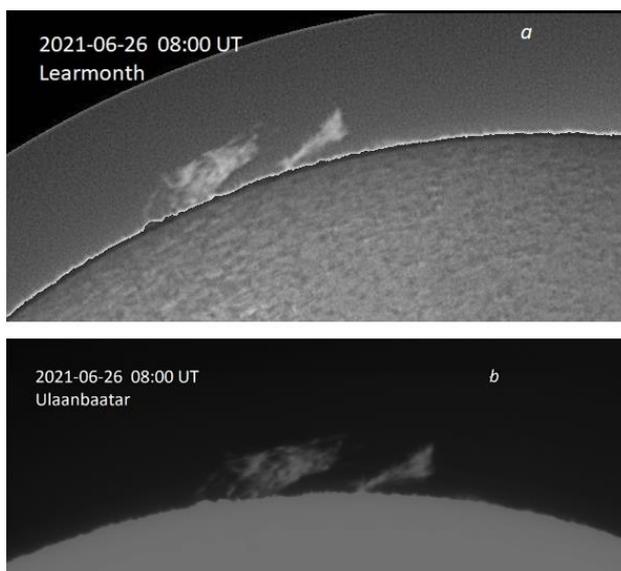


**Зураг 2.1в.** Коронограф дурангаар авсан Нарны толбо болон идэвхт муж.



**Зураг 2.2.** Устөрөгчийн атомын спектрийн шугамын Лайман, Бальмер ба Пашен цуврал.

Нарны хувьд Н-альфа шугам хэд хэдэн механизмаар өргөсдөг бөгөөд түүний өргөн  $-1\text{\AA} \div +1\text{\AA}$  ( $\Delta\lambda \sim 2\text{\AA}$ ) байдаг тул нарийвчлал сайтай шүүлтүүр нь шугамын профилийн хэд хэдэн цэгт (шугамын төвөөс хоёр зах руу) шилжүүлэн ажиглаж болно. Энэ нь өнгөт мандлаас (шугамын төв) доош гэрэлт мандал руу (шугамын зах) хэд хэдэн өндөр дэх үзэгдлийг ажиглах боломжийг өгдөг.

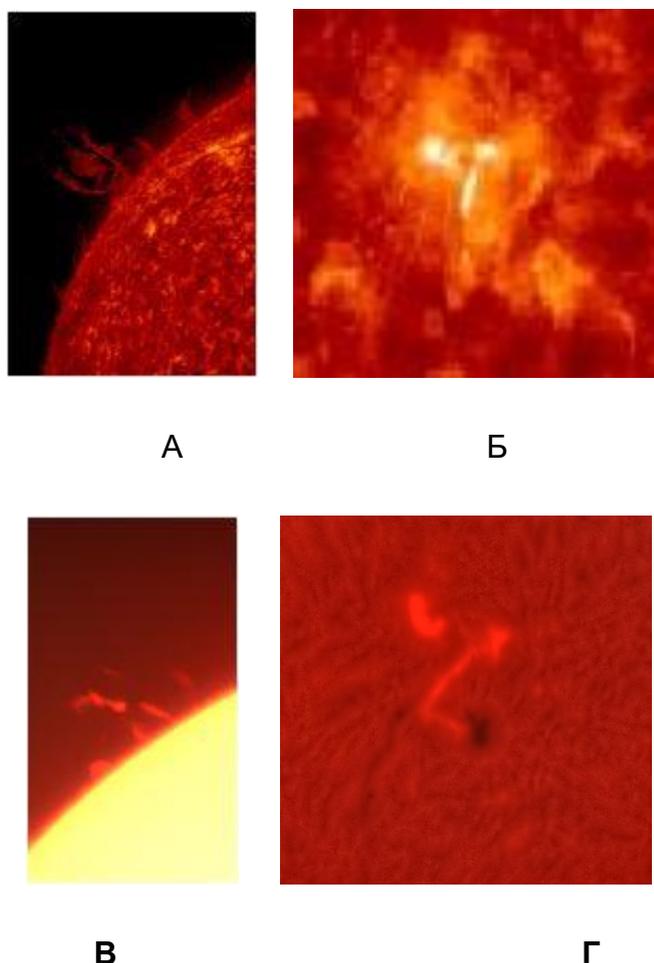


**Зураг 2.3.** 2021 оны 6-р сарын 26-ны Нарны идэвхтэй дөл. **a.** Learmonth solar observatory (Australia), **b.** Хүрэл Тогоот Одон орон судлалын оргилд авсан дөл.

Бидний авч байгаа мэдээлэл судалгааны чанарыг хангаж байгааг харуулах үүднээс Дэлхийн түвшинд авч байгаа зурагтай харьцуулан үзүүлэв (зураг 2.3).

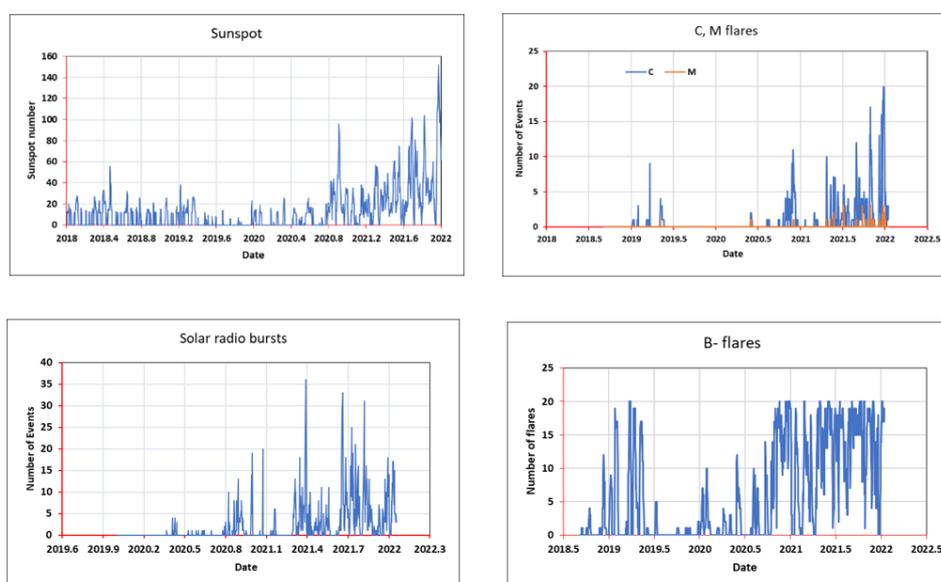
## 2.1 Идэвхт үзэгдлүүдийн Н-альфа ажиглалт, тооцоолол

Устөрөгчийн Н-альфа шугамаар Нарны өнгөт мандалд ажиглагдах идэвхт муж, тэсрэлт болон титэм дэх дөлийг ажигладаг. 2018-2020 он Нарны идэвхжилийн минимум байсан тул идэвхт үзэгдлүүд харьцангуй цөөн ажиглагдсан байна. 2.4.-р зурагт Нарны гадаргуугийн хавтгай дээр гарч ирсэн нарны идэвхжилийн 25-р шинэ циклийн эхний тэсрэлтийн Н-альфа ажиглалтыг сансраас авсан зурагтай харьцуулан харуулсан байна. Хэдийгээр тэсрэлт нь титэмд “magnetic reconnection” механизмаар үүсдэг ч гэсэн үргэлжлэл нь завсрын бүс, өнгөт мандал зэрэг физик нөхцөлөөр эрс өөр орчинд ажиглагдана.



**Зураг 2.4.** 2020 оны 8-р сарын 14-нд ажиглагдсан идэвхт дөл ба тэсрэлт. **А,Б**-HeII  $\lambda 304\text{\AA}$  сансрын SDO станцаас авсан дөл болон тэсрэлтийн зураг; **В, Г** -H $_{\alpha}$   $\lambda 6563\text{\AA}$ , “Хүрэл тогоот” Одон орон судлах оргилд авсан дөл болон өнгөт мандлын тэсрэлтийн зураг.

Эдгээр дүрсүүд Нарны агаар мандлын өөр өөр давхаргад хамаарагдах боловч уг үзэгдлийн (титмээс шидэгдэх масс) шинж байдлыг нөхөн харуулж байна. Нарны идэвхжилийн далайц, үргэлжлэх үеийг тодорхойлдог үзүүлэлтүүд бол нарны толбо, тэсрэлтийн тоо болон соронзон орноор холбогдсон бусад идэвхт үзэгдлүүд юм. Нарны идэвхжилийн циклийн урт дунджаар 11 жил байдаг бөгөөд өнгөрсөн хугацааны циклүүд дотор хамгийн урт нь 14, богино нь 9 жил байсан. Харин 24-р цикл 11 жил үргэлжилсэн байна.



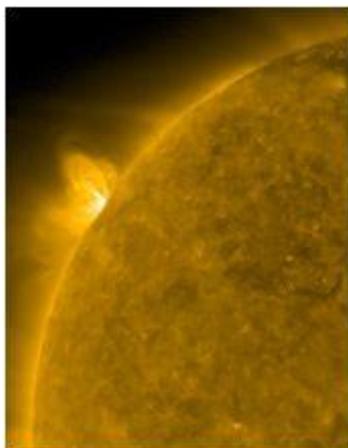
**Зураг 2.5.** Шинэ циклийн эхлэл үеийн Нарны толбо болон тэсрэлтийн үүссэн цаг хугацаа ба тоо хэмжээ.

2019-2020 оны хооронд 24-р циклийн толбонууд дуусаж, 25-р циклийн эхний толбонууд гарч ирсэн байна. 2.5-р зургаас харахад шинэ цикл 2019 оны сүүлчээр эхэлсэн болох нь толбо, тэсрэлт болон радио гялбааны ажиглалтын цуваанаас тодорхой байна.

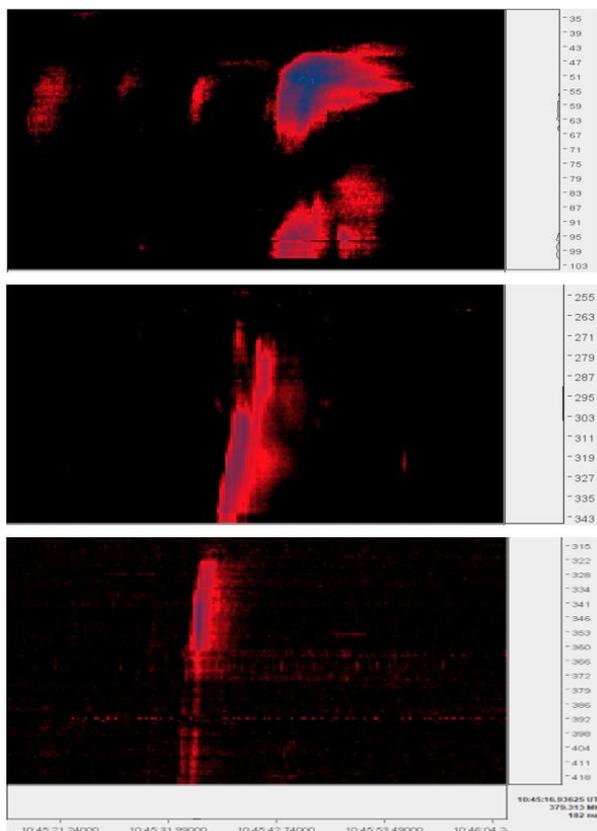
Нарны идэвхжил нь соронзон орноор холбогдсон, агаар мандлын орон зайн бүхий л хэмжээсийг хамарсан олон төрлийн үзэгдлүүдийн нийлмэл иж бүрдэл бөгөөд нэг нь нөгөөгийнхөө үүслийн шалтгаан, үр дагавар болдог уялдаа бүхий үзэгдлүүдээр тодорхойлогдоно.

Тэдгээрийн нэг нь Нарны тэсрэлт юм. Шинэ циклийн эхний тэсрэлтүүдийн ажиглалтын дүнг 2.1-р хүснэгтэд харуулав.

Эхний гурван тэсрэлт (5-р сарын 29-ны) Нарны гадаргуу хавтгайн ирмэг орчимд болсон тул тэсрэлтийн ихэнх параметруудийг тодорхойлох боломжгүй байна (зураг 2.6).



**Зураг 2.6.** SDO/AIA 171Å. 2020 оны 5-р сарын 29-ны тэсрэлт нь Нарны гадаргуу хавтгайн ирмэгт буюу Нарны тэргэлийн N32E89 координатын цэгт тохиолдсон байна. Эх сурвалж: <https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/aiahmi/>.



**Зураг 2.6.** 2020 оны 5-р сарын 29-ны M1.2 тэсрэлтээс үүссэн радио гялбаа.

Нарны тэргэлийн захад 10:41UT цагт болсон тэсрэлтийн үед маш урт үргэлжилсэн радио гялбааны спектр ажиглагдсан байна. Зураг 2.6 дээрх радио гялбааны спектрээс харахад 420MHz – 40MHz хооронд урт үргэлжилсэн байна. Хуримтлагдсан соронзон орны энерги кинетик ба дулааны энерги болон хувирдгаас үзэхэд энэ тохиолдолд тэсрэлтийн

энергийн нэлээд хэсэг эгэл бөөмсийг хурдасгахад шилжсэн байна. Бусад хоёр тэсрэлтийн хувьд радио гялбаа ажиглагдаагүй байна.

**Хүснэгт 2.1.** Нарны идэвхжилийн 25-р циклийн эхний тэсрэлтүүд.  
 “Хүрэл тогоот” Одон орны оргилд ажигласан тэсрэлтийг өнгөөр тодруулсан байна.

Үзэгдлийн №	Байрлал	Балл	Эхлэл, UT	Оргил, UT	Төгсгөл,UT
20200529_0718	N32E89	M1.2	07:18:00	07:24:00	07:54:00
20200529_1041	N32E89	C9.4	10:41:00	10:46:00	10:50:00
20200529_1403	N32E89	C1.1	14:03:00	14:22:00	14:41:00
20200808_0342	N24E21 NOAA 12770	C1.5	03:42:00	03:49:00	04:15:00
20200815_0632	NOAA 12770 N26W71	C2.1	06:32:00	06:47:00	07:00:00

Нарны гадаргуугийн хавтгай дээр гарч ирсэн NOAA 12770 идэвхт мужид хоёр тэсрэлт (2020-08-08), (2020-08-15) болсон. 2020 оны 8-р сарын 08-ны тэсрэлтийн зургийг “Хүрэл тогоот” Одон Орон Судлах Оргилын Коронограф дурангаар устөрөгчийн Н-альфа шугам дээр авч боловсруулсан болон олон улсын SDO ба SOHO сансрын станцын бүртгэсэн мэдээллийн (хүснэгт 2.1) зарим дүнг энэхүү ажилд тусгасан юм.

- Тооцооллын томъёонууд

Нарны тэсрэлт нь 10-20 минутад  $\sim 10^{32}$  эрг орчим энерги ялгаруулж цахилгаан соронзон долгионы бүхий л мужид цацраг гаргаж өнгөт мандал, титэм зэрэг агаар мандлын орон зайг хамарна. Эрчим ихтэй тэсрэлтийн үүслийн механизмыг соронзон оронд хуримтлагдсан энерги соронзон орны бүтэц эвдэрч шинэчлэгдэхэд (*magnetic reconnection* - соронзон шугамын дахин холбогдолт) энерги олон янзын хэлбэрт (цацраг, дулаан, масс шидэлт, долгион тархалт, их энергитэй бөөмсийн урсгал зэрэг) шилжин орчинд тархах үзэгдлээр тайлбарлаж байна.

Тэсрэлтийн явцад чөлөөлөгдөх энерги  $E_{flare}$  нь Нарны агаар мандалд хадгалагдсан соронзон орны энергиэр тодорхойлогдоно. (Shibata, K. & Magara, T., 2011), (Nagashima, K. & Yokoyama, T., 2006), (Isobe, H., Takasaki, H. & Shibata, K., 2005) ажлуудаас дараах томъёонуудыг авч тооцооллыг үйлдэв.

$$E_{flare} = \frac{B^2}{8\pi} L^3 \simeq 10^{33} \left( \frac{B}{10^3 G} \right)^2 \left( \frac{L}{3 \times 10^9 cm} \right)^3 \text{ erg.}$$

$B$ - Нарны титмийн соронзон орны тодорхойлогч (characteristic, онцлох) нягт ,  
 $L$ - тэсрэлтийн тодорхойлогч урт.

Чөлөөлөгдөх энергийн хурд:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{v_i B^2 L^2}{4\pi} \sim 4 \times 10^{28} \left( \frac{v_i}{100 km s^{-1}} \right) \left( \frac{B}{100 G} \right)^2 \left( \frac{L}{2 \times 10^9 cm} \right)^2 \text{ erg/s.}$$

Соронзон шугамын дахин хуваарилалтын ( $M_A$ ) хурдыг  $v_i = L/4t_{flare}$  (inflow velocity) болон Альфен хурд  $v_A = B/\sqrt{4\pi\rho}$  хоёрын харьцаагаар тодорхойлно. Ийнхүү титмийн бөөмсийн нягт  $\rho$ , тэсрэлтийн тодорхойлогч урт, соронзон урсгалын нягт болон тэсрэлтийн үргэлжлэх хугацаа ( $t_{flare}$ ) зэргийг ажиглалтаас тодорхойлсноор дахин хуваарилалтын хурд  $M_A = v_i/v_A$  -ийг тооцоолж харьцуулсан үнэлгээ хийнэ. Титмийн соронзон орон ( $B$ ), температур ( $T$ ) болон бөөмсийн агууламжаар ( $n_0$ ) эмисс хэмжүүрийг ( $EM$ ) дараах томъёогоор тооцоолно.

$$EM \simeq 10^{48} \left( \frac{B}{50 G} \right)^{-5} \left( \frac{n_0}{10^9 cm^{-3}} \right)^{3/2} \left( \frac{T}{10^7} \right)^{17/2} cm^{-3}.$$

Хамгийн бэрхшээлтэй зүйл бол титмийн тухайн өндөр (тэсрэлт болсон өндөр) дэх соронзон орныг ( $B$ ) тодорхойлох явдал байдаг. Хэрэв хуримтлагдсан соронзон тэсрэлтийн үед дулааны энерги болон хувирсан ( $B_{cor}^2/8\pi \simeq n_{loop}kT$ ) гэж үзвэл

$$B_{cor} \approx 8.32865 \times (n[10^{10}]T[MK])^{1/2}.$$

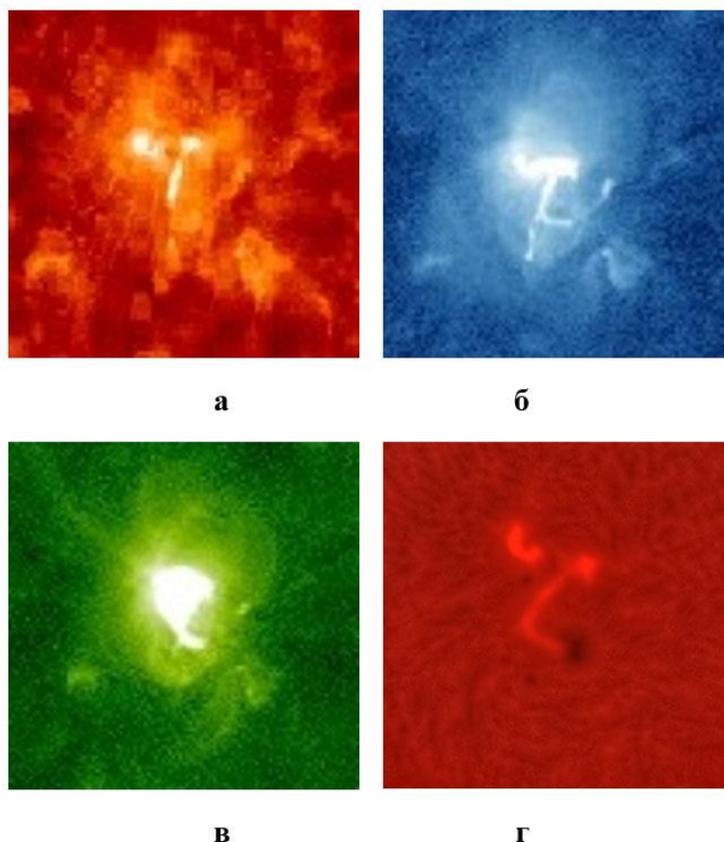
Хэрэв титмийн нягт  $n = 10^9$ , температур  $T[MK] = 2$  бол  $B_{cor} \simeq 1.18G$  болно.

- Ажиглалт, хэмжилт

Нарны гадаргуу дээр тэсрэлтийн тодорхойлогч уртыг ( $L$ ) тодорхойлж болох анхны тэсрэлт бол 2020 оны 8-р сарын 08-ны NOAA 12770 идэвхт мужид үүссэн C1.5 ангиллын тэсрэлт юм. Энэхүү тэсрэлтийг цахилгаан соронзон цацрагийн хэд хэдэн долгионы уртад сансрын SDO станц дээр авсныг “ Хүрэл тогоот” Одон Орон Судлалын Оргилд устөрөгчийн  $H_{\alpha}$  шугам дээр авсан зурагтай харьцуулан харууллаа (2.7-р зураг). Эдгээр нь нарны агаар мандлын янз бүрийн өндөрт тэсрэлт хэрхэн явагдаж байгааг харуулна. Тухайлбал,  $H_{\alpha}$  зураг өнгөт мандлын түвшин (зураг 2.7г) болон  $HeII \lambda 304\text{\AA}$  завсрын бүсэд дэх үйл явцыг (зураг 2.7а),  $FeXVI \lambda 335\text{\AA}$ ;  $FeXVIII \lambda 94\text{\AA}$  титэм ба тэсрэлтийн халуун плазм дахь физик нөхцөлийг (зураг 2.7б,в) харуулж байна. Нарны агаар мандлын өндрийн аль ч түвшинд тэсрэлтийн ерөнхий геометр хэлбэр ( $L$  хэмжээс) өөрчлөгдөхгүй байгаа боловч эрчмийн чадал, соронзон орны нарийн бүтэц, температур өөр өөр байна. Жишээ нь, титмийн орчинд ( $10^6 - 10^7 K$ ) тэсрэлт нэлэнхийдээ үргэлжилсэн (2.7б,в-р зураг) байхад, өнгөт мандал, завсрын бүс ( $10^4 - 10^5 K$ ) зэрэгт хоорондоо холбоогүй мэт тод цэгүүд (2.7а,г) дүрсээр ажиглагдаж байна.

Тэсрэлт үргэлжилсэн хугацаа ( $t_{flare}$ ), соронзон орон ( $B$ ), хэмжээ ( $L$ ), эрчим зэргийг ажиглалтаас тодорхойлно. Хүснэгт 2.1-ээс  $t_{flare} = 420\text{сек}$  буюу эхлэл үеэс оргил үе хүртэлх хугацааг авна. Титмийн нягт ихэнх тохиолдолд  $\rho \approx 1.67 \times 10^{-15} \text{г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Тэсрэлт титэмд эхэлж явагддаг тул рентген муж дахь SXR зургийг ашиглан тодорхойлогч уртыг ( $L$ ) тодорхойлно. Үүнийг олохын тулд  $FeIX \lambda 171\text{\AA}$  шугам дээр авсан зургийг ашиглав ([www.SolarMonitor.org](http://www.SolarMonitor.org)). Нарны бөмбөрцөг гадаргуу дээр байгуулсан координатын системийг ашиглан  $L$ -ийг олох боломжтой (2.8-р зураг).

Харьцуулсан дүн шинжилгээ хийх зорилгоор гурван тохиолдол сонгон авч тооцоолсон бөгөөд  $L_{1,2,3}(\text{arcsec}) = 69.43; 62.17; 30.16$  болно. Дараа нь шугаман хэмжээ рүү нарны радиусын утгаар  $L = (\text{arcsec})/960 \times 696000\text{км}$  гэж шилжинэ. Эцэст нь  $L_{1,2,3}(\text{см}) \approx 5.03 \times 10^9; 4.5 \times 10^9; 2.19 \times 10^9$ . 2.4-р зурагтай харьцуулж үзэхэд хамгийн алдаа багатай байж болох геометр хэмжээ бол  $4.5 \times 10^9$  буюу  $L_2$  юм.



**Зураг 2.7.** 2020 оны 8-р сарын 08-нд NOAA 12770 идэвхт мужид ажиглагдсан тэсрэлт. **а**-HeII  $\lambda 304\text{\AA}$  (Chromosphere & transition region); **б**-FeXVI  $\lambda 335\text{\AA}$ ; **в**-FeXVIII  $\lambda 94\text{\AA}$  (Corona & hot flare plasma); эдгээр нь долгионы хэд хэдэн мужид сансрын SDO станцаас авсан оргил үеийн зургууд; **г**-H $_{\alpha}$   $\lambda 6563\text{\AA}$ , 03:50:44UT, “Хүрэл тогоот” Одон орон судлах оргилд авсан тэсрэлт, өнгөт мандлын зураг.



**Зураг 2.8.** Тэсрэлтийн тодорхойлогч уртыг (L) гурван тохиолдолд сонгон авсан байдал (хар зураасаар тэмдэглэсэн). [www.SolarMonitor.org](http://www.SolarMonitor.org) сайтаас координат бүхий зургийг ашиглав.

Соронзон орны хувьд (Nagashima, K. & Yokoyama, T., 2006), (Isobe, H., Takasaki, H. & Shibata, K., 2005) зэрэг ажлаас үзэхэд C ангиллын тэсрэлтүүд ихэвчлэн дунджаар  $B \sim 10\text{-}100\text{G}$  үед, X ангиллын тэсрэлтүүд  $B \geq 200\text{G}$  үед үүсдэг байна.

- Тооцооллын үр дүн

20200808\_0342 тэсрэлтийн талаар сансрын SDO болон SOHO станцын авсан мэдээллээс тэсрэлтийн геометр хэмжээ, тэсрэлтийн үргэлжлэх хугацааг тодорхойлон дахин хуваарилалтын хурд (reconnection rate-RR), тэсрэлтийн явцад чөлөөлөгдөх энерги, чөлөөлөгдөх энергийн хурд болон эмисс хэмжүүр зэргийг тооцоолов.

**Хүснэгт 2.2.** 2020 оны 8-р сарын 08-нд NOAA 12770 идэвхт мужид ажиглагдсан C1.5 ангиллын тэсрэлтийн параметрууд

$B(G)$	50			100		
$L(10^9\text{см})$	5.03	4.5	2.19	5.03	4.5	2.19
$E_{flare}(10^{31}\text{эрг})$	1.269	0.911	0.104	5.075	3.643	0.416
$dE/dt(10^{28}\text{эрг}/\text{с})$	1.898	1.363	0.156	7.592	5.451	0.622
$v_i$ (км/сек)	29.96	26.83	13.02	29.96	26.83	13.02
$v_A(10^3\text{км/сек})$	3.451	3.451	3.451	6.903	6.903	6.903
$M_A(10^{-3})$	8.681	7.773	3.771	4.34	3.887	1.885
$EM, \text{см}^{-3}(10^{49})$	5.065	3.873	0.669	24.7	18.89	3.26
$t_{flare}$ , сек	420					

Тэсрэлтийн тодорхойлогч уртыг ( $L$ ) 2.8-р зурагт байгуулсан гурван тохиолдол (алдааны хүрээг үнэлэхийн тулд ингэж авсан), соронзон урсгалын нягтыг  $B = 50G, 100G$  гэсэн хоёр утга дээр авч тооцооллыг гүйцэтгэсэн. Тооцооллын дүнг 2.2-р хүснэгтээр харуулав. Тэсрэлтийн загварыг сонгон авахад  $M_A$  буюу RR-ийн утга хязгаарлалт болж өгдөг.  $10^2 - 10^3$  секундйн тэсрэлтийг кулоны мөргөлдөөнөөр тайлбарлах боломжгүй бөгөөд ‘magnetic reconnection’ онолоор зохиосон тэсрэлтийн загваруудад үнэлгээ хийхэд  $M_A$ -ийн утга чухал байдаг. Олон зохиогчид X, M, C ангиллын янз бүрийн тэсрэлтүүд дээр  $M_A$  хурдыг тодорхойлсон байдаг (2.3-р хүснэгт).

(Yokoyama, T., Akita, K., Morimoto, T., Inoue, K. and Newmark, J., 2001) ажилд  $B \approx (16\pi nkT)^{1/2} = (12 \div 40)G[L/1.5 \times 10^5 \text{ км}]^{-1/4}$ .

Энд  $n = (0.8 \div 2.6) \times 10^{10} \text{ см}^{-3} (L/1.5 \times 10^5 \text{ км})^{-1/2}$ ,  $T = 2.7 \div 4.2 \text{ МК}$  гэж үзсэн байна. Тэгвэл  $L = 4.5 \times 10^9 \text{ см}$  тохиолдолд  $B \approx (16 \div 54)G$ . 2.4-р хүснэгтэд тооцооллын дүнг харуулав.

**Хүснэгт 2.3.**  $M_A$  утгууд

(Dere, 1996)	0.001-0.1
(Tsuneta, 1996)	0.07
(Ohyama, M. and Shibata, K., 1998)	0.02
(Yokoyama, T., Akita, K., Morimoto, T., Inoue, K. and Newmark, J., 2001)	0.001-0.03
(Isobe, H., Yokoyama, T., Shimojo, M., Morimoto, T., Kozu, H., Eto, S. Narukage, N. and Shibata, K., 2002)	0.001-0.01

2.3-р хүснэгтэд дурдсан зарим үр дүнтэй эрэмбээр тохирч байна. Ялангуяа (Ohyama, M. and Shibata, K., 1998) ажилд судалсан тэсрэлттэй төсөөтэй байна.

**Хүснэгт 2.4.**  $L(\text{см}) = 4.5 \times 10^9$ ,  $t_{\text{flare}} = 420 \text{ сек}$

$B(G)$	16	26	36	46	54
$M_A$	.2429E-01	.1495E-01	.1080E-01	.8449E-02	.7197E-02
$v_i$ (км/сек)	.2683E+02	.2683E+02	.2683E+02	.2683E+02	.2683E+02
$v_A(10^3 \text{ км/сек})$	.1104E+04	.1795E+04	.2485E+04	.3175E+04	.3728E+04

Эцэст нь дүгнэхэд 20200808\_0342 тэсрэлт өнгөт мандал ( $H_\alpha$ ), завсрын бүс ( $\lambda 304\text{\AA}$ ), титэм ( $FeXVI \lambda 335\text{\AA}$ ;  $FeXVIII \lambda 94\text{\AA}$ ) зэргийг бүхэлд нь хамарч харьцангуй бага хугацаанд эрчимтэй болсон байна. Харьцуулсан судалгаа, 2.4-р хүснэгтээр харуулсан тооцооллоос үзэхэд, титмийн соронзон орны нягт  $B \approx (16 \div 54)G$ , тэсрэлтийн голлох урт  $L = 4.5 \times 10^9 \text{ см}$  гэсэн урьдчилсан утгуудаар тооцоолоход “magnetic reconnection” хурд  $M_A \approx 0.01 - 0.02$  байна.

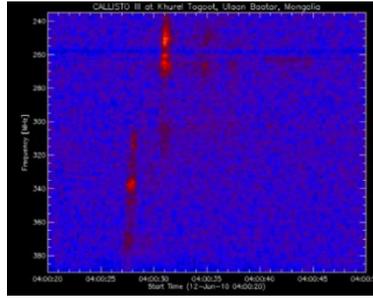
## 2.2 НАРНЫ РАДИО ГЯЛБАА (E-CALLISTO)

Нар нь цахилгаан соронзон долгионы радио мужид хэд хэдэн төрлийн механизмаар цацраг гаргадаг. Түүний нэг нь тогтмол бусаар богино хугацаанд

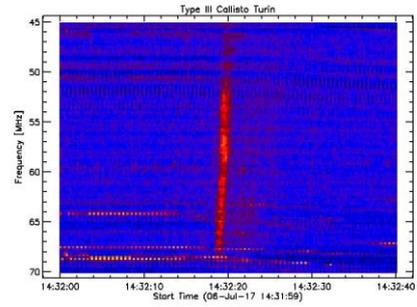
ажиглагддаг **радио гялбаа** (radio bursts) юм. 2009 оноос “CALLISTO” Олон улсын сүлжээнд нэгдэн Улаанбаатар, Даланзадгад хотод ажиглалтын хоёр станц ажиллаж байна. Үүслийн механизмаараа өөр таван төрлийн (I,II,III,IV,V) радио гялбаа байдаг бөгөөд бид III төрлийн гялбааны хувьд тооцоо хийснийг тайланд тусгав. Энэ тохиолдолд долгионы давтамж плазм дахь ленгмюрийн давтамжид ойр байдаг ( $\nu \approx 9000\sqrt{n_e}$ ). Ихэнх тохиолдолд Нарны титэмд үүсэх бөгөөд титмийн электрон нягт  $n_e$  Нарны төвөөс холдох тусам багасдаг тул радио долгионы давтамж богино тал руу шилжинэ. III төрлийн радио гялбааны үүслийн механизмын талаар хэд хэдэн онол байдаг боловч ихэнх судлаачдад хүлээн зөвшөөрөгдсөн нь Гинзбург, Железняков (*Ginzburg, V.L. & Zhelezniakov, V.V. 1958, Soviet Ast., 2, 653*) ба Melrose (*Melrose, D.B. 1980, Space Sci. Rev. 26, 3*) нарын бүтээлүүд юм. Спектрийн ажиглалтаас радио гялбааны давтамжийн шилжилтийн хурдыг (ДШХ) тооцоолж болно. Түүний хувьд олон тооны ажиглалтыг боловсруулан эмпирик томъёонууд гарган авсан байдаг. Ерөнхий хэлбэр нь  $dv/dt = -Av^\alpha$ ,  $\alpha > 1$ . Барометрийн томъёоноос харахад  $dv/dt = -Av$ , өөрөөр хэлбэл, давтамжаас шугаман хамааралтай ( $\alpha=1$ ) байна. Иймд онол, ажиглалт хоёрын ДШХ хоорондоо ихээхэн ялгаатай байна. Энэ талаар (*Benz, A.O., 2002, Plasma astrophysics, p.107-109*) ажилд дурдсан байна. Онол, ажиглалт хоёрыг ойртуулах хоёр боломж бий. Гялбаа үүсгэгчийн хурд буурах, эсвэл өндрийн хуваарь ихсэх явдал. Бид тайлангийн хугацаанд энэхүү ялгааг өндрийн хуваарь ихсэх ямар боломж байгааг тооцоолж тодорхой үр дүнд хүрсэн.

- Давтамж шилжилтийн хурдыг ажиглалтаас тодорхойлох

e-CALLISTO сүлжээний вэбсайт дахь радио гялбааны спектр болон Одон орон судлах оргилд ажигласан спектр зэрэгт боловсруулалт хийж ДШХ–ийг тодорхойлсон. ДШХ –ийг тодорхойлдог хэд хэдэн арга байдаг бөгөөд энэ судалгаанд зүсэлтийн (профилийн) максимум утгыг үүсгүүрийн гол хурд гэж үзсэн юм. Гурван давтамж дээр зүсэлт хийж тэдгээрийн максимум хоорондын зайгаар давтамж, хугацааг тодорхойлон ДШХ–ийн утгыг хүснэгтээр харуулав.

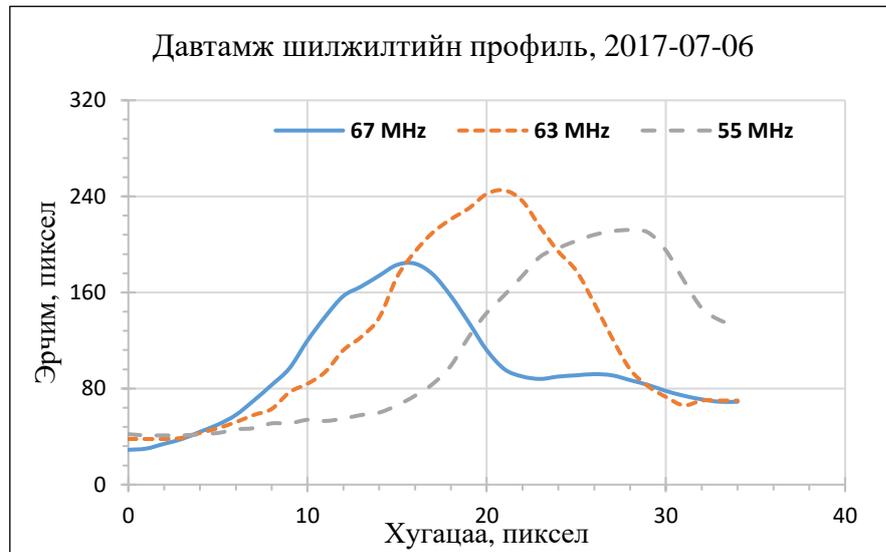


*a*



*b*

**Зураг 2.9.** III төрлийн радио гялбааны спектр. **A.** 2010-06-12, **b.** 2017-07-06

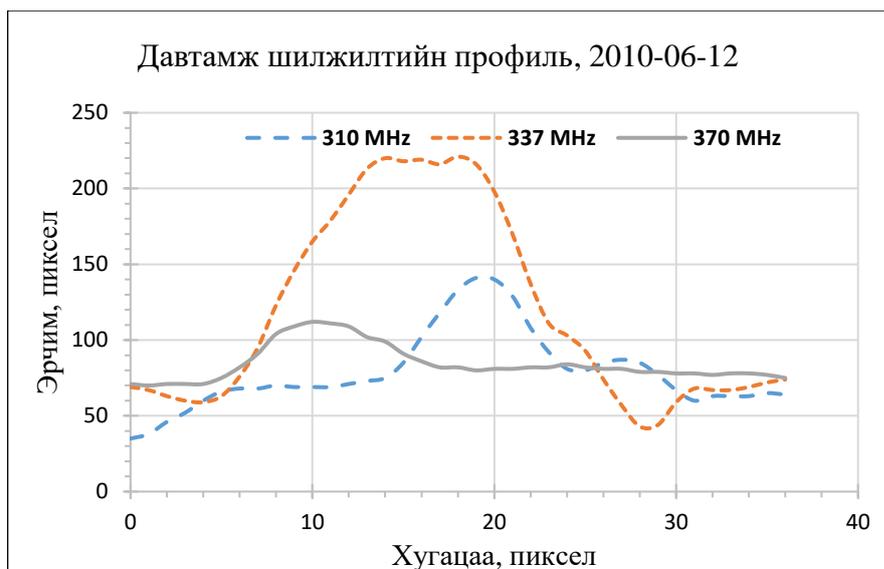


**Зураг 2.9а.** Давтамж шилжилтийн профиль.

**Хүснэгт 2.5а.**

12.06.2010, 04:00:20 UT	
Давтамж, MHz	370
Давтамж шилжилт хурд, MHz/s	-134.1
Өндөр, Mm	13.9

Эрчим, хугацаа харьцангуй нэгж пикселээр тодорхойлж байгаа бөгөөд энэ нь абсолют буюу бодит утгадаа шууд пропорцианаль учир дүгнэлт хийхэд алдаанд хүргэхгүй юм.



**Зураг 2.9b.** Давтамж шилжилтийн профиль.

**Хүснэгт 2.5b.**

2017-07-06, 14:31:59UT	
Давтамж, MHz	67
Давтамж шилжилт хурд, MHz/s	-15.2
Өндөр, Mm	334.0

- Давтамж шилжилтийн хурдыг тодорхойлох

III төрлийн радио гялбааны давтамжийг тухайн цэг дэх титмийн электрон концентрациар  $n_e$  илэрхийлнэ. Шилжилтийн хурдыг тухайн дифференциалиар бичиж болно.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial n_e} \frac{\partial n_e}{\partial h} \cos \phi \frac{\partial s}{\partial t},$$

энд  $\phi$ -багц цацрагийн чиглэл, вертикаль хоорондын өнцөг.

Гэрлийн хурдны засвар (үүсгүүрийн релятив хөдөлгөөнөөс үүдэх) хийсний дараа

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{v v_s \cos \phi}{2\lambda_T(1 - \beta \cos \theta)}, \tag{2.1}$$

$$v_{gr} \approx c, \quad \beta = v_s/c,$$

эсвэл

$$dv/dt = -Av, \tag{2.2}$$

$$A = \frac{v_s \cos \phi}{2\lambda_T(1 - \beta \cos \theta)} .$$

$\theta$ -үүсгэгчийн чиглэл, ажиглагч хоорондын өнцөг,  $v_s$  –үүсгэгчийн хурд,  $v_{gr}$  – цацрагийн бүлэг хурд. Электрон концентраци нь

$$n_e = n_0 e^{-\frac{h}{\lambda_T}}, \quad \lambda_T = 47.0[Mm] \times T[MK], \quad \lambda_T\text{-өндрийн хуваарь.}$$

Эмпирик томъёонуудын нэг нь  $dv/dt = -0.01v^{1.84}$  [Alvarez H. & Haddock F.T. 1973, Sol. Phys., **29**, 197] юм. Гэтэл (2.1) томъёоноос харахад  $dv/dt \sim v$  буюу ДШХ давтамжаас шугаман хамааралтай байна. Энэ асуудлыг барометрик хууль биелэгдэхгүй буюу “өндрийн хуваарь”  $\lambda_T$  өндрөөс хамааран ихэснэ гэж авч үзсэн. Нарны титэмд тэсрэлт, дөл, титмийн масс шидэлт зэрэг идэвхтэй үзэгдлүүд байнга болдог тул барометр хууль биелэхгүй байх боломжтой. Энэ тохиолдолд өндрөөс хамаарсан  $f(z)$  функцийг  $\alpha$  жинтэйгээр нэмж тооцоолъё.

$$P = \rho g (\alpha \lambda_T + (1 - \alpha)f(z)). \quad 0 < \alpha \leq 1 \quad (2.3)$$

$$dp = -\rho g dz,$$

$$\frac{dP}{P} = -\frac{dz}{\alpha \lambda_T + (1 - \alpha)f(z)} .$$

Хэрэв  $f(z) = cz$  гэвэл интеграл авсны дараа

$$P = P_0 \left( \frac{\alpha \lambda_T}{\alpha \lambda_T + (1 - \alpha)ch} \right)^{1/(1-\alpha)c}$$

буюу электрон нягтын хувьд ( $n_e \sim P_e$ )

$$n_e = n_0 \left( \frac{\alpha \lambda_T}{\alpha \lambda_T + (1 - \alpha)ch} \right)^{1/(1-\alpha)c} . \quad (2.4)$$

Энэхүү хамаарал дахь параметрийг өөрчлөн сонгох замаар (2.2) хамаарлын хэлбэр уруу дөхүүлж болно.  $\lambda_T$  тогтмол тохиолдолд

$$\frac{\partial n_e}{\partial h} = -\frac{n_e}{\alpha \lambda_T} \left/ \left( 1 + \frac{1 - \alpha}{\alpha} c \frac{h}{\lambda_T} \right) \right.$$

Энэ тохиолдолд томъёо (2.1) дараах хэлбэртэй болно.

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{vW}{\alpha \lambda_T + (1 - \alpha)ch} ,$$

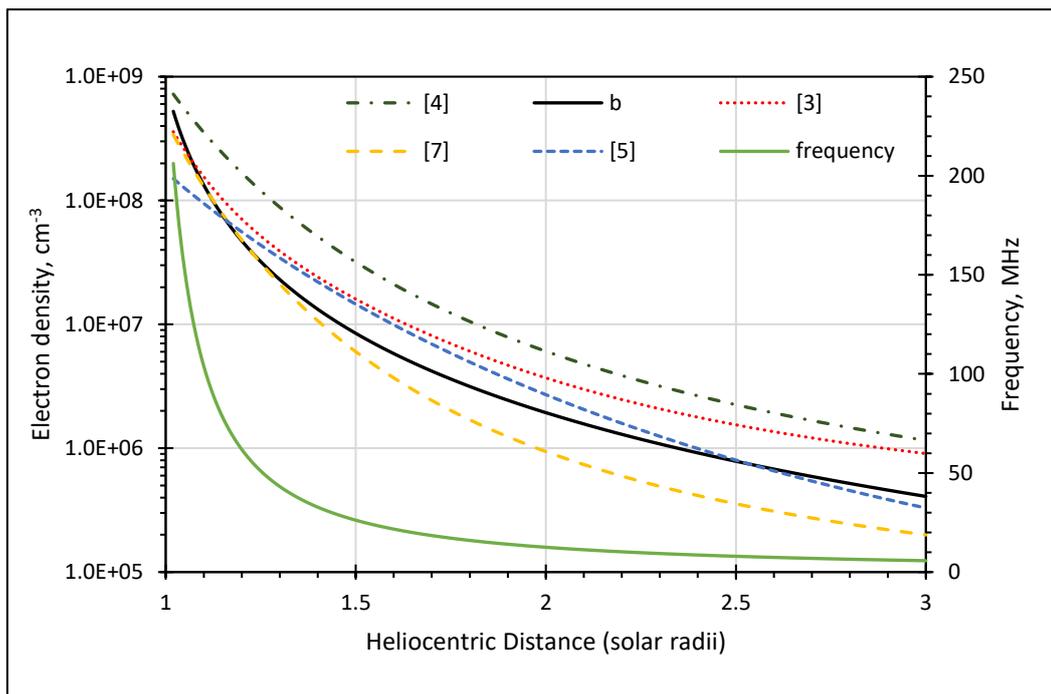
$$W = \frac{v_s \cos \phi}{2(1 - \beta \cos \theta)}.$$

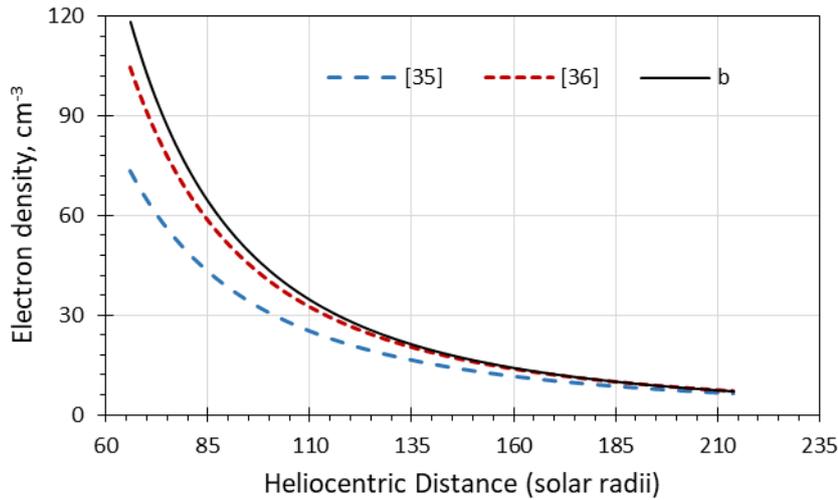
Давтамжаар илэрхийлбэл:

$$\frac{dv}{dt} = -v \left( \frac{v}{v_0} \right)^{2(1-\alpha)c} \frac{W}{\alpha \lambda_T}.$$

Хэрвээ  $2(1 - \alpha)c + 1 = 1.84$  буюу  $\alpha = 0.5, c = 0.84$  гэж авбал ихэнх тооцоонд хэрэглэдэг  $dv/dt = -0.01v^{1.84}$  эмпирик томъёотой адил хамааралтай болно.

Давтамж шилжилтийн хурд, давтамжийн хамаарал онол болон ажиглалтын хувьд ялгаатай байгааг барометр хууль тохирохгүй байна гэсэн таамаг үндэслэлээр тодорхой засвар функцийг “Өндрийн хуваарьт” оруулж титмийн электрон нягтын хувьд  $n_e = n_0(1 + 0.017 \cdot h)^{-2.38}$  томъёог гарган авав. Харьцуулсан үр дүнг 2.10-р зургаар үзүүлэв. Энэхүү  $n_e$  Нарны дотоод титмээс Дэлхийн тойрог зам хүртэлх орон зайд тохирч байна.



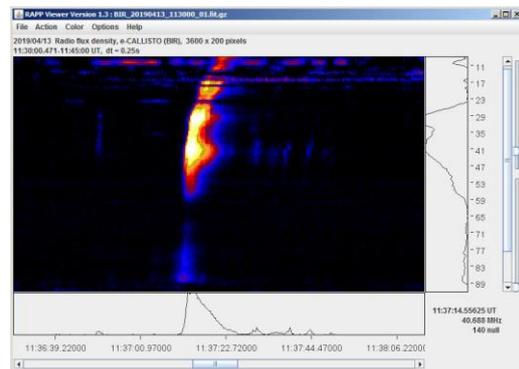
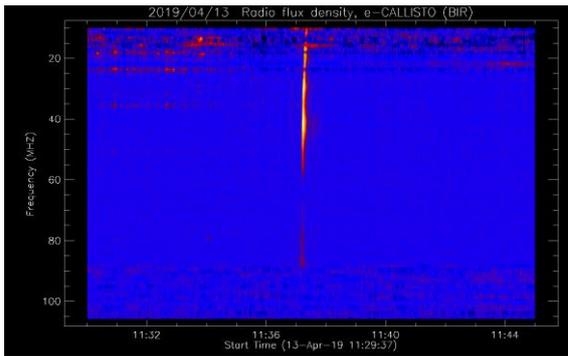


**Зураг 2.10.** (2.4)-р томьёогоор тооцоолсон электрон нягтыг бусад зохиогчдын үр дүнтэй харьцуулсан байдал. **4**-Newkirk, G.Jr., (1961). ApJ, Vol.133, pp. 983; **3**- Allen, C.W., (1947), MNRAS, Vol. 107, pp. 426; **7**- Goryaev, F., бусад (2014). ApJ, Vol. 781, pp.100; **b**- 2.4-р томьёо; **35**- Bougered, J.-L., бусад (1983). Sol. Phys., Vol. 90, pp. 401; **36**-Robinson, P.A., (1992), Sol. Phys., Vol. 137, pp. 307.

Идэвхжилийн минимум үеийн радио гялбааг энэхүү хүснэгтээс харж болно. 2020 оны 5-р сарын 29-ээс бусад нь нарны тэсрэлт байхгүй тайван үед болсон байна.

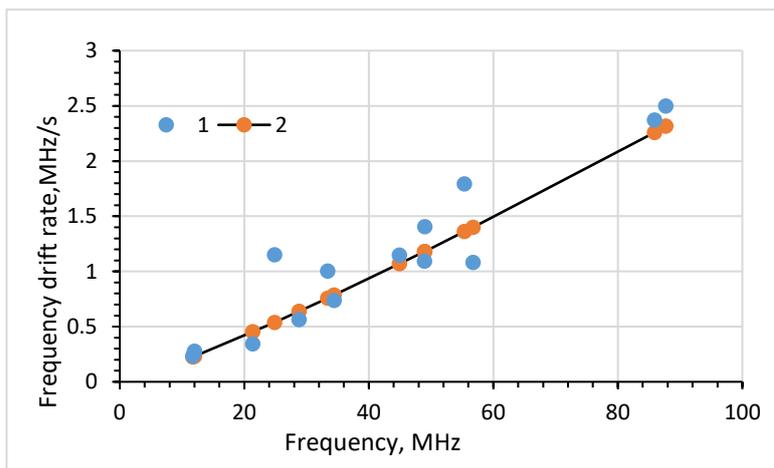
Он сар өдөр	UT	Холбогдох идэвхт үзэгдлүүд	Радио гялбааны нийт тоо
2019-IV-13	11:30	Тэсрэлт<C	1
2020-III-08	13:30; 14:15; 15:30; 16:30; 20:30; 21:15	-	6
2020-V-29	10:45; 11:15; 16:45	Хүчтэй тэсрэлтүүд (M)	3
2020-VI-02	15:00	-	1
2020-VI-04	12:15	-	1

2020-VI-05	05:15; 09:29; 23:00	-	3
2020-VI-06	02:30	-	1
2020-VI-07	00:15	-	1
2020-VI-09	06:46; 08:00; 09:00	-	3



Эхний зураг нь мэдээллийн санд байгаа эх хувилбар нь, дараагийн зураг нь боловсруулалт хийн дэлгэн томсгосон зураг. Хамгийн эхний 2019 оны 4-р сарын 13-нд ажиглагдсан радио гялбааны давтамж шилжилтийн хурдыг тодорхойллоо.

	$\nu_1$	$\nu_2$	$t_1$	$t_2$	$-\Delta\nu$	$\Delta t$	$ \Delta\nu/\Delta t $
1	87.688	78.375	10.67375	14.40000	9.313	3.72625	2.4993
2	85.875	77.625	10.41875	13.89875	8.25	3.48	2.3707
3	56.75	52.438	11.84325	15.83500	4.312	3.98875	1.081
4	55.375	46.0	12.34250	17.57000	9.375	5.5575	1.7934
5	49.0	42.0	12.82750	17.81000	7	4.9825	1.405
6	48.938	39.938	11.82625	20.05375	9	8.2275	1.0939
7	44.938	38.063	12.31625	18.30000	6.875	5.98375	1.1489
8	34.438	28.375	12.79000	21.02500	6.063	8.235	0.7362
9	33.375	27.625	12.7875	18.52375	5.75	5.73625	1.0024
10	28.813	24.875	12.77625	19.76625	3.938	6.99025	0.5634
11	24.875	18.563	15.01625	20.50125	6.312	5.485	1.1508
12	21.375	19.063	15.00750	21.75250	2.312	6.745	0.3428
13	12.0	10.75	18.235	22.73125	1.25	4.49625	0.2780
14	11.75	10	18.48375	25.97250	1.75	7.48875	0.2337



1-ажиглалт, 2-  $dv/dt = 0.0131v^{1.1567}$ .

Давтамж шилжилтийн хурд давтамжаас ямар нэг функцээр хамаарч байна. Судлаачид  $dv/dt = av^b$  хэлбэрээр хамаарлыг авсан байдаг. Давтамжийн

интервал бүрд **a, b** тогтмолууд өөр өөрөөр тодорхойлогдсон байдаг. 2019 оны 4-р сарын 13-ны хувьд  $dv/dt = 0.0131v^{1.1567}$ .

### 2.3 НАРНЫ ХЭТ ЯГААН ЦАЦРАГ

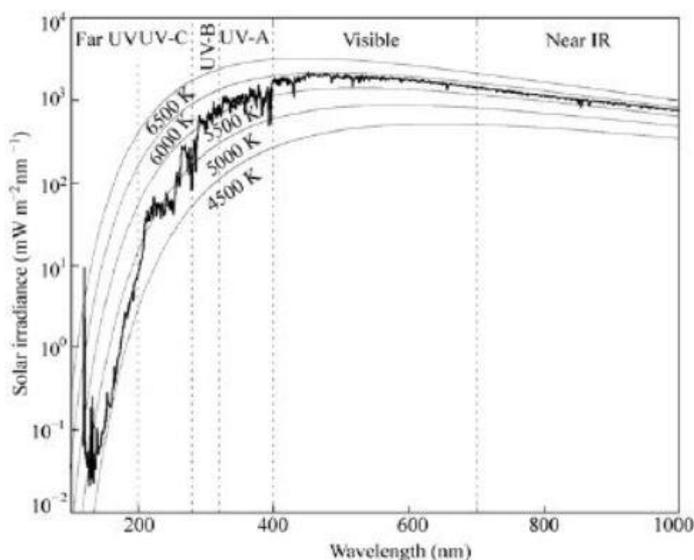
Дэлхийн агаар мандалд сүүлийн хэдэн арван жилд хүний үйл ажиллагаатай холбоотойгоор хлор, фтор, нүүрстөрөгчийн нэгдэл бүхий бодисуудын агууламж ихэссэн нь озоны сийрэгжилт эрчимтэй явагдахад нөлөөлж, улмаар нарны хэт ягаан цацрагийн тун хэмжээ ихсэж байна. Нарны хэт ягаан цацрагийн тун хэмжээ ихсэх нь хүн болон амьтан ургамалд (арьс улайлт, арьсан дахь D витаминь нийлэгжилт, арьсны элдэв хавдар) их хор хөнөөлтэй. Хэт ягаан цацрагийг “вакуум” UV (40 nm – 190 nm), “far” UV (190 nm – 220 nm), UV-C (220 nm – 290 nm), UV-B (290 nm – 320 nm), UV-A (320 nm – 400 nm) гэсэн долгионы мужид хуваана. Нарны UV-B, UV-A агаар мандлыг нэвтрэн газрын гадаргууд хүрэх бөгөөд UV-C стратосфер дэх озонд шингээгддэг. Дэлхийн гадаргууд хүрэх цацрагийн замд нөлөөлөх олон хүчин зүйлүүд бий бөгөөд тухайлбал, Нарны зенит өнцөг, стратосферийн озон, үүлэн бүрхэвч, агаар мандлын нягт, агаарын бохирдол (хийнүүд, аэрозол) зэрэг юм.

Дэлхийн гадаргууд тусах Нарны шулуун цацрагийн эрчим:

$$\log I_{\lambda} = \log I_{0\lambda} - \beta_{\lambda} m (p/p_0) - \tau_{\lambda} \sec(SZA) - a_{\lambda} O_3 \mu,$$

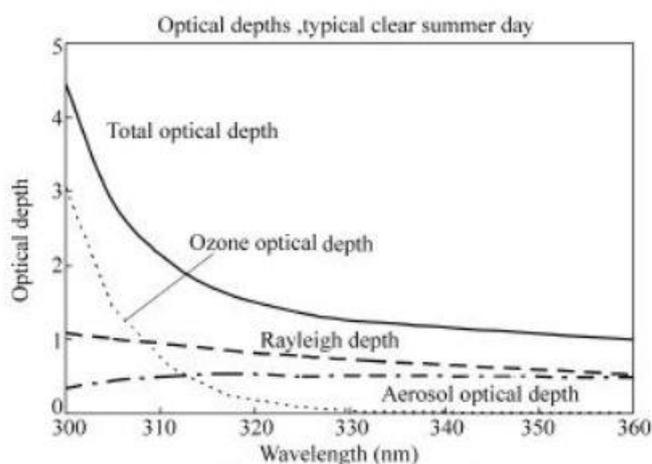
$I_{\lambda}$ -  $\lambda$  долгионы урт дээр хэмжсэн эрчим,  $I_{0\lambda}$ - агаар мандлын гаднах эрчим,  $\beta_{\lambda}$ - Рэлей сарнилын коэффициент,  $m$ - агаар мандлаар шулуун цацрагийн өнгөрөх эффектив зам,  $p$ -станц дээрх даралт,  $p_0$ -стандарт даралт (1,013.25 millibars),  $\tau_{\lambda}$ - аэрозолийн оптик гүн,  $a_{\lambda}$ - озоны шингээлтийн коэффициент,  $O_3$ - агаар мандлын баганын дагуух озоны тоо хэмжээ,  $\mu$ - озоны давхаргаар

өнгөрөх шулуун цацрагийн эффектив замыг вертикал замд харьцуулсан харьцаа.



**Зураг 2.11а.** Дэлхийн агаар мандлын гаднах Нарны спектраль эрчим (Wei Gao et al. 2010, UV Radiation in Global Climate Change номоос (W2010)).

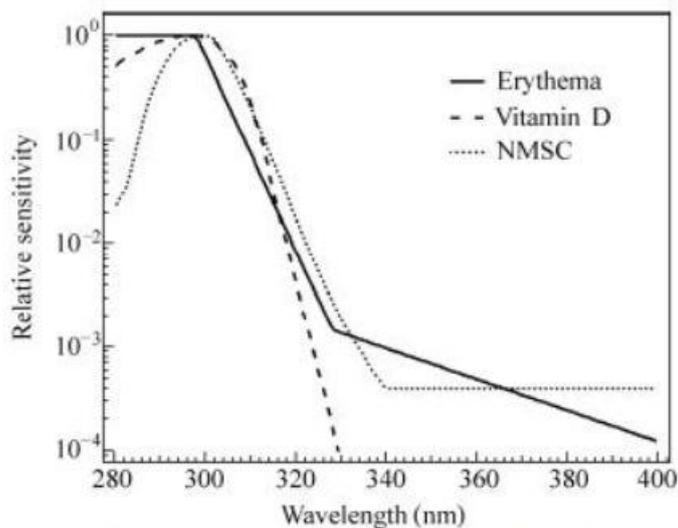
Дээрх тэгшитгэлийг хувирган өөр хэлбэрээр бичиж болно.  $I_{\lambda} = I_{0\lambda} \exp(-\frac{\tau}{\mu})$ ,  $\tau$ -нийт оптик гүн,  $\mu = \cos \theta$ ,  $\theta$  – чиглэл. Зураг 2.11а,в-аас Нарны хэт ягаан цацраг цэлмэг агаар мандалд хэрхэн шингээгдэж, сарниж байдгийг харж болно. Бидний хэмждэг 365 нм цацрагийн хувьд озоны давхаргын шингээлт бага, голдуу Рэлей сарнил болон аэрозолын шингээлт давамгайлж байна.



**Зураг 2.11в.** Дэлхийн агаар мандлын нийлбэр оптик гүн, түүнчлэн озоны, рэлей болон аэрозол оптик гүний долгионоос хамаарах хамаарал (W2010).

Хэрэв спектраль эрчмийг  $I_{\lambda}$  харгалзах жин  $S_{\lambda}$ , долгионы уртаар (nm) интеграл авбал цацрагийн нөлөөллийн эрчим (action intensity, AI) нь  $AI[w/m^2] = \int S_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda$ .  $I_{\lambda}$ -нь Нарны зенит өнцөг, гадаргуугийн өндөр болон агаар мандлын шингээлт, сарнилын оптик гүний профиль (тухайлбал, озон, үүл) зэргээс хамаарна.  $S_{\lambda}$ -ийн утга UV-C ба UV-B мужид нэг байх бөгөөд бусад тохиолдолд

тэг байна. Дараах зураг 2.12-аас энэ байдал харагдана.  $AI[w/m^2]$ -ээр UV индексийг тооцоолно.



**Зураг 2.12.** Арьсны улайлт, D витамин нийлэгжилт болон арьсны хавдар зэрэгт нарны хэт ягаан цацрагийн нөлөөлөл (W2010-аас).

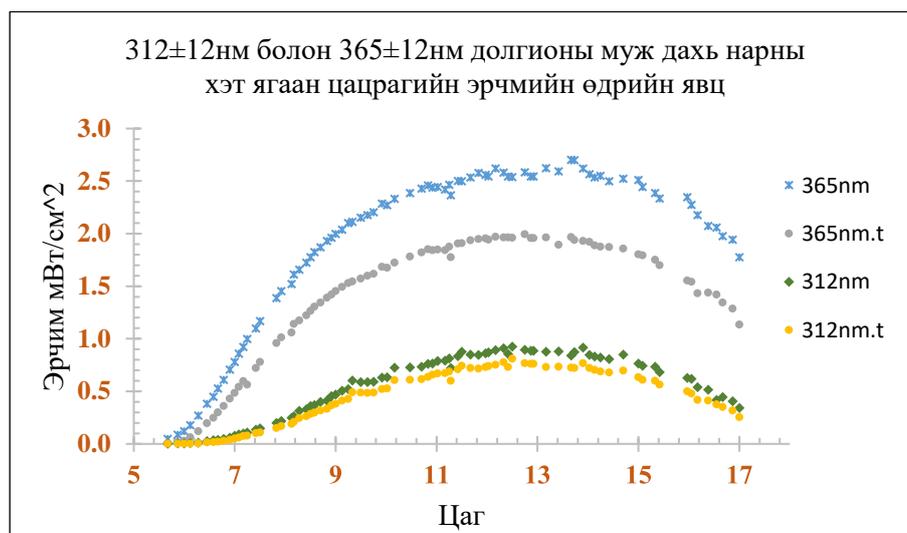
Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн Астрофизикийн салбар нь 1997 оноос нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн хэмжилтийг 365 ба 312 нм орчим мужид байнгын нэг, хээрийн хэд хэдэн цэгүүдэд гүйцэтгэж байна.

- Хэмжилтийн багаж, төхөөрөмж. Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн хэмжилтийг хийхдээ Франц улсад үйлдвэрлэсэн VLX-3W багажийг ашигласан бөгөөд  $312 \pm 12$  нм болон  $365 \pm 12$  нм долгионы мужуудад хэмжилт хийх сенсоруудыг ашиглав (Зураг 2.13). Багажийн хэмжилтийн нарийвчлал нь  $\pm 5$ , цацраг нэвтрүүлэх зурвас нь  $\pm 12$  нм, хэмжих хязгаар  $0-3500$  вт/м<sup>2</sup>, ажиллах температур  $0-40^\circ\text{C}$  байна.



**Зураг 2.13.** Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийг хэмжих VLX-3W багаж болон  $312 \pm 12$  нм,  $365 \pm 12$  нм -ийн сенсорууд

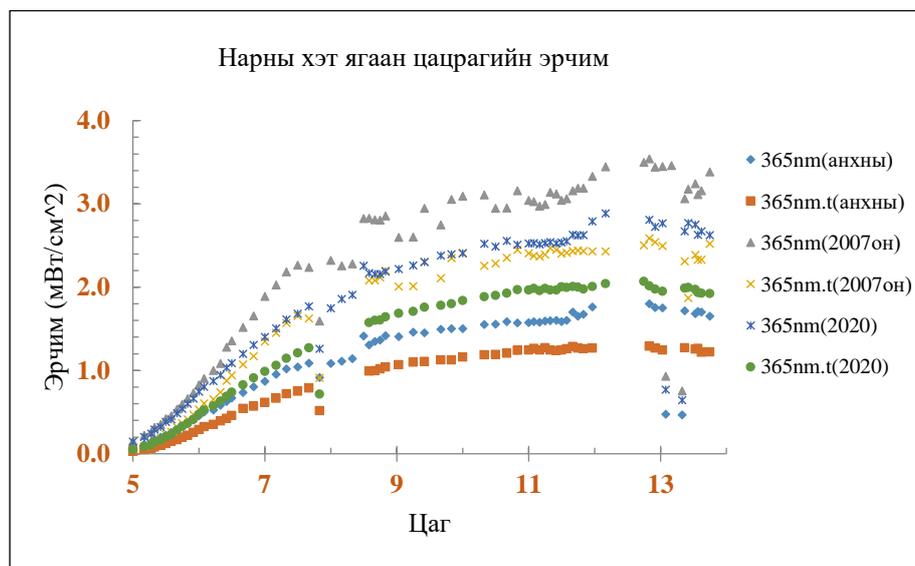
- Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн хэмжилт. “Нарны титэм, дөл, тэсрэлтийн физик шинж чанарын судалгаа” төслийн хүрээнд нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн хэмжилтийг  $312\pm 12\text{нм}$  болон  $365\pm 12\text{нм}$  долгионы мужуудад хийж гүйцэтгэв. Богд уулын Хүрэл тогоотын аманд байрлах Одон Орон Судлах Оргилын байнгын цэгт 67 өдрийн хэмжилт хийж, мөн төслийн үр дүнгийн даалгаврын 3-р зүйл, календарьчилсан төлөвлөгөөний 2-р зүйлийн дагуу Монгол орны нутаг дэвсгэрийн зүүн болон өмнөд хэсгийн аймгууд болох Хэнтий, Дорнод, Сүхбаатар, Дорноговь, Өмнөговь, Баянхонгор, Дундговь, Говьсүмбэр гэсэн аймгуудын нутгаар 30 өдрийн хэмжилтүүдийг хийсэн. Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн хэмжихдээ шулуун цацраг болон нийлбэр цацрагийн (нарны шулуун цацрагт перпендикуляр хавтгайд тусах) эрчмийг хэмждэг юм. Багажийн ажиллах температурын үзүүлэлтээс шалтгаалан хэмжилтийг ихэвчлэн жил бүрийн 3-р сарын сүүлээс эхлүүлэн 11-р сар хүртэл үргэлжлүүлдэг. Хэмжилтийн нэг өдрийн явцыг харуулав (Зураг 2.14).



**Зураг 2.14.**  $312\pm 12\text{нм}$  болон  $365\pm 12\text{нм}$  долгионы муж дахь нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн өдрийн явц.

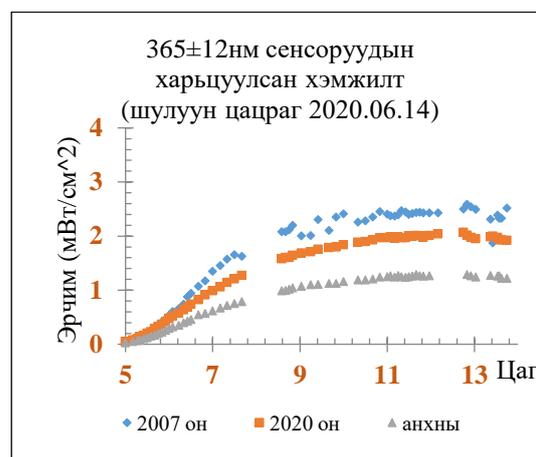
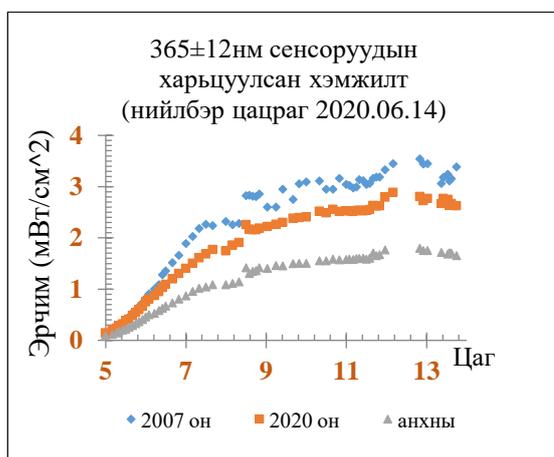
2020 онд тохируулга хийгдсэн шинэ  $365\pm 12\text{нм}$ -ийн сенсоорыг худалдан авч өмнө ашиглагдаж байсан хуучин (2004 болон 2007 онуудад худалдан авсан) сенсоорудтай харьцуулсан хэмжилтүүдийг хийв. Ингэснээр өмнө хуримтлуулсан хэмжилтийн утгуудыг нэг хуваарьт хөрвүүлэх боломж бүрдсэн

юм. Жишээ болгон нэг өдрийн харьцуулсан хэмжилтийн графикийг оруулав (Зураг 2.15).

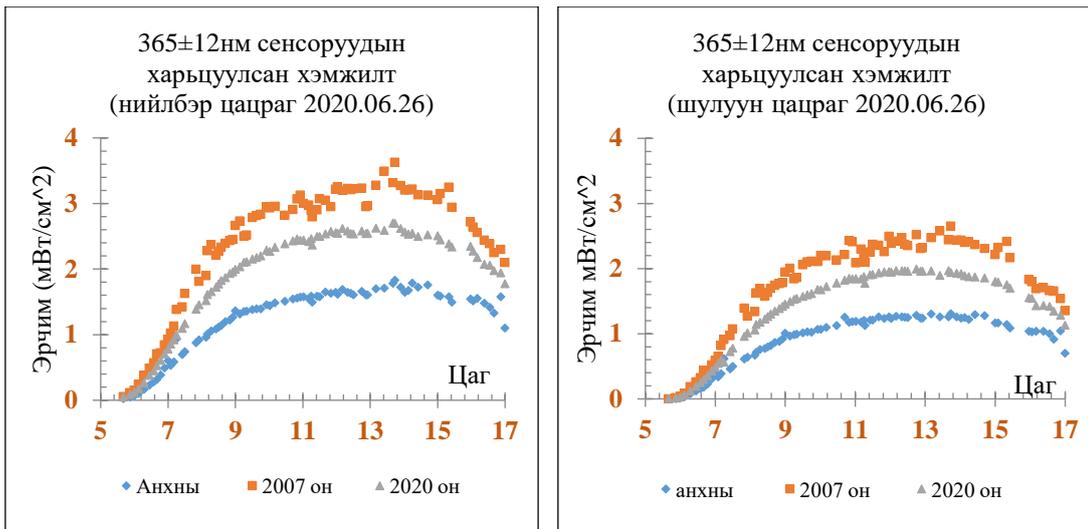


**Зураг 2.15.** Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн 365±12нм-ийн долгионы мужид хэмжих сенсоруудын (2004, 2007, 2020) харьцуулсан хэмжилтийн график.

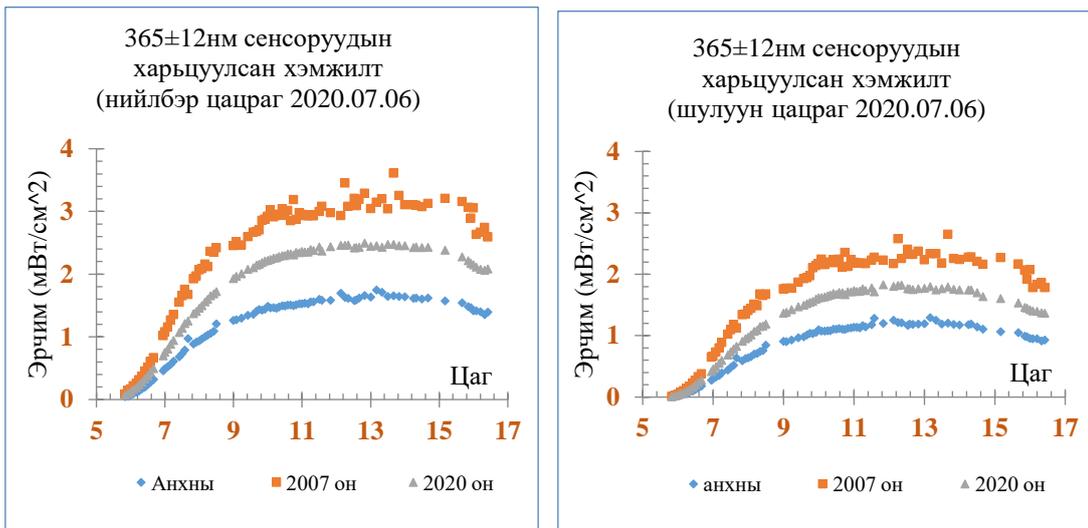
Харьцуулсан хэмжилтүүдээс нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийн нийлбэр болон шулуун цацрагийн хэмжилтүүдийг ялган харуулав (Зураг 2.16 а,б,в).



**Зураг 2.16а.** Нийлбэр болон шулуун цацрагийн эрчмийн хэмжилтүүдээр ялган харьцуулсан байдал.



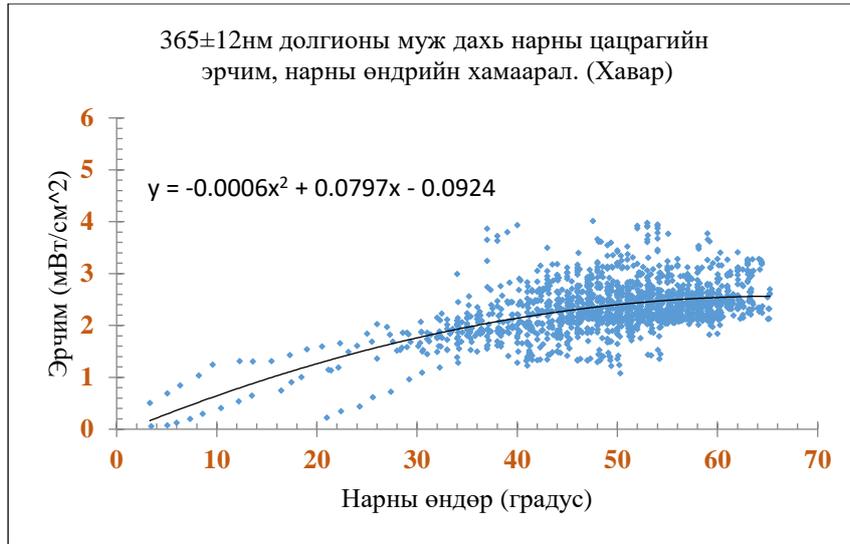
**Зураг 2.16 б.** Нийлбэр болон шулуун цацрагийн эрчмийн хэмжилтүүдээр ялган харьцуулсан байдал.



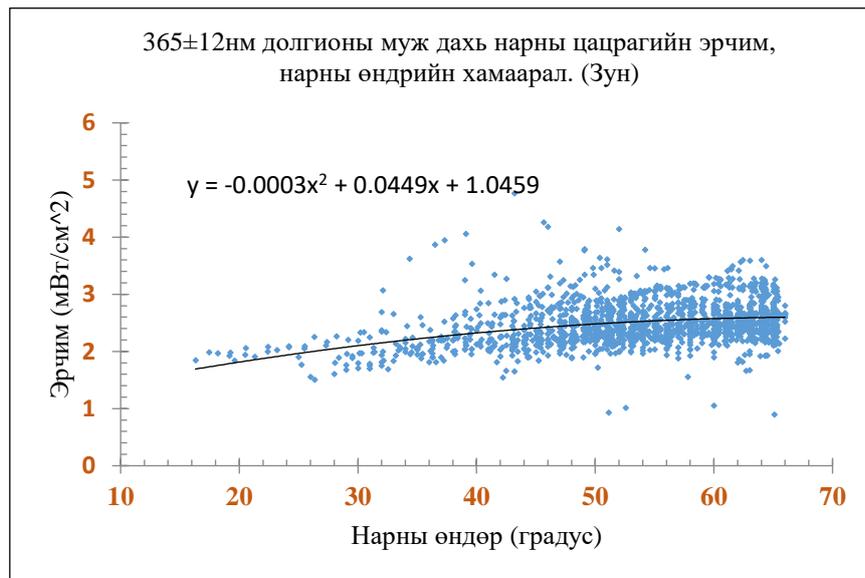
**Зураг 2.16в.** Нийлбэр болон шулуун цацрагийн эрчмийн хэмжилтүүдээр ялган харьцуулсан байдал.

- Судалгааны үр дүнгээс:

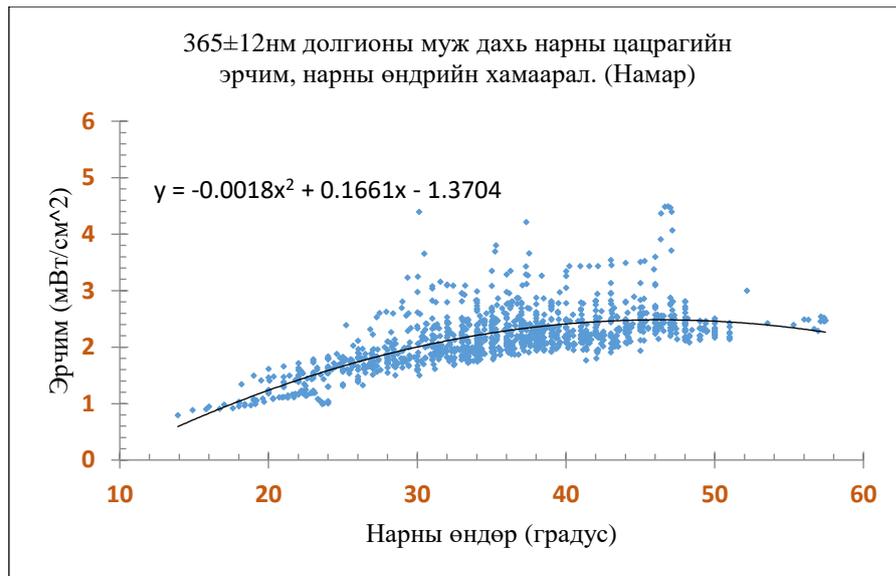
a) Дээрх харьцуулсан хэмжилтүүдийг ашиглан 2008 оноос хойших 365±12nm долгионы муж дахь хэмжилтийн материалуудыг 2020 оны шинэ сенсоорын хуваарьт шилжүүлснээр өмнө хийгдсэн нарны хэт ягаан цацрагийн эрчим, нарны өндрийн хамаарлыг харуулсан эмпирик томъёонуудыг дахин шинэчлэн сайжруулав (Зураг 2.17а,б,в).



**Зураг 2.17а.** Хаврын улиралд нарны хэт ягаан цацрагийн эрчим, нарны өндрийн хамаарлыг харуулсан байдал.



**Зураг 2.17б.** Зуны улиралд нарны хэт ягаан цацрагийн эрчим, нарны өндрийн хамаарлыг харуулсан байдал.



**Зураг 2.17в.** Намрын улиралд нарны хэт ягаан цацрагийн эрчим, нарны өндрийн хамаарлыг харуулсан байдал.

Дээрх сайжруулсан эмпирик томъёонуудыг өндөр нарийвчлал шаардагдахгүй практик хэрэглээнд ашиглагдах боломжтой. Өөрөөр хэлбэл, тухайн газар нутагт нарны өндрийн тодорхой утгад 365±12нм долгионы мужид хамаарах (UVA) нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийг олох боломжтой юм.

**b)** Агаар мандлын тунгалгийн коэффициентийг 312±12нм долгионы мужид тодорхойлох нь:

Нарны цацраг нь агаар мандлыг нэвтрэн газрын гадаргууд эрчим нь суларч ирдэг ба энэ нь агаар мандлын тунгалаг бус чанар болон гэрэл агаар мандлын бөөмстэй харилцан үйлчилсний улмаас шингэх болон сарних процесс явагддагтай холбоотой юм.

Агаар мандлын тунгалаг чанар нь түүнд явагдаж буй физик процесстэй (тухайлбал, усны уур, аэрозол) нягт уялдан, агаар мандлын оптик төлөвийг тодорхойлох нэг чухал үзүүлэлт бөгөөд нутаг орны байдал цаг уурын өвөрмөц онцлогтой холбогдон хувьсаж байдаг. Иймд агаар мандлын физик төлөвийг шинжихэд ашиглагдах төдийгүй, уур амьсгалын хувьсал өөрчлөлтийг үнэлэхэд ихээхэн ач холбогдолтой юм.

Хэт ягаан цацрагийн мужид Агаар Мандлын Тунгалагийн Коэффициентийг (АМТК) тодорхойлсноор агаар мандал дахь озоны давхаргын өөрчлөлтийг

мэдэх боломжтой. Учир нь нарны хэт ягаан цацрагийн агаар мандал дахь гол шингээгч нь озоны давхарга юм. Өмнө хийгдсэн судалгааны ажлуудаас харахад ихэвчлэн үзэгдэх гэрлийн мужид АМТК-ийг тодорхойлсон байдаг. Харин энэ судалгааны ажил нь хэт ягаан цацрагийн мужид тодорхойлсноороо онцлог юм. Энэхүү судалгааны ажилд Хүрэл тогоот дахь хэмжилтийн байнгын цэгт нарны хэт ягаан цацрагийн  $312\pm 12$ нм долгионы мужид 2008-2019 онд хийсэн хэмжилтийн материалыг ашиглан АМТК-ийг тодорхойлсон дүнг харуулав. АМТК-ийг тодорхойлохдоо агаар мандалд нарны шулуун цацрагийн эрчим сулрах Бугерийн хуулийг  $S_{\lambda} = S_{0,\lambda} \cdot P^m$  хэлбэртэй [1] бичиж хэрэглэнэ. Үүнд:  $S_{\lambda}$  -спектрийн тухайн муж дахь нарны шулуун цацрагийн эрчмийн хэмжсэн утга,  $S_{0,\lambda}$  - спектрийн тухайн мужид агаар мандлын гадна хилд ирж байгаа нарны цацрагийн эрчмийн утга,  $m$  - агаар мандлын оптик масс,  $P_{\lambda}$ - спектрийн тухайн долгионы урт дахь АМТК. Тухайн спектрийн мужид газрын гадарга дээр тусах нарны шулуун цацрагийг хэмжих замаар АМТК-ийг Бугерийн хуулиас

$$P_{\lambda} = \sqrt[m]{\frac{S_{\lambda}}{S_{0,\lambda}}} \quad (2.5)$$

томъёогоор тодорхойлдог.

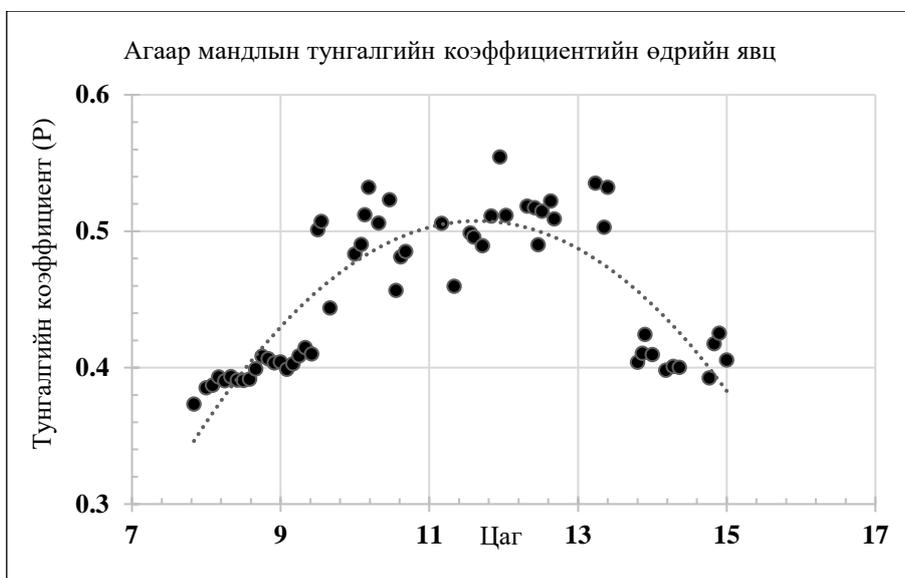
Энэхүү ажилд агаар мандлын оптик масс  $m$ -ийг олохдоо [2] дэх томъёог ашигласан болно. Энэ томъёо нь нарны өндөр 20 градусаас дээш үед агаар мандлын оптик массыг тодорхойлоход тохиромжтой байдаг.

$$m = \frac{1}{\sinh} \quad (2.6)$$

Энд:  $h$  - нарны хөөрөх өндөр,  $S_{0,\lambda}$  - спектрийн тухайн ( $312\pm 12$ нм) мужид агаар мандлын гадна хилд ирж байгаа нарны цацрагийн эрчмийн утгыг  $1,572$  мВт/см<sup>2</sup> гэж тооцоолон [3] ашиглав. Хамгийн бага квадратын аргыг ашигласан.

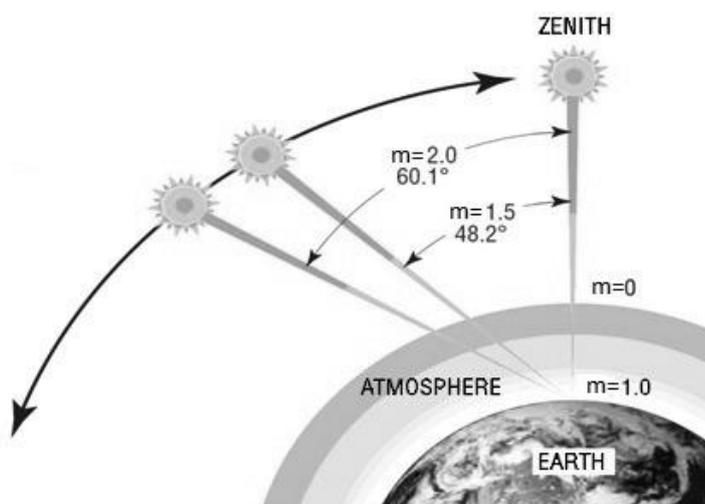
**Судалгааны үр дүн:** Хэт ягаан цацрагийн мужид АМТК-ийг тодорхойлсноор агаар мандал дахь озоны давхаргын өөрчлөлтийг мэдэх боломжтой. Учир нь нарны хэт ягаан цацрагийн агаар мандал дахь гол шингээгч нь озоны давхарга юм. Энэхүү судалгааны ажилд “Хүрэл тогоот” дахь хэмжилтийн байнгын цэгт нарны хэт ягаан цацрагийн  $312\pm 12$ нм долгионы мужид 2008-

2019 он хүртэл хийсэн нийт цэлмэг 208 өдрийн 4564 хэмжилтийн [4-7] материалаар (2.5), (2.6) томъёог ашиглан АМТК-ийн тухайн тохиолдлуудад тодорхойлж хоногийн явцыг харуулав (Зураг 2.18).



**Зураг 2.18.** Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын тунгалгийн коэффициентийн өдрийн явц.

Зураг 2.18-аас харахад АМТК нь өглөө, оройн цагт буурч, үд дундад ихэссэн байгаа нь агаар мандлын оптик масс багасаж байх ерөнхий зүй тогтолтой тохирч байна.

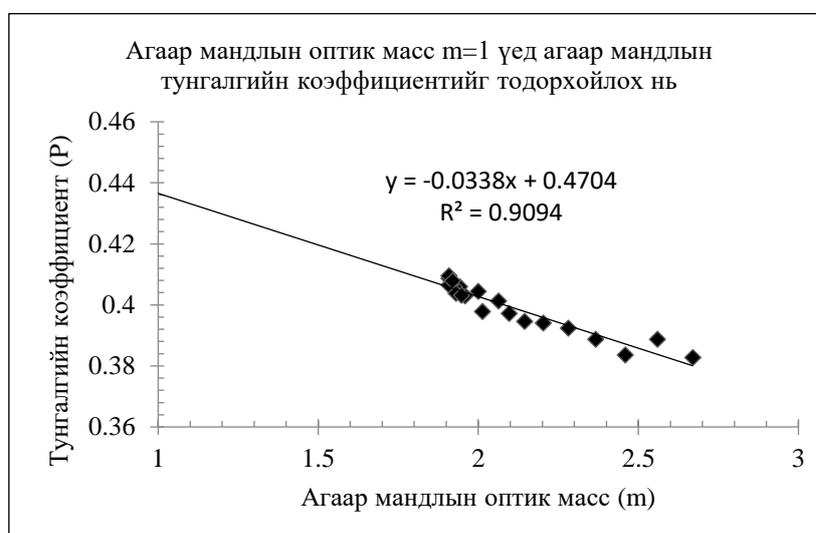


**Зураг 2.19.** Агаар мандлын оптик массын өөрчлөлт.

Дээрх өдрийн явцад гаргасан АМТК нь хэмжилт хийсэн тухайн эгшинд харгалзах утга бөгөөд ерөнхий АМТК гэдэг нь нарны цацрагийн эрчим

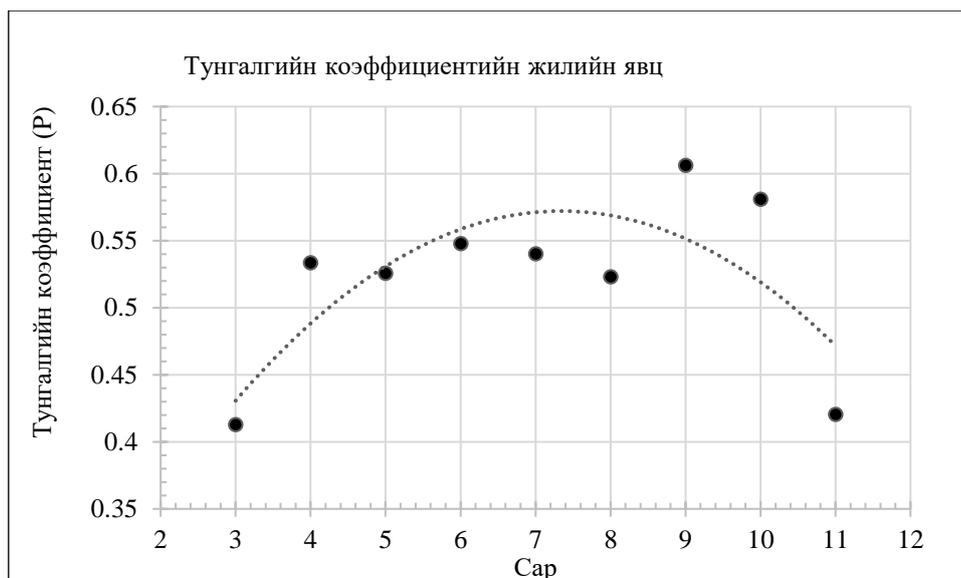
дэлхийн агаар мандлыг нэвтрэхдээ туулах хамгийн богино зай буюу  $m = 1$  байх үед тодорхойлсон утгыг хэлдэг (Зураг 2.19).

Бидний хэмжилтийн цэг хойд өргөргийн 47 градуст байрладаг тул нарны өндөр ямар ч тохиолдолд  $90^\circ$  хүрэхгүй. Иймээс өдөр тус бүрийн тухайн тохиолдлуудад тодорхойлсон агаар мандлын оптик масс, АМТК-ийн хамаарлыг хамгийн бага квадратын аргаар тодорхойлсон, эмпирик томъёонуудыг гарган авч тэдгээрийн нарны өндрийн  $h = 90^\circ$  буюу  $m = 1$  үед агаар мандлын тунгалгийн коэффициентүүдийг тодорхойлов. Жишээ болгон нэг өдрийн боловсруулалтыг 2.20-р зурагт үзүүлэв.



**Зураг 2.20.** Агаар мандлын оптик масс ба тунгалгийн коэффициентийн хамаарлын эмпирик томъёо,  $m=1$  үед дэх тунгалгийн коэффициентийг тодорхойлсон байдал.

Дээрх эмпирик томъёонуудаар тодорхойлсон өдөр бүрийн АМТК-ийн утгуудыг сар бүрээр ангилан дундаж утгуудаар жилийн явцыг байгуулан 2.21-р зурагт үзүүлэв. АМТК-ийн жилийн явцаас харахад зуны улиралд өсөж хавар, намрын улиралд буурсан ерөнхий зүй тогтол харагдаж байна.



**Зураг 2.21.** Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын тунгалгийн коэффициентийн жилийн явц.

**АМТК-ийг  $312 \pm 12$  нм долгионы мужид тодорхойлсон судалгааны ажлын дүгнэлт:**

Улаанбаатар хот орчмын АМТК-ийг тодорхойлсон өдрийн явцаас харахад, тунгалгийн коэффициентийн тухайн тохиолдлууд дахь утга нь агаар мандлын оптик массын утга буурахад эсрэгээрээ ихэссэн төлөвтэй байна. Энэ нь агаар мандлын оптик зузаан багасаж буйгаар тайлбарлагдах боловч ерөнхий зүй тогтол орон нутгийн төлөв байдлын өөрчлөлтөөс шалтгаалан ажиглагдахгүй байна. Өмнө хийгдсэн судалгааны ажлуудаас харахад энэ мужид АМТК-ийг тодорхойлсон ажил олдоогүй тул өөр мужид тодорхойлсон ажлуудтай [8] харьцуулахад хоногийн явцын зүй тогтол хэлбэрийн хувьд төстэй ажиглагдав. Агаар мандлын оптик массын  $m = 1$  утгад буюу нар эгц дээр байх үеийн тунгалаг чанарын утгыг хамгийн бага квадратын аргаар тодорхойлон сар бүрийн дундаж утгаар байгуулсан жилийн явцаас харахад агаар мандлын тунгалаг чанар хавар, зун ба намрын улиралд  $0.420 \div 0.606$  хүртэл утгатай байна.

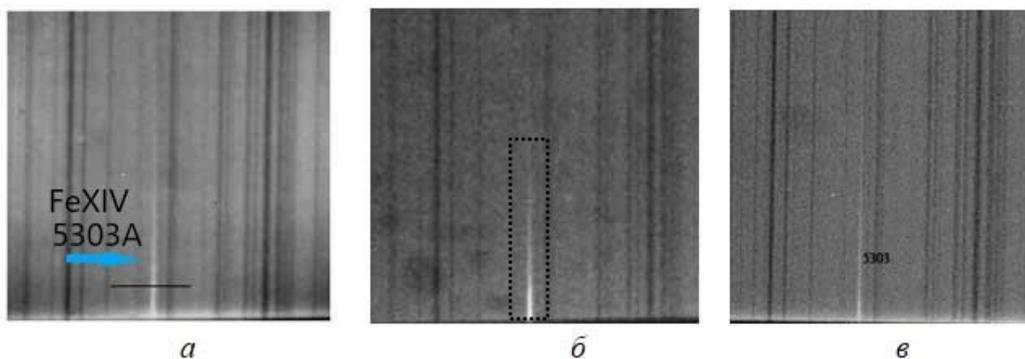
Бидний ашигласан хэмжилтийн материалууд нь зарим саруудад хэмжилт хийсэн өдрийн тоо цөөн байсан нь судалгааны ажлын үр дүнд нөлөө үзүүлсэн байх магадлалтай. Бидний хэмжилтийн багаж нь нэмэх градууст ашиглах заавартай тул 3 болон 11 саруудад хэмжилтийн тоо харьцангуй цөөн байдаг. Иймээс дээрх саруудад хэмжилтийн тоог нэмэгдүүлэх шаардлагатай юм.

### Хэт ягаан цацрагаар эшлэл татсан ном зүй:

1. Variation of the Coefficient of Transparency of the Atmosphere During the Total Solar Eclipse of June 30, 1954. Fomenko, B. D. Soviet Astronomy, Vol. 1, p.841
2. МУИС, ШУС. “Агаар мандалд явагдах оптик үзэгдлийн судалгаа” суурь судалгааны төслийн тайлан, 2015.
3. Solar Constant and Zero Air Mass Solar Spectral Irradiance Tables 1  
<http://www.patarnott.com/atms749/pdf/SolarConstantZeroAirMass.pdf>
4. <https://www.efunda.com/math/leastsquares/leastsquares.cfm>
5. Одон Орон Геофизикийн хүрээлэн “Нарны H-альфа ба хэт ягаан цацрагийн ажиглалт, спектрийн судалгаа” сэдвийн эрдэм шинжилгээний тайлан, 2008-2010 он, 79-105х.
6. Одон Орон Геофизикийн хүрээлэн “Нарны идэвхжилийн үеийн идэвхт муж, үзэгдлүүдийн бүтэц, динамикийн судалгаа” сэдвийн эрдэм шинжилгээний тайлан, 2011-2013 он, 28х.
7. Одон Орон Геофизикийн хүрээлэн “Нарны идэвхжилийн үеийн идэвхт муж, үзэгдлүүдийн бүтэц, динамикийн судалгаа” сэдвийн эрдэм шинжилгээний тайлан, 2015-2017 он.
8. John G. Williams. Change in the Transmissivity Parameter with Atmospheric Path Length. Journal of Applied Meteorology, volume 15, December 1976, 1321-1323р.

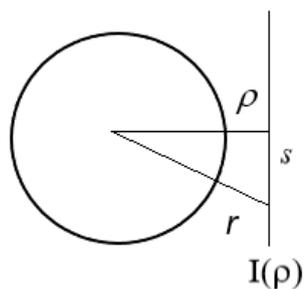
### 2.4 НАРНЫ ТИТМИЙН FeXIV ИОНЫ НОГООН ШУГАМ

Нарны коронограф дурангаар титмийн спектрийн шугамуудыг бүртгэн авч титмийн физик нөхцөлийг судлах боломжтой юм. Нарны титмийн цацаргалтын тод шугамуудын нэг бол FeXIV ионы  $5303\text{\AA}$  долгионы урт бүхий хориотой ногоон шугам ( ${}^2P_{1/2}^0 - {}^2P_{3/2}^0$ ) юм. 1967 оноос “Хүрэл тогоот” Одон орныг судлах оргилд Нарны титмийн FeXIV ба FeX ионы  $\lambda 5303\text{\AA}$  ба  $\lambda 6374\text{\AA}$  шугамуудыг ажиглаж ирсэн (зураг 2.22). Эдгээр шугамуудын эрчмийн хэмжээ, контур (хүрээ) хэлбэрийг тодорхойлсноор Нарны дотоод титмийн зарим физик параметрийг тодорхойлж болно.



**Зураг 2.22.** FeXIV  $\lambda 5303\text{\AA}$  шугам : **а.** 1968-06-26 (нарны идэвхжилийн максимум үе), **б.** 1974-08-05 (минимум), **в.** 1979-09-12 (максимум).

Оптик зузаан ихтэй плазм орчинд бодис, цацраг хоёрын харилцан үйлчлэл шугаман биш байдаг тул цацраг зөөлтийн тэгшитгэл (ЦЗТ), тогтонги төлөвийн тэгшитгэлүүдийн (ТТТ) системийг хамтад нь бодох шаардлага гардаг. Ажиглалтын шугамын эрчим, хүрээ хэлбэрийг тооцоолж тухайн үзэгдлийн физик шинж чанарыг мэдэхийн тулд эдгээр тэгшитгэлүүдийн системийг бодоход хүрдэг. Гэхдээ Нарны титмийн хувьд түүний оптик зузаан нимгэн тул ЦЗТ бодохгүй, зөвхөн ТТТ системийг орчны цацрагийн эрчмээр бодож болно. Атом болон ионы загварын сонголт, тэдгээрийн энергийн түвшин хоорондын шилжилтийн магадлал, плазмын орчинд лаборатор-системд шилжүүлэх буюу энергиэр дундажлах зэрэг үйлдлийг хэрхэн гүйцэтгэснээс бодлогын үр дүн буюу онол, ажиглалтын нийлэмж ихээхэн хамаардаг. Атом-өгөгдлүүд, томьёонуудыг ашиглан 1965-1985 онуудад бүртгэн авсан Нарны титмийн FeXIV ионы  $\lambda 5303\text{\AA}$  долгионы урттай ажиглалтын шугамд тооцоо шинжилгээ хийж титмийн физик нөхцөлийг судлах зорилгоор энергийн долоон түвшинтэй FeXIV ионы загварыг сонгон авч ТТТ системийг ионизацийн тэнцвэрийн тэгшитгэлтэй хамтруулан тооцоолсон юм.



**Зураг 2.23.** Харааны дагуу ажиглагдаж байгаа эрчим  $I(\rho)$  болон Нарны төвөөс  $r$  зай дахь цэгт  $I(r)$

$S$  чиглэлийн дагуух  $I(\rho)$  нь  $I(\rho) = W_{\lambda} \cdot I_c$  гэж тодорхойлогдох бөгөөд континуумын эрчим

$I_c = 4\pi\sigma DF(\lambda)n_e$ , энд дилюц  $D = 1/2[1 - (1 - \rho^{-2})^{1/2}]$ , электрон сарнилын хөндлөн огтлол  $\sigma = 6.65 \times 10^{-25} \text{см}^2$ , Нарны дундаж цацаргалт  $F(5303) = 2.8 \times 10^{14}$  эрг/(см<sup>2</sup>сек стер см)[*MNRAS, 1964, v128, p73*], электрон нягт  $n_e \approx 2.0 \times 10^9 \text{см}^{-3}$ .

Энэ тохиолдолд  $I(\rho) = W_\lambda \cdot 2.34$  болно.  $\rho$  зайд шугамын профил дахь квантын тоог ажиглалтын эквивалент өргөнөөр  $W_\lambda$ ,  $K(\rho) = 2.34W_\lambda/h\nu$  гэж тодорхойлно. Онолын тооцоо буюу тогтонги төлөвийн тэгшитгэлийн бодолтын үр дүнтэй харьцуулж дүн шинжилгээ хийхийн тулд  $K(\rho)$ -ийг  $K(r)$  уруу шилжүүлэх ёстой. Үүнийг Баумбах (*AN, 1937, v263, p121*), Школовский (*Физика солнечной короны, 1964*) зэрэг ажилд өгөгдсөн хувиргалт ёсоор (Зураг 2.23):

$$K(r) = -\frac{1}{\pi R_0} \int_r^\infty \frac{\partial K(\rho)}{\partial \rho} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 - r^2}} d\rho. \quad (2.7)$$

Ийнхүү ажиглалтын  $W_\lambda$ -ийг ашиглан  $K(r)$  тодорхойлно. Нарны радиус  $R_0 = 696\,342$  km. Нөгөө талаас  $K(r) = n_U A_{UL}$  учир  $U$  түвшин дэх ионы суурьшилтын  $n_U$  тоог олж болно. Томъёо (2.7)-д байгаа  $\partial K(\rho)/\partial \rho$  дэх  $K(\rho)$  -ийг зарим функцээр дүрслэн интеграл авч  $K(r)$ -ийг олох ёстой. Хэрэв ажиглагдаж байгаа эквивалент өргөнийг  $W_{5303}(\rho) \approx 6.18 + 0.87/\rho$  гэж олвол  $K(\rho) = p(14.46 + 2.04/\rho)/h\nu$  болно. Томъёо (2.7)-д орлуулахын тулд түүний уламжлалыг авах ба энэ нь  $\partial K(\rho)/\partial \rho = -C \times 1/\rho^2$ , тогтмол хэмжигдэхүүн  $C \approx p \cdot 0.51 \times 10^{12}$ ,  $p$ -пикселээр тодорхойлсон  $W_{5303}(\rho)$  -ийг шилжүүлэх коэффициент. Энэ тохиолдолд

$$K(r) = \frac{C}{\pi R_0} \int_r^\infty \frac{1}{\rho^2} \frac{1}{\sqrt{\rho^2 - r^2}} d\rho. \quad (2.8)$$

Ийм төрлийн интегралыг Баумбах (*AN, 1937, v263, p121*) ажилд хэрхэн бодохыг харуулсан байна. Тэгвэл интеграл авсны дараа тоон утгуудыг тавивал  $K(r) = 0.5C/(R_0 r^3) \approx 3.662p/r^3$  болно. Иймд  $U$  түвшний суурьшилтын тоо  $n_U = 3.662p/(r^3 A_{UL}) \approx 0.061p/r^3$ . Хэрэв суурьшилтын харьцааг авбал  $n_U(r_1)/n_U(r_2) = (r_2/r_1)^3$  болно.

(Хүснэгт 2.6)-д спектрийн шугамын хэлбэрээс хагас болон эквивалент өргөнийг тодорхойлсон үр дүнг харууллаа. Эндээс харахад хагас болон эквивалент өргөн хоёрын ялгаа өндрөөс хамааран 0,71% - 14% хооронд

хэлбэлзэж байгаа нь титмийн физик нөхцөл орон зайн хувьд нэгэн төрөл биш гэдгийг харуулж байна. Дараагийн шатанд ажиглалтын эквивалент өргөнөөр олсон  $n_U$ -ийг онолын загвар ашиглан тогтонги төлөвийн тэгшитгэлээр тооцоолсон утгатай жишиж дүгнэлт хийх ёстой.

**Хүснэгт 2.6.** FeXIV ионы  $\lambda 5303\text{\AA}$  шугамын ажиглалтын эквивалент  $W_\lambda$  болон хагас өргөн

$\rho$	Эрчим, $I$ (пиксел)		$\Delta I$	$\frac{\Delta I}{2}$	$\lambda$ , пиксел		Хагас өргөн, $\Delta\lambda$ (пиксел)	Талбай, $S$ (пиксел)	$W_\lambda$ (пиксел)
	$I_{max}$	$I_{min}$			$\lambda_{max}$	$\lambda_{min}$			
1.035	185	75	10	55	14	7	7	775.5	7.05
1.069	150	75	75	37. 5	14	8	6	522	6.96
2.040	132	74	58	29	14	8	6	383.5	6.61

Хэрэв бид ажиглалтын эквивалент өргөний  $\rho$ -оос хамаарах хамаарлыг титмийн (L) давхаргатай төстэй байдлаар  $W_{5303}(\rho) = C/\rho^m$  гэж авъя.  $\rho_0$  өндрийн хувьд  $W_{5303}(\rho_0) = C/\rho_0^m$ , үүнийг ажиглалтын шугамын профилиас олно.  $W(\rho) = pW(\rho_0) \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^m$ . Р-г континуумын пикселээс олж болно. Тэгвэл  $K(\rho) = W(\rho)/h\nu$ .  $\partial K(\rho)/\partial \rho = -D \left(\frac{1}{\rho}\right)^{m+1}$ . Энд  $D = mpW(\rho_0)/h\nu \cdot \rho_0^{m+1}$ . Одоо интеграл (2.8)-ыг бодъё. Баумбах (AN, 1937, v263, p121)  $1/\rho = \sin \theta/r$  гэсэн орлуулга хийж интегралыг бодсон. Тэр ёсоор манай интеграл дараах хэлбэртэй болно.

$$K(r) = \frac{1}{\pi R_0} \cdot \frac{D}{r^{m+1}} \int_0^{\pi/2} \sin^m \theta d\theta. \quad (2.9)$$

$$\int_0^{\pi/2} \sin^{2m+1} \theta d\theta = \frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2m}{1 \cdot 3 \cdots (2m+1)}$$

$$\int_0^{\pi/2} \sin^{2m} \theta d\theta = \frac{1 \cdot 3 \cdots (2m-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdots 2m} \cdot \frac{\pi}{2}$$

(2.9) ашиглан  $m = 17$  тохиолдолд

$$\int_0^{\pi/2} \sin^{17} \theta d\theta \approx 0.29953837,$$

$$K(r) = \frac{1}{\pi R_0} \cdot \frac{D}{r^{18}} \times 0.29953837.$$

2-р түвшнээс 1-р түвшин рүү шилжих квант тоо  $K(r) = n_2 A_{21}$  учир

$$n_2 = \frac{0.29953837}{A_{21} \pi R_0} \cdot \frac{D}{r^{18}}$$

$$n_2(r_1)/n_2(r_2) = (r_2/r_1)^{18}$$

Ерөнхий тохиолдолд

$$n_2(r_1)/n_2(r_2) = (r_2/r_1)^m$$

Тогтонги төлөвийн тэгшитгэлээс бодсон дүнтэй дүйцүүлнэ гэвэл:

$(r_2/r_1)^9 \approx 2.94358$  энэ тохиолдолд  $m=9$ . Манай тооцооноос:

$$T_e = 10^6, D = 0.4$$

$n_e = 10^8$	$10^7$
0.2243-01	0.1011-01
$r_1 = 1.15$	$r_2 = 1.6$

$\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^1 \approx \frac{1.6}{1.15} \approx 1.3913$        $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^3 \approx 2.6932$        $\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^4 \approx 3.747$ ,  $n_2(r_1)/n_2(r_2) = 0.02243/0.01011 = 2.2186$ . Энэ тохиолдолд  $m=3$  дөхүү байна.

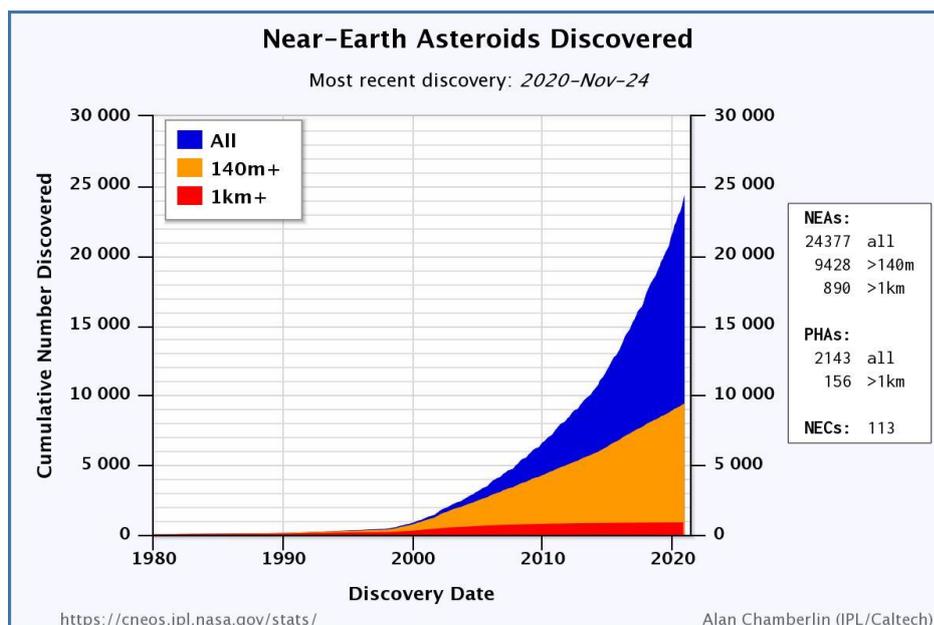
Эцэст нь дүгнэхэд, ажиглагдаж байгаа эквивалент өргөний хамаарлыг  $W_{5303}(\rho) \approx 6.18 + 0.87/\rho$  гэж тодорхойлов. Энэ тохиолдолд U түвшний суурьшилтын тоо  $n_U = 3.662p/(r^3 A_{UL}) \approx 0.061p/r^3$  болно. Суурьшилтын харьцаа  $r_1, r_2$  өндөрт  $n_U(r_1)/n_U(r_2) = (r_2/r_1)^3$  болно.

### 3 Тэнгэрийн эрхсийн хөдөлгөөн

#### 3.2 Тэнгэрийн жижиг биеийн хөдөлгөөн

Дэлхийн одон орны судалгааны оргилууд олон жилийн турш НАСА болон бусад сансрын агентлагууд өөрсдийн сансрын хөлгөөрөө бага гариг ба сүүлт оддыг ажиглан ирсэн. Зарим сансрын хөлгүүд нь зөвхөн бага гариг ба сүүлт одны физик шинж чанарыг илүү ихийг мэдэхэд зориулагдсан байдаг ч мөн бусад гаригуудыг зэрэг ажиглах боломжтой байдгаараа онцлогтой.

(Жишээ нь: JPL Galileo төсөл). Дэлхий орчмын бага гариг ба сүүлт од, мөн түүнчлэн аюултай бага гаригуудын судалгааг олон улсын өгөгдөл ашиглан судалж байна. Одоогийн байдлаар NASA нэг километрээс том хэмжээтэй бараг бүх аюултай бага гаригуудыг (PHAs) илрүүлсэн боловч жижиг хэмжээтэй аюул учруулж болох биетүүдийг бүрэн судалж чадаагүй байгаа билээ. Иймээс дурын биет Дэлхийн тойрог замтай огтлолцох бүх боломжийг судлан үзэх, мөн огторгуйн тойрог замын элементүүдийн бүх параметрийг системтэй судлах нь маш чухал. Тэнгэрийн механикийн Кеплерийн хуулийн үндсэн тойрог замын элементүүд нь  $a$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,  $g$ ,  $M$ ,  $\theta$ ,  $E$ ,  $u$  -хагас их тэнхлэг, эксцентриситет, хавтгайн налуу, ургах бэлчрийн уртраг, перицентрийн аргумент, дундаж, жинхэнэ ба гадаад төвт аномалиуд, өргөргийн аргумент юм. Эдгээр хэмжигдэхүүнүүдийг тойрог замын системээс хамааран сонгож авдаг. Бүх огторгуйн параметрийг бүхэлд нь авахгүйгээр зөвхөн эксцентриситет, хавтгайн налуу, жинхэнэ аномаль гэсэн нэгжгүй гурван хэмжигдэхүүнийг сонгон судалж байна. Манай Дэлхийтэй ойролцоо байгаа мөргөлдөх болзошгүй аюулын зохистой шийдлийг олох нь хамгийн чухал. Энэхүү Доорх графикаас харахад 1 км- с их диаметртай аюултай бага гаригийн тоо 156, харин аюул учруулж болох биетүүд 2143 байна. Дэлхий орчмын нийт бага гаригууд 24377, Дэлхий орчмын сүүлт од 113. Ер нь бага гариг нээсэн 1801 оноос л дэлхий дээрх хүмүүсийн сонирхол ба түгшүүрийг бий болгосон. Энэ нь манай Нарны аймгийн хамгийн түгээмэл тэнгэрийн эрхэс учраас арга ч үгүй биз. Тоо нь манай хүн амын тооноос ч их байж магадгүй хэмээн таамаглаж байна.



**Зураг 3.1.** Дэлхий орчмын тойрог замд нээгдсэн астероидуудын тоо.

**Хүснэгт 3.1.** Дэлхийтэй мөргөлдөж болох хамгийн аюултай астероидууд.

Дугаар	Нэр	Ойртох хугацаа	Зай, о.о.н.
	2000 WO107	2140 Dec. 1.82	0.001623
	2001 WN5	2028 June 26.23	0.001670
(85640)	1998 OX4	2148 Jan. 22.14	0.002004
	1999 AN10	2027 Aug. 7.29	0.002654
	1998 MZ	2116 Nov. 26.98	0.002750
(35396)	1997 XF11	2136 Oct. 28.49	0.002762
	2003 QC10	2066 Sept.24.86	0.003396

Эдгээр тэнгэрийн эрхсүүд мөргөлдсөн тохиолдолд гарах үр дүнг нарийвчлан тооцоолох хэрэгтэй. Иймээс Дэлхийтэй мөргөлдөж болох объектуудыг хүснэгт 3.2-д харуулав.

**Хүснэгт 3.2.** Дэлхийтэй мөргөлдөх тохиолдлын үр дагавар

Объект	Хэмжээ	Давтамж ( ... жилд)	Тогооны хэмжээ (км)	Дэлхийтэй мөргөлдөхөд гарах үр дагавар
Тоосонцор	$D < 0.1$ см			Шатна
Солирын бие	$0.1 \text{ см} < D < 0.5$ м			Шатна
	$0.5 \text{ м} < D < 20 - 30 \text{ м}$			Дэлхий рүү бага хурдтай ниснэ
	$> 30$ м	250	$> 0.5$	Тунгусийн солиртой төстэй Аризоны тогоо
Бага гариг	$> 100$ м	5 мян.	$> 2$	Бүс нутгийн сүйрэл
	$> 1$ км	600 мян.	$> 20$	Глобал сүйрэл
	10 км	100 сая	200	Иргэншлийн төгсгөл

### 3.3 ТЭНГЭРИЙН ЖИЖИГ БИЕЙН ТОЙРОГ ЗАМЫН ТООЦООЛОЛ

Тэнгэрийн аливаа эрхсийн тойрог замыг дараах элементүүдээр тодорхойлно.

$$x = r(\cos u \cos \Omega - c \sin u \sin \Omega)$$

$$y = r(\cos u \sin \Omega + c \sin u \cos \Omega)$$

$$z = r s \sin u \tag{3.1}$$

$$r \cos \theta = a(\cos E - e)$$

$$r \sin \theta = a \eta \sin E$$

Энд  $\omega, e, i, g, \Omega, M, \theta, E, u, a$  – дундаж хөдөлгөөн, эксцентриситет, хавтгайн налуу, перицентрийн аргумент, ургах бэлчрийн уртраг, дундаж, жинхэнэ ба гадаад төвт аномалиуд, өргөргийн аргумент, их хагас тэнхлэг гэсэн элементүүд.

$$a = \kappa^{2/3} \omega^{-2/3}, \quad E - e \sin E = M, \quad r = a(1 - e \cos E),$$

$$\cos \theta = \frac{\cos E - e}{1 - e \cos E}, \quad \sin \theta = \frac{\eta \sin E}{1 - e \cos E}.$$

$$da = -\frac{2a}{3\omega} d\omega, \quad dE = \frac{a \sin E}{r} de + \frac{a}{r} dM, \quad d\theta = \frac{a \sin E}{r\eta} de + \frac{a\eta}{r} dE, \quad (3.2)$$

$$dr = \frac{r}{a} da - a \cos E de + a e \sin E dE.$$

Энд  $c = \cos i$ ,  $s = \sin i$ ,  $\eta = \sqrt{1 - e^2}$ .

Дээр дурдсан элементүүдээс эхний 6 элемент нь хамааралт бус, харин их хагас тэнхлэг  $a$  нь  $\omega$  – с хамаарсан функц болох нь (3.2) томъёоноос харагдаж байна.

Мөн  $\kappa^2$  - таталцлын тогтмолыг  $S$  массаар үржүүлсэнтэй тэнцүү хэмжигдэхүүн юм. Дундаж хөдөлгөөнийг их хагас тэнхлэгийн оронд сонгохдоо хамааралт бус хувьсах хэмжигдэхүүнийг авах нь дундажлах үйлдлийг улам хялбаршуулдаг. Яагаад гэвэл гажсан хөдөлгөөнд дундаж аномаль  $M$  нь  $\omega$  – аас шугаман хамааралтай боловч  $a$  – аас мэдэгдэхүйц шугаман бус байдаг.

$O_1$  системд  $P$  гажаах хурдатгалын компонентыг  $(0; T; 0)$  болон  $T = \text{const}$  гэсэн тохиолдолд авч үзье. Өмнөх өгүүлүүдэд Эйлерийн тэгшитгэлүүдийн дундажлах хувиргалтыг оскуляц тойрог замын элементүүдийн өөрчлөлтийн хувьд авч үзэхдээ нэгдүгээр эрэмбийн нарийвчлалтайгаар  $|P|$ -г ерөнхий хурдатгал  $\kappa^2/r^2$  –д хуваасан. Энд  $r$  – радиус векторын модуль  $r = AS$ . Оскуляц тойрог замын элементээс дундажлах үйлдэлд дараах томъёогоор шилжинэ.

$$\epsilon_n = \bar{\epsilon}_n + u_n, \quad (3.3)$$

Энд  $\epsilon_n$  – оскуляц тойрог замын долоон элементүүд,  $\bar{\epsilon}_n$  – долоон дундаж элементүүд.  $u_n$  – дундаж элементүүд  $\epsilon_k$  хамаарсан функц.

Нэгдүгээр эрэмбийн хувьд  $u_n$  – аргументүүд нь дундаж ба оскуляц элементүүд байх нь ялгаагүй.

$$\begin{aligned}
u_1 &= -\frac{3e\eta}{\omega a} \sin E T, \\
u_2 &= \frac{\eta}{4\omega^2 a} [2(4 - 3e^2) \sin E - e \sin 2E] T, \\
u_3 &= u_4 = 0, \\
u_5 &= -\frac{1}{4\omega^2 a e} [2e(2 - e^2) + 4(2 - e^2) \cos E - e \cos 2E] T, \\
u_6 &= \frac{\eta}{4\omega^2 a e} [4e(1 + e^2) + 8(1 + e^2) \cos E - e(1 + 3e^2) \cos 2E] T, \\
u_7 &= \frac{2e\eta}{\omega^2} \sin E T.
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Өгөгдсөн нөхцөлийн дагуу дундаж элементүүдийн дифференциал тэгшитгэл нь:

$$\begin{aligned}
\dot{\omega} &= -\frac{3\eta}{a} T, \\
\dot{e} &= -\frac{3e\eta}{2\omega a} T, \\
\dot{M} &= \omega, \\
\dot{i} &= \dot{\Omega} = \dot{g} = 0.
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Хоёр цэгээр  $t$  хугацаагаар авсан дифференциалыг тэмдэглэв. (3.5) тэгшитгэлийн бодохдоо (3.4) –ийн үет гажилтыг тооцно. Эллипсийн чиглэлийг тодорхойлсон  $i, \Omega, g$  элементүүд тогтмол. Тэгшитгэл (3.2) нь бие даасан тул эхний эгшинд  $t = 0$  авах нь тохиромжтой. Хувьсагчдын анхны утгыг "0" индексээр тэмдэглэв. Экцентриситетийн эхний утгаас хамаарсан хоёр тохиолдлыг авч үзье.

### Эхний тойрог зам нь дугуй

Энэ тохиолдолд  $e_0 = 0$ , тиймээс  $e = 0$ .  $E_0 = 0$  байг. Мэдээжийн бол таних тэмдэг юм. Тэгшитгэл (3.5) –ийн эхний тэгшитгэлийн хувьсагчдыг тусгаарлавал:

$$\begin{aligned}
\omega^{-2/3} d\omega &= -3\eta^{-2/3} T dt \quad \text{ийм болох бөгөөд (3.5) тэгшитгэлийн бодолт нь} \\
\omega &= \omega_0(1 - \tau)^3,
\end{aligned} \tag{3.6}$$

$$M = M_0 + \frac{\omega_0 t^*}{4} [1 - (1 - \tau)^4] = M_0 + \omega_0 t \left(1 - \frac{3}{2}\tau + \tau^2 - \frac{1}{4}\tau^3\right),$$

Энд

$$t^* = \frac{a_0 \omega_0}{T}, \quad \tau = \frac{t}{t^*} \quad (3.7)$$

Хэмжигдэхүүн  $t^*$  – хугацааны нэгжтэй, харин  $\tau$  – удаан хугацааны нэгжгүй хэмжигдэхүүн. Харин их хагас тэнхлэгийн хувьд

$$a = \frac{a_0}{(1-\tau)^2} \quad (3.8)$$

- $T > 0 \Rightarrow t^* > 0$ . (6), (8) тэгшитгэлүүдийн шийдэл нь  $-\infty < \tau < 1$ ,  $-\infty < t < t^*$  ийм байхад олдоно. Харин интервалын төгсгөлд шийдэл нь :  $a \rightarrow 0$ ,  $\omega \rightarrow +\infty$  үед  $\tau \rightarrow -\infty$ ,  $t \rightarrow -\infty$ ;  $a \rightarrow \infty$ ,  $\omega \rightarrow 0$  үед  $\tau \rightarrow 1$ ,  $t \rightarrow t^*$ .

Дундаж аномалийн хувьд  $M \rightarrow -\infty$  үед  $\tau \rightarrow -\infty$ ,  $t \rightarrow -\infty$ ;  $M \rightarrow M_0 + \omega_0 t^*/4$  үед  $\tau \rightarrow 1$ ,  $t \rightarrow t^*$ . Эксцентриситет тэг байх тохиолдолд жинхэнэ аномаль дундаж аномальтай давхцдаг. Иймээс А тойрог зам нь өнгөрсөн хугацаанд хязгааргүй олон эргэлттэй (татах төвийг тойрсон), ирээдүйд хязгаарлагдмал тооны эргэлт хийдэг (хязгаарлагдмал хугацаанд хязгааргүйд хүрэх) спираль юм.

- $T < 0 \Rightarrow t^* < 0$ . Критик утга  $\tau = 1$ ,  $t = t^*$  одоо урьд нь  $\tau$  өсөхөд цаг хугацаа багасаж байсан. Шийдэл нь  $-\infty < \tau < 1$ ,  $t^* < t < +\infty$ , үед л боломжтой бөгөөд өнгөрсөн ба ирээдүй солигдоход л тэрээр дээр дурдсантай төстэй болно.

*Тайлбар 1.* Хязгаарлагдмал хугацаанд хязгааргүйд хүрэх нь ямар ч физик утга агуулаагүй. Ийм шийдлийн дундаж утгын аргыг зөвхөн  $\tau$ -ийн утга 1-д хэт ойр биш үед л хамааралтай болохыг илтгэнэ. Жишээ нь:  $\tau < 1/2$ , өөрөөр хэлбэл  $t < t^*/2$ . Энэхүү арга нь  $u_n$  хэмжигдэхүүний утга бага гэж үздэг. Түүнчлэн  $e_0 = 0$  үед (3.4)

$$u_2 = \frac{2T}{\omega^2 a} \sin M = \frac{2T}{\omega_0^2 a_0 (1-\tau)^4} \sin M \quad (3.9),$$

$\tau \rightarrow 1$  хязгаарлагдахгүй.

*Тайлбар 2.* (3.9)-ийн дагуу хагас эргэлт бүрийн  $\pi(2k - 1) < M < 2\pi k$  оскуляр эксцентриситет сөрөг. Энэ нь сөрөг эксцентриситет байна гэдэг нь ердөө л перицентр ба апоцентрийн байрлалыг өөрчилдөг.

### Эхний тойрог зам нь дугуй биш

Энэ тохиолдолд  $0 < e_0 < 1$  үед (3.5) тэгшитгэлээс эллиптик интерал авна. Түүний шийдийг Ли цувааны аргыг ашиглан олох бөгөөд хэд хэдэн туслах хэмжигдэхүүнийг тодорхой болгоё. (3.5) тэгшитгэлийн эхний 2 тэгшитгэлийн  $\omega, e$  –г нэгжгүй  $x = e^{2/3}$  хэмжигдэхүүнээр илэрхийлье.

$$e = x^{3/2}, \quad \omega = \frac{\omega_0}{x_0^3} x^3.$$

Харин дифференциал тэгшитгэлийг  $x$  хувьд дараах байдлаар илэрхийлнэ.

$$\frac{dx}{d\tilde{t}} = -\sqrt{1-x^3}, \quad \tilde{t} = \frac{x_0}{t^*} t = x_0 \tau. \quad (3.10)$$

(3.10) шийдлийг Ли цувааны хэлбэрт бичье.

$$x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tilde{t}^n}{n!} D_n X \quad (3.11)$$

Энд  $X = x_0$  нь  $x$ -ийн эхний утга,  $D$  бол (3.7) системийн траекторын дагуух дифференциалын оператор.

$$D = -\sqrt{1-X^3} \frac{d}{dX}$$

$$D^{2n} X = P_n(X),$$

$$D^{2n+1} X = -\sqrt{1-X^3} P_n'(X),$$

$P_n$  – нь  $X$ -ээс хамаарсан  $n+1$  зэргийн олон гишүүнт дараах рекурент нөхцөлийг хангана.

$$P_0 = X,$$

$$P_{n+1} = (1-X^3)P_n'' - \frac{3}{2}X^2P_n'$$

Иймээс  $P_0 = X$ ,  $P_1 = \frac{3}{2}X^2$ ,  $P_2 = -3 + \frac{15}{2}X^3$ .

(3.11)-р тэгшитгэлийг өөрөөр бичье:

$$x = X\Phi(X, \tau), \quad \Phi = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{X^{n-1}\tau^n}{n!} D^n X$$

2-р эрэмбийн  $\tau^2$  хувьд

$$\Phi = 1 - \sqrt{1 - X^3\tau} - \frac{3}{4}X^3\tau^2 + \dots$$

Эндээс

$$e = e_0\Phi^{3/2}, \quad \omega = \omega_0\Phi^3, \quad a = a_0\Phi^{-2} \quad (3.12)$$

Дараах биномын задаргааг ашиглан

$$\Phi^\nu = 1 - \nu\sqrt{1 - X^3\tau} + \frac{\nu}{4}[2(\nu - 1) - (1 + 2\nu)X^3]\tau^2 + \dots$$

Эндээс

$$\begin{aligned} e &= e_0 \left[ 1 - \frac{3}{2}\eta_0\tau + \frac{3}{8}(1 - 4e_0^2)\tau^2 + \dots \right] \\ \omega &= \omega_0 \left[ 1 - 3\eta_0\tau + \frac{3}{4}(4 - 7e_0^2)\tau^2 + \dots \right] \\ a &= a_0 \left[ 1 + 2\eta_0\tau + \frac{3}{2}(2 - e_0^2)\tau^2 + \dots \right] \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$\delta M = M - M_0 - \omega_0 t$$

(3.5)-ын гурав дахь тэгшитгэлийг (3.7) ба (3.13) –ийн тусламжтайгаар интеграл авъя.

$$\delta M = -\frac{3\kappa^2\eta_0}{2a_0^2T}\tau^2 \left( 1 - \frac{4 - 7e_0^2}{6\eta_0} + \dots \right) \quad (3.14)$$

Байрлалын элементүүдийн эрин дэх буснил нь цаг хугацаатай пропорциональ байх ёстой. (3.5) – ын гурав дахь тэгшитгэлд  $T$  - тай пропорциональ гишүүн байхгүй тул дундаж аномалийн эрин дэх буснил нь хугацааны квадраттай пропорциональ байна. (3.4), (3.13), (3.14) тэгшитгэлүүдэд бага хуваарь агуулаагүй. Зөвхөн нэг хурдан хувьсагч  $M$  байдаг тул резонанс үүсгэх боломжгүй юм.

Хамгийн гол нь  $e_0 = 0$  үед (3.13), (3.14) шийдлийн хувьд (3.6), (3.8) шийдлүүдтэй давхцаж байгааг харж болно.

### Цуваа нийлэлт

1.  $e_0 = 0$  үед  $\omega, M$  элементүүд нь (3.6) -ын дагуу цаг хугацааны хувьд олон гишүүнтүүд бөгөөд нийлэлтийн тухай.

Хагас их тэнхлэгийн хувьд хаалттай илэрхийлэл (3.8) байна. Үүнийг цуваанд задалбал

$$a = a_0 \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)\tau^n$$

болох ба нийлэлтийн радиус нь 1-тэй тэнцүү.

$$2. \quad 0 < e_0 < 1 \Rightarrow 0 < x_0 < 1$$

(3.9) тэгшитгэлд хувьсагчууд хуваасан. Түүний шийдэл нь  $x(\tau)$  функцийг агуулдаг бөгөөд урвуу нь

$$\tau(x) = -\frac{1}{x_0} \int_{x_0}^x \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} \quad (3.15)$$

$x(\tau)$  функцийн чухал цэгийг олохын тулд (3.15) функцийн чухал цэгийг  $x$  комплекс хавтгайд тодорхойлоход  $z_k = \exp(2\pi ik/3)$ ,  $k = -1, 0, 1$  юм. Эндээс хамааруулан

$$\tau_k^* = -\frac{1}{x_0} \int_{x_0}^x \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}}$$

$k = 0$  үед

$$x_0 \tau_0^* = -\frac{1}{x_0} \int_{x_0}^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}}$$

$k = 1$  үед

$$x_0 \tau_1^* = \gamma_1 - \gamma_2 \quad ,$$

$$\gamma_1 = \int_0^{x_0} \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} \quad , \quad \gamma_2 = \int_0^{z_1} \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} = z_1 \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}}$$

$\gamma_2$  – интегралд  $y = z_1 u$  орлуулга хийсэн.

$$\gamma_1 - \gamma_2 = \int_0^{x_0} \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} - \exp \frac{2\pi i}{3} \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}}$$

ба

$$\gamma_1 - \gamma_2 = \int_0^{x_0} \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} + \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} - \frac{\sqrt{3}}{2} i \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} .$$

Эхний гишүүнийг баруун тийш нь болговол бид  $|\gamma_1 - \gamma_2|$  модулийг нэмэгдүүлнэ. Тиймээс

$$x_0 |\tau_1^*| > \left| \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} - \frac{\sqrt{3}}{2} i \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} \right| = \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}} > x_0 |\tau_0^*| \quad (3.16)$$

(3.16) тэнцэтгэл биш  $\tau_{-1}^*$  хувьд ч хүчинтэй. (3.12)-ийн эксцентриситет ба их хагас тэнхлэгт  $x$  – ээс хамаарсан бутархай ба сөрөг зэрэг агуулагдаж байна. Тэдгээрийн хувьд  $x = 0$  үед л онцлог болно.  $\tau$  хавтгай дээр сингуляр чанар дараах утгаар тодорхойлогдоно.

$$x_0 \tau_2^* = \int_0^{x_0} \frac{dy}{\sqrt{1-y^3}}$$

(3.13) цувааны  $\omega$ , (14) цувааны  $\delta M$ -ийн хувьд нийлэлтийн радиус  $|\tau_0^*|$ -тэй тэнцүү. Харин (3.13) цувааны  $a, e$ -ийн хувьд нийлэлтийн радиус  $\tau_3^*$ -тэй тэнцүү.

$$\tau_3^* = \min\{|\tau_0^*|, \tau_2^*\}$$

$x_0 \rightarrow 0$  үед  $|\tau_0^*| \rightarrow \infty$ ,  $\tau_2^* = \tau_3^* \rightarrow 1$ ,  $x_0 \rightarrow 1$  үед  $|\tau_0^*| \rightarrow 0$ ,  $\tau_3^* \rightarrow 0$ .

Хүснэгт 3.3-д  $\tau_3^*$  эксцентриситет  $e$  –ийн утга 0-ээс 0.550406 хүртэл 1-ээс 1.04388 өсөөд, дараа нь  $e = 1$  болоход тэгтэй тэнцлээ. Мөн түүнчлэн  $e = 0.99$  үед  $\tau_3^* \approx 0.1$  болож байна. Дэлгэрэнгүй өгүүлэл ОХУ-ын “Астрономический журнал” сэтгүүлд гарсан байгаа.

- Өмнөх бодлогыг  $O_2$  системийн хувьд дундаж квадрат нормын яг тодорхой илэрхийлэн шийдэж авсан: тэг масстай цэг нь төв бие болон гажаах хурдатгал  $\mathbf{F}$  таталцлын нөлөөн дор хөдөлж байна гэж үзье. Вектор  $\mathbf{F}$  нь радиусын вектор, хөндлөн огтлол ба талбайн векторын дагуу чиглэсэн тэнхлэг бүхий тоололтын дагалдах системд тогтмол байна. Энд шүргэгч, үндсэн нормаль ба талбайн векторын дагуу чиглэсэн тэнхлэгүүдтэй харьцуулах  $\mathbf{F}$  векторыг тогтмол байна гэж үзээд бид ижил төстэй бодлогын шийдийг олсон.  $\|\delta \mathbf{r}\|^2$  нь  $a^6$ -тай пропорциональ болох ба нь  $a$  их хагас тэнхлэг юм.  $\|\delta \mathbf{r}\|^2 a^6$  нь бүрэлдэхүүн хэсгүүдийн квадратуудын нийлбэр юм. Квадрат хэлбэрийн коэффициентууд нь зөвхөн эксцентриситетээс хамаардаг ба хамгийн багадаа  $e < 1$  үед ижил хүчээр Маклорены цуваагаар дүрслэгдэнэ.

**Хүснэгт 3.3.**  $e = x^{3/2}$  хамаарсан  $|\tau_0^*|, \tau_2^*$  -ийн утгууд.

$e$	$ \tau_0^* $	$\tau_2^*$
0.0	$\infty$	1
0.1	5.5071	1.0013
0.2	3.0949	1.0051
0.3	2.1172	1.0117
0.4	1.5613	1.0215
0.5	1.1906	1.0352
0.550406	1.04388	1.04388
0.6	0.9172	1.0539
0.7	0.6989	1.0797
0.8	0.5100	1.1170
0.9	0.3263	1.1779
0.95	0.2203	1.2306
0.99	0.0951	1.3165
1	0.0	1.4022

(3.1) ба (3.2) тэгшитгэлүүдэд  $O_2$  системийн хувьд хувиргалт хийхэд

$$(\delta \mathbf{r})^2 = \delta r^2 + r^2(\delta u + c \delta \Omega)^2 + r^2(\sin u \delta i - s \cos u \delta \Omega)^2, \text{ энд}$$

$$c = \cos i, \quad s = \sin i, \quad \eta = \sqrt{1 - e^2} \text{ болно.}$$

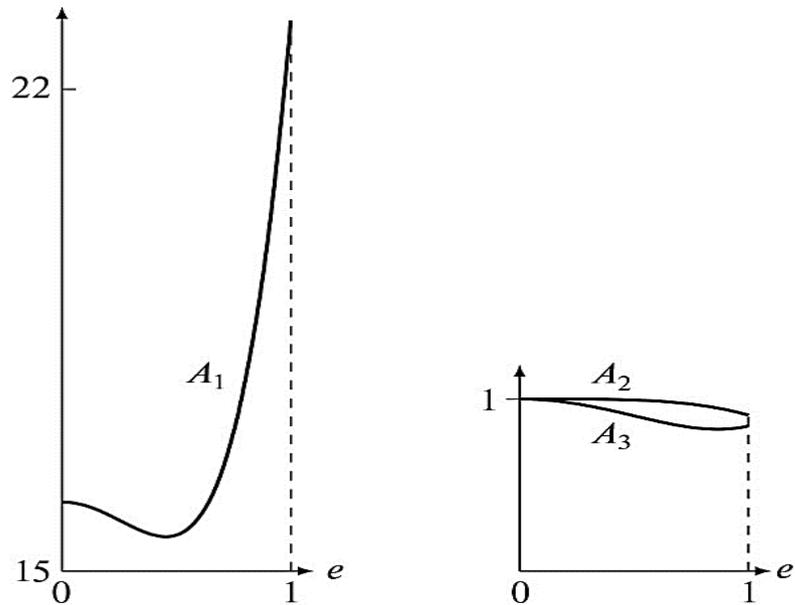
Харин хазайлтын нормыг тодорхойлолт ёсоор

$$\varrho^2 \stackrel{\text{def}}{=} \|\delta \mathbf{r}\|^2 = a^6 (A_1 \mathfrak{T}^2 + A_2 \mathfrak{N}^2 + A_3 \mathcal{W}^2).$$

$$A_1 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} (\Phi_2^2 + \Phi_5^2)(1 - e \cos E) dE,$$

$$A_2 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} (\Phi_3^2 + \Phi_4^2)(1 - e \cos E) dE,$$

$$A_3 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \Phi_1^2 (1 - e \cos E) dE.$$



$A_1, A_2, A_3$  хэмжигдэхүүнүүдийн эксцентриситетээс хамаарах хамаарал. .

$e = 0$  үед  $A_1 > A_2 \geq A_3$  нөхцөл биелнэ.

Дээрх тооцооллоос дүгнэхэд:

- $A_n(e)$  функцийн  $e$  зэргүүд нь 2 тохиолдолд тэгш
- Дөрөвдүгээр зэргийн олон гишүүнт байх үед тэдгээр нь давхацдаг
- $O_1$  системд  $n = 1$  ба  $n = 2$ -ийн хувьд  $A_n(e)$  функцүүд нь зургаадугаар зэргийн олон гишүүнт бол  $O_2$  системд хязгааргүй цуваа.

$\Phi_n$  функцүүдийг гадаад төвт аномалийн хувьд Фурье цувралаар дүрсэлсэн бөгөөд тэдгээрийн коэффициентууд нь эксцентриситет  $e$  зэрэгтэй Маклорены цуваа. Харин коэффициент нь тригонометрийн олон гишүүнт болох Маклорены цуваагаар илэрхийлж болно. Дундаж аномаль тригонометрийн олон гишүүнт рүү дамжихад хялбар боловч, гэхдээ энэ нь бидэнд шаардлагагүй. Эхний тохиолдолд нийлэлтийн радиус нь нэгтэй тэнцүү; хоёр дахь тохиолдолд - Лапласын хязгаар 0.662743-тай тэнцүү байна.

- **Дүгнэлт**

Эдгээр олсон үр дүнгээ бага жинтэй хүчний тусламжтайгаар Дэлхийтэй мөргөлдөж болох аюултай бага гаригуудыг тойрог замаас нь хазайлгах тооцоололд хэрэглэн бодов. Бага гаригаас гадна спутник болон таталцлын трактор ч байж болно. Бага жин нь тодорхой зайнд тодорхой хугацааны (жил,

сар ) турш бага гаригийн тойрог замыг өөрчлөн шилжүүлж болно. Гэхдээ нээгдээд удаагүй байгаа 100 метрээс дээш диаметртэй бага гаригийн хувьд магадлал муу байна. Харин хамгийн их магадлалтай гэсэн НАСА-гийн 66 бага гаригийн хувьд тооцоо хийж үзлээ. Үүнээс 55м хүртэл диаметртэй 19 бага гаригийн хувьд ойролцоогоор жилийн дотор тойрог замыг өөрчлөх боломжтой байна. 55 м-с дээш диаметртэй бага гаригийн хувьд жилийн хугацаанд шилжих боломжгүй. Бүүр бага диаметртэй аюулын хувьд тойрог замыг нь өөрчлөх шаардлагагүй бөгөөд зөвхөн аюул болох газрын хүмүүсийг нүүлгэн шилжүүлэхэд л хангалттай.

Хүснэгт 3.4-д бага гаригууд, диаметр  $d$ , масс  $m$ , элементүүд  $a, e, \omega^2$ , хурдатгал  $T$ , критик хугацаа  $t^*$ , нэгжгүй хэмжигдэхүүн  $\tau_1 = t_1/t_*$ ,  $\tau_2 = t_2/t_*$   $t_1 = 30$  хоног,  $t_2 = 1$  тропик жил, үет шилжилтийн норм  $\rho_1$  ба эрин дэх шилжилтийн норм  $\rho_2(\tau_1), \rho_2(\tau_2)$ . Диаметр өгсөх дарааллаар эхний 14 ба сүүлийн 4 бага гаригийг хүснэгтэд дүрслэв. Дэлхийд аюултай байж болох 66 бага гаригийг НАСА-ийн сайтаас авч тооцоолол хийв.

1. Бүх бага гаригийн хувьд  $\tau_1 < \tau_2 < 6.6 \cdot 10^{-5}$ . 2010LK34 бага гаригийн хувьд хамгийн их эксцентриситет  $e_0 = 0.807$  ба  $|\tau_0^*| = 0.50$ ,  $\tau_2^* = 1.12$ .
2. Ихэнх бага гаригийн хувьд  $\rho_1$  Дэлхийн радиусаас  $R_{\oplus}$  бага гарав. Харин дөрвөн бага гаригийн хувьд  $\rho_1 > R_{\oplus}$ . Агаар мандалыг тооцон  $R_{\oplus} = 6.5 \cdot 10^6$  гэж авав.
3. Ихэнх бага гаригийн хувьд  $\rho_2(\tau_1)$  Дэлхийн радиусаас  $R_{\oplus}$  бага гарав. Энэ үед нэг сарын хугацаанд Бага гаригийг тойрог замаас нь хазайлгах боломжгүй.
4. Диаметр нь 55м хүртэлх 19-н бага гаригийн хувьд 1Н хүчээр ойролцоогоор жилийн хугацаанд тойрог замаас нь хазайлгаж болно. Үет гажилт тооцно.
5. 55 метрээс их диаметртэй бага гаригийн хувьд 1Н хүчээр жилийн хугацаанд боломжгүй.

1Н хүчийг 20Н, 200Н болгон өөрчлөхөд өөр өөр үр дүн гарна.

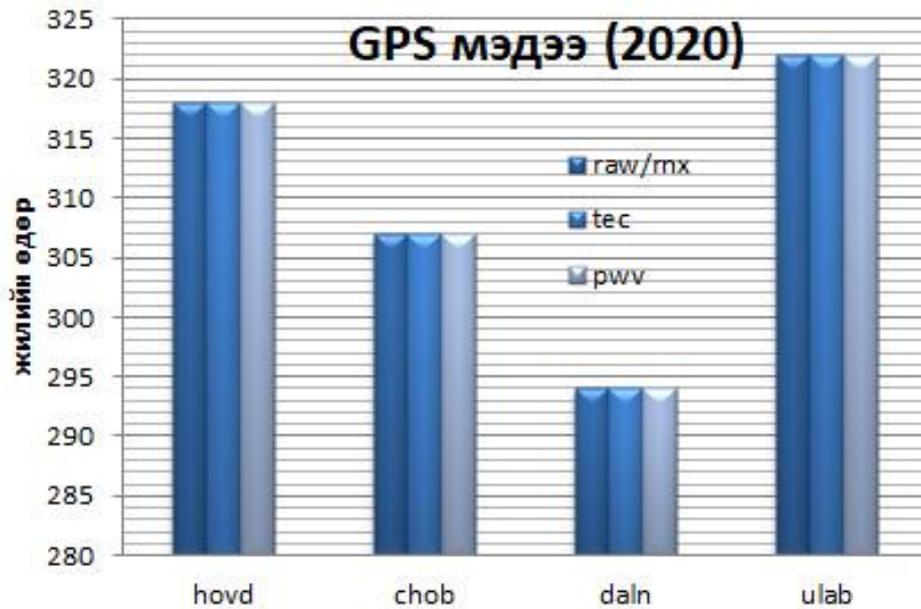
### Хүснэгт 3.4. Бага гаригуудын элемент, параметрууд.

Объект	d	m	a(au)	e	$\omega^2$	T	$t^*$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\rho_1$	$\rho_2(\tau_1)$	$\rho_2(\tau_2)$
	$\cdot 10^{-7}$				$\cdot 10^{13}$	$\cdot 10^8$	$\cdot 10^{-12}$	$\cdot 10^6$	$\cdot 10^5$	$\cdot 10^{-6}$	$\cdot 10^{-6}$	$\cdot 10^{-6}$
(2010 YD)	26	2.30	2.04	0.538	0.0466	4.35	0.480	5.40	6.58	35.0	3.10	66.3
(2002 JR100)	28	2.87	0.924	0.299	0.503	3.48	0.891	2.91	3.54	2.74	0.859	50.5
(1998 KY26)	30	3.53	1.23	0.202	0.212	2.83	0.948	2.73	3.33	5.33	1.04	43.2
(2010 FX9)	30	3.53	1.13	0.367	0.274	2.83	0.990	2.62	3.19	4.05	0.903	40.7
(2010 HA)	32	4.29	0.960	0.196	0.448	2.33	1.304	1.99	2.42	2.07	0.612	34.8
(2010 JJ3)	32	4.29	2.23	0.578	0.0356	2.33	0.855	3.03	3.69	24.2	1.87	36.3
(2010 CO44)	34	5.14	1.07	0.231	0.323	1.94	1.481	1.75	2.13	2.39	0.587	29.0
(2010 JO71)	37	6.63	1.17	0.387	0.246	1.51	1.824	1.42	1.73	2.39	0.503	21.6
(2010 QG2)	38	7.18	1.67	0.517	0.0846	1.39	1.654	1.57	1.91	6.23	0.746	19.9
(2010 JH3)	39	7.76	1.76	0.470	0.0731	1.29	1.745	1.49	1.81	6.76	0.752	19.2
(2010 JW39)	39	7.76	1.64	0.390	0.0903	1.29	1.808	1.43	1.75	5.57	0.691	19.6
(2010 EX11)	40	8.38	0.956	0.110	0.454	1.19	2.552	1.02	1.24	1.05	0.314	18.1
(2010 MY1)	43	10.4	1.21	0.211	0.221	0.961	2.813	0.921	1.12	1.73	0.345	14.6
(2010 UC7)	43	10.4	1.88	0.567	0.0593	0.961	2.259	1.15	1.40	6.01	0.602	13.9
				...			...			...		
468468 (2004 KH17)	197	1000	0.712	0.499	1.10	0.00999	353.3	0.00734	0.00893	0.00346	0.00171	0.131
(2010 CB55)	198	1020	1.13	0.148	0.272	0.00984	284.3	0.00912	0.0111	0.0144	0.00323	0.150
510055 (2010 FH81)	200	1050	1.23	0.210	0.215	0.00955	281.7	0.00920	0.0112	0.0177	0.00348	0.145
99942 (Aphophis)	325	4490	1.23	0.191	0.215	0.00223	1209	0.00214	0.00261	0.00412	0.000811	0.0340

## 4 GPS БА ИОНОСФЕРА

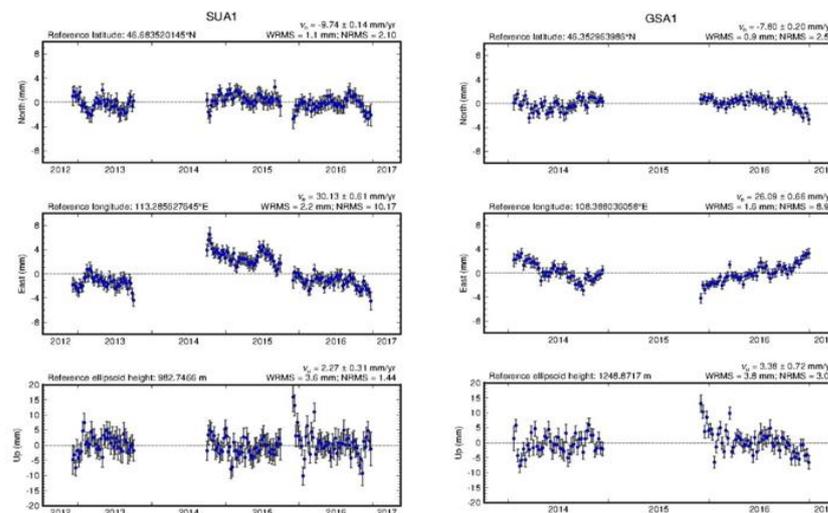
### 4.1 GPS ДАТА СИСТЕМ

Судалгааны ажлын суурь болох GPS станцуудын ажиглалтын мэдээ GNSS Дата Систем болох гео мэдээллийн санг бүрдүүлж байгаа билээ. Энд бид мэдээг мэдээлэл болгох бүх боловсруулалтын шатны анхдагч, завсрын болон эцсийн үр дүнг зохион байгуулдаг. GPS олон-сэдэвт мэдээлэл боловсруулах ажлыг мөн энэ хэсэгт багтаан станцуудын солбицол, ионосфер дэх чөлөөт электроны хэмжээ, тропосфер дэх тунадасжих усны уурын агууламж зэргийг боловсруулан оруулж байна. NAS серверт манай станцын мэдээ, мэдээллээс гадна боловсруулалтад ашиглагддаг бүх глобаль мэдээнүүд давхар хадгалагдаж, шаардлага гарвал сүлжээ муутай үед боловсруулалт хийхэд дөхөмтэй болгодог. Серверт оруулсан бүх мэдээг дүрсжүүлэх боломжгүй мөн шаардлагагүй тул жишээ болгож хэсэг цаг хугацааны мэдээ, бүтээгдэхүүнийг Зураг 4.1-д (түүхий мэдээ, бүтээгдэхүүний хэмжээ), Зураг 4.2-т (GPS станцын солбицлын мониторинг), Зураг 4.3 (тунадасжих усны уурын агууламж)-т тус тус харууллаа.



**Зураг 4.1** . 2020 онд мэдээллийн санд оруулсан GPS мэдээ, бүтээгдэхүүний хэмжээ.

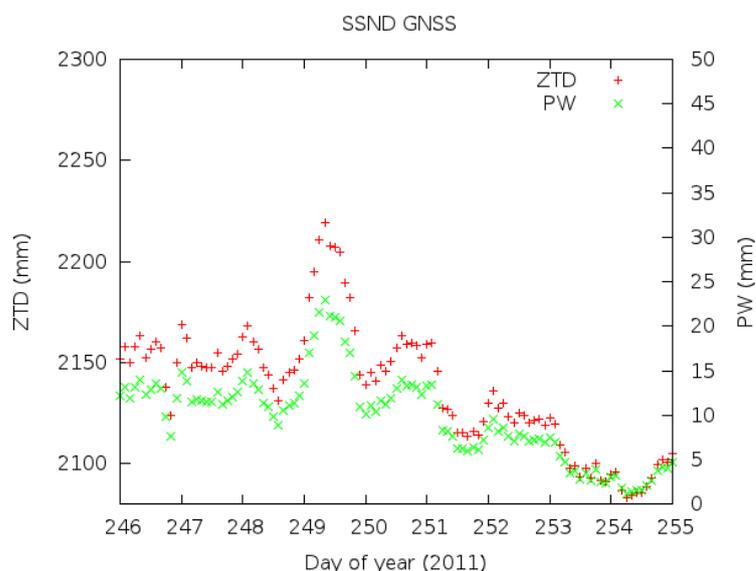
GPS байршлын утгаас бодож гаргасан хавтангийн шилжилт, хурдны орны тархалтыг тооцон үндэсний геодезийн тулгуур тогтолцоог тодорхойлох асуудал манай улсын хувьд чухлаар тавигдаж байгаа билээ. Үүнд зориулан аймгуудад байгуулсан 17 GNSS станцуудын солбицлын мониторинг хийж, Олон улсын газрын тулгуур тогтолцоо болох ITRF 2008-д холбосон болно.



**Зураг 4.2.** Үндэсний GPS сүлжээний тэгшитгэн бодолтын дүнгээр гаргасан SUA1, GSA1 станцуудын солбицлын шилжилтийн мониторинг 2012-2017

Станцуудын 2012-2017 хугацаанд шилжсэн утга, шилжилтийн хурдыг мөн тодорхойлж, мэдээний чанар, тулгуур цэгээр сонгох боломж болон олон улсын жишгийг судалж нэг өгүүлэл хэвлүүлсэн.

Агаар мандлын нейтраль молекулд рефракцийн улмаас саатсан GPS дохиог өндөр нарийвчлалын геодезийн хэрэглээнд *Зенитийн Нийт Саатал* (Zenith Total Delay, ZTD, Zenith Path Delay, ZPD) гэж томъёолон бусад геодезийн параметруудтэй хамт үнэлдэг. Бид энэ зарчмаар үнэлгээ хийн зенитийн зам дагуух саатлаас тунадасжих усны уурын агууламжийг гаргаж авдаг (аргачлалыг дэлгэрэнгүй тайлбарыг өмнөх жилүүдийн манай тайлангаас харж болно) бөгөөд NAS сервертэй болсноор дахин энэ бодолтыг сэргээгээд байна.



**Зураг 4.3.** Сайншанд SSND GPS станцын ажиглалтын мэдээнээс тодорхойлсон тропосфер дэх тунадасжих усны уурын агууламж

- **GPS станцуудын техник хангамж, ажиллагаа**

Тайлангийн хугацаанд Одон Орны оргил дахь ULAB IGS станцад техникийн шинэчлэлт хийгдэж бүх төрлийн GNSS дагуултай холбогдох хүчин чадалтай JAVAD төрлийн хүлээн авагч, антен, өмнөх үндсэн параметрээс гадна салхины хурд болон бусад олон параметрууд хэмжих боломжтой цаг уурын станцтай болов. ULAB GPS станц бүхэлдээ 10x20x13 см хэмжээтэй болсон ба түүний дотор “бичил” компьютерын процессор, GPS хүлээн авагч, цаг уурын сенсор нэг хавтан дээр угсрагдсан болно (Зураг 4.1). Ажиглалтын

мэдээгээ IGS/GFZ боловсруулалтын төв рүү бодит горимоор өмнөх интернет сүлжээгээр дамжуулж байна.



**Зураг 4.4.** ULAB IGS станцын шинэ техник хангамж.

Бусад 3 станцын хувьд техникийн сааталгүй харин хүлээн авагчийн программ хангамжид өөрчлөлт орсон бөгөөд түүнийг скриптууд бичиж зассан болно. Энэ нь 2020 оны 12 сард HOVD станцад GPS долоо хоногийн тоололд саатал гарсан. SSND GPS станцын мэдээг Газар хөдлөлийн серверээс авах боломжгүй болсон.

#### **4.2 GPS ИОНОСФЕРИЙН СУДАЛГАА**

“GPS ионосфер” сэдвийн хүрээнд ионосферийн электроны агууламжийн хугацааны цуваа боловсруулах, дүн шинжилгээ хийх, сансрын цаг агаарын нөлөөг бүртгэх, бусад геофизикийн үзэгдлүүдтэй хэрхэн холбогдох хамаарлыг олох гол зорилготой. Тайлангийн хугацаанд GPS станцуудын 2008-2016 оны ажиглалтын мэдээнээс ЭНА хугацааны цувааг гаргаж дунд өргөргийн ионосферийн төлөв байдлын ерөнхий шинж, түүний урт болон богино хугацааны үет өөрчлөлтүүд, улирлын өөрчлөлтүүдийг Фурье болон хугацаа-давтамжийн вейвлет хувиргалт болон бусад статистик тооцооллоор гаргасан.

Үүнд, 4.8 , 6 , 8 цагийн болон 1 , 22, 27.2, 182.5, 260 хоногийн үеүдийг тодорхойлж соронзон шуурга, туйлын туяа, Нар болон Дэлхийн тэнхлэгээ эргэх хөдөлгөөнтэй хэрхэн холбогдож болох санаануудыг гаргалаа. Мөн геосоронзон шуурга, наран дээрх хүчтэй тэсрэлтүүд, нарны титмийн масс шидэгдэлтээс үүдэлтэй сансрын цаг агаарын хүчтэй үйлчлэлүүдэд Дэлхийн

ионосфер хэрхэн хувьсаж байгааг 2015 оны 3 сарын 17-ны, 2017 оны 9 сарын 6-9-ны хооронд болсон үзэгдлүүдэд ULAB (47.86N, 107.06E), HOVD (48.00N, 91.66E), СНОВ (48.08N, 114.53E) and DALN (43.56N, 104.42) GPS ЭНА-аар тодорхойлсон.

- **GPS ЭНА тооцоолох, дүн шинжилгээ хийх арга зүй**

GPS болон бусад хоёр-давтамжийн сансрын геодезийн техникийн ажиглалтын мэдээнээс ЭНА тооцоолох арга нь өнөөдөр урсгалд горимд ороод олон анализ төвүүд ЭНА бүтээгдэхүүн гаргахдаа ашигладаг.

ЭНА-ийг псевдо-зай ба фазын ажиглалтуудын аль алианаар нь тодорхойлж болно.

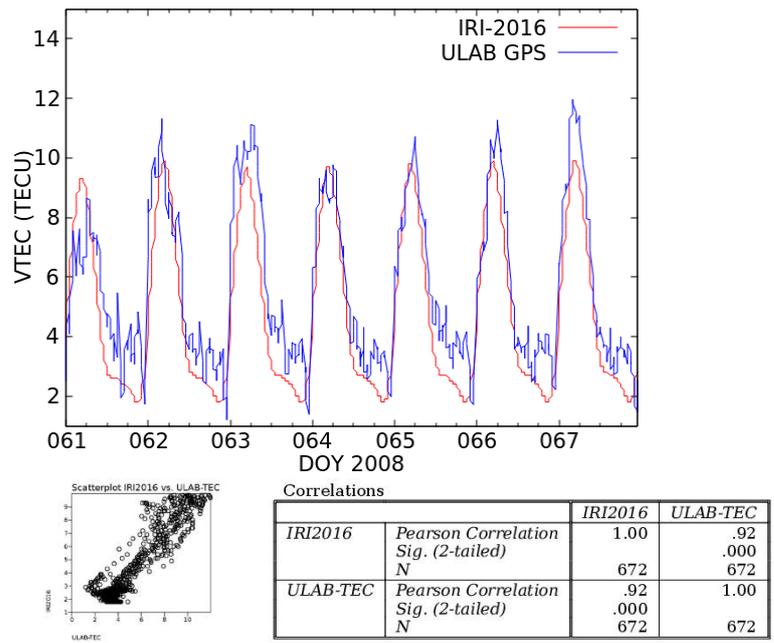
$$TEC_p = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} (P_2 - P_1 - b_r + b_s), \quad (4.1)$$

$$TEC_\phi = \frac{1}{40.3} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_2^2 - f_1^2} [(\Phi_1 - \Phi_2) - \varepsilon_{\phi 12} - b_r + b_s - \lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2]. \quad (4.2)$$

ЭНА-ийн үнэмлэхүй утгыг давтамжууд дээрх кодын хэмжилтийн шугаман комбинациар (4.1), харьцангуй утгыг фазын хэмжилтийн шугаман комбинациар бодож олно (4.2).

Бид энэ зарчмын дагуу 2009 оноос хойш ЭНА-г GPS станц тус бүрээс тодорхойлох боловсруулалтыг хийж байна. Дээрх аргаар боловсруулсан ЭНА-гийн утгыг Олон Улсын Референц Ионосферийн 2016 оны загвартай (International Reference Ionosphere-IRI, 2016) харьцуулж ULAB IGS станц дээр 0.92% корреляцитай байгааг тогтоосон нь бидний боловсруулалтын үнэмшлийн илтгэгч болохоос гадна судалгаа олон улсын түвшинд хийгдэж байгааг харуулах нэг үзүүлэлт юм.

Олон Улсын Референц Ионосферийн загвар IRI нь Сансрын Судалгааны Зөвлөл (Committee on Space Research-COSPAR) болон Радио Судалгааны Олон Улсын Холбооны (International Union of Radio Science-URSI) хамтарсан төсөл бөгөөд тухайн байрлал, өдөр, цаг хугацаанд электроны нягт, электроны температур, ионы температур болон ионосферийн бүтэц найрлагын



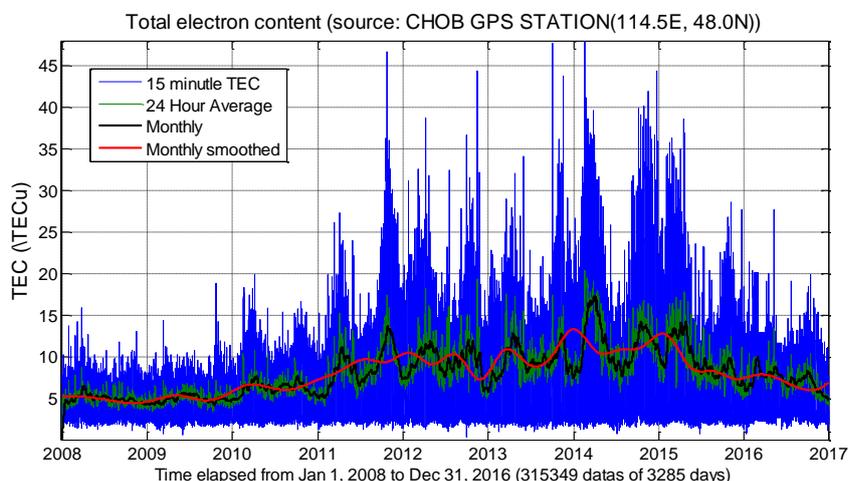
**Зураг 4.5.** ULAB IGS болон IRI2016 -ийн ЭНА-ийн корреляци.

мэдээний сарын дундаж утгыг 500-2000 км өндөрт өгдөг. Энэ мэдээг дэлхий даяар тархсан ионозонд, когерент биш радарын цацраг, дээд давхаргын зондын сүлжээ болон төрөл бүрийн хиймэл дагуул болон пуужингийн цуглуулсан хэмжилтээс гаргадаг. IRI загвар байнга шинэчлэгдэж байдаг бөгөөд сүүлийн шинэчлэгдсэн хувилбар нь IRI-2016 юм. IRI-Plas загварт өндрийн утга плазмасфер хүртэл нэмэгдсэн.

ЭНА-ийн үет өөрчлөлтүүдийг тодорхойлохдоо урт хугацааны цуваанд Фурье болон Вейвлет хувиргалт хийж спектр анализ ашигласан. Вейвлет хувиргалт нь Фурье хувиргалтыг бодвол хугацаа-давтамжаар нь ялгаж өгдөг, өөрөөр хэлбэл давтамжийн далайцыг хугацаанаас хамааруулан гаргадгаараа чухал онцлогтой хувиргалт юм. ЭНА хугацааны цуваа бүрдүүлэхийн зэрэгцээ Наран дээр болсон хүчтэй тэсрэлт, геосоронзон шуурганы бүртгэлтэй харьцуулахын тулд уламжлалт статистик аргуудыг МатЛаб программчлалаар, олон гишүүнтээр дундажлах болон Морлет вейвлет функцийг ашиглан гүйцэтгэсэн. (Christopher Torrence 1998), (Benjamin F. Chao 2014).

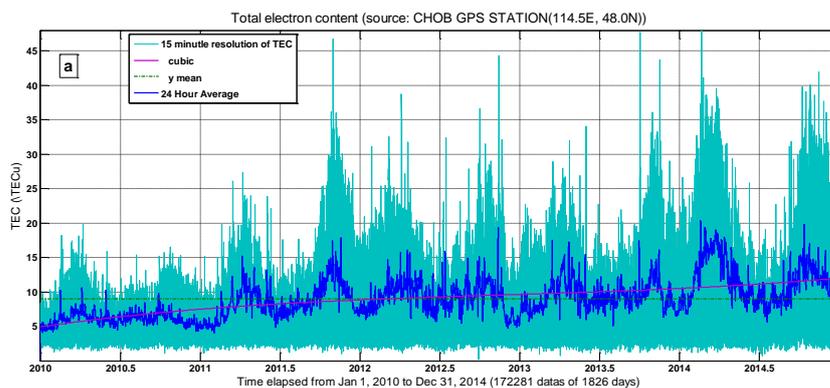
- **Ионосферийн ЭНА-ийн удаан хугацааны өөрчлөлт**

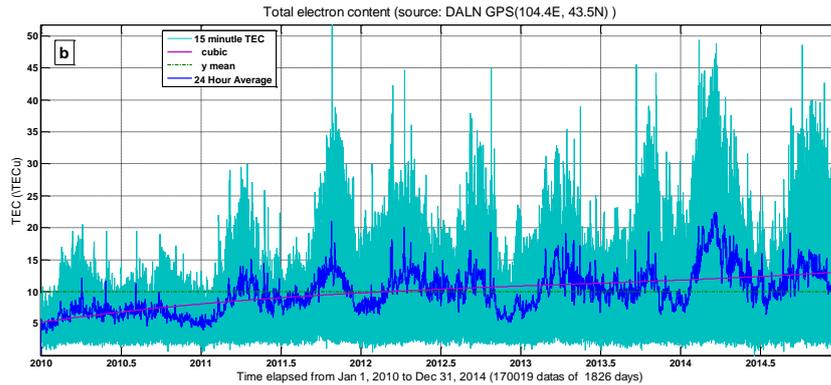
СНОВ GPS станцуудын Ионосфер дэх ЭНА-ийн (TEC) өөрчлөлтийг 2008-2016 онуудад 15 минутын хугацааны завсартайгаар авч график байгуулж, түүнд анализ хийсэн.



**Зураг 4.6.** а) СНОВ GPS станцын 2008-2016 оны ЭНА өөрчлөлт.

Зураг 4.6 дээр СНОВ GPS станцын ЭНА-ийг 2008-2016 оны байдлаар гаргав. ЭНА-ийн өөрчлөлт дээрх 9 жилийн хугацаанд 2008-2013 оны хооронд ихсээд 2014 онд хамгийн их утгадаа хүрээд 2015, 2016 онуудад буурч байгаа дүр зураг ажиглагдаж байна.





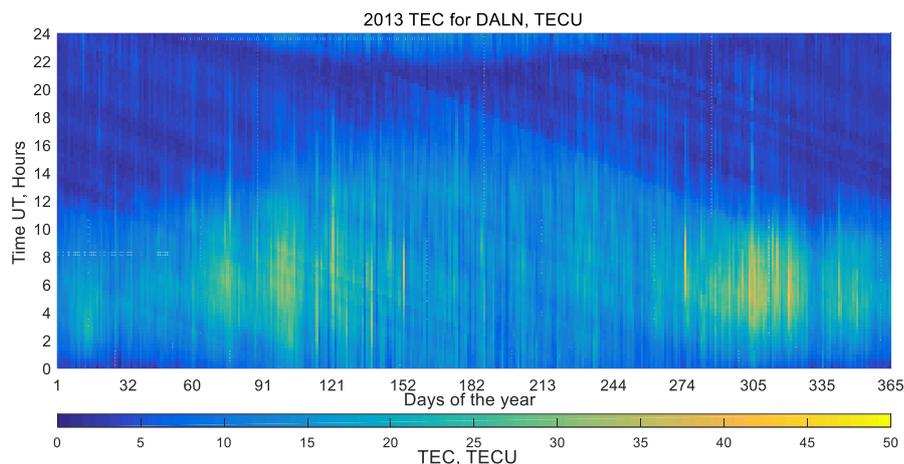
**Зураг 4.7.** а) СНОВ GPS, б) DALN GPS станцын 2010-2014 оны TEC-ын хугацааны цувааг ногооноор, цэнхэрээр 24 цагын дунджийг харуулсан

Зураг 4.7-т СНОВ болон DALN ЭНА-ыг 2010-2014 оны байдлаар харьцуулан гаргав. 2 станцын өөрчлөлтийн утга ойролцоо боловч өргөргийн зөрүүгээс болж DALN-ЭНА-ийн 5 жилийн дундаж утга нь СНОВ-ЭНА-аас 1TECU орчмоор их гарсан.

- **Ионосферийн ЭНА-ийн улирлын өөрчлөлт**

ЭНА-ийн улирлын болон хагас жилийн аномалийг тодорхойлохын тулд ЭНА-ийн 3, 15 минутаар мөн урт хугацааны цуваанд зориулж 2 болон 8 цагийн дунджийн мэдээг ашигласан. Улирлын аномаль гэдэг нь өвлийн туйл орчмын сарын ЭНА утга зуны туйл орчмын ЭНА-с илүү байхыг хэлэх бөгөөд ийм дүр зураг нам болон дунд өргөрөгт ажиглагддаг. Улирлын аномаль нь ионосферийн F бүс дэх хүчилтөрөгчийн атом болон азотын молекулын концентрациас үүдэлтэй гэж үздэг.

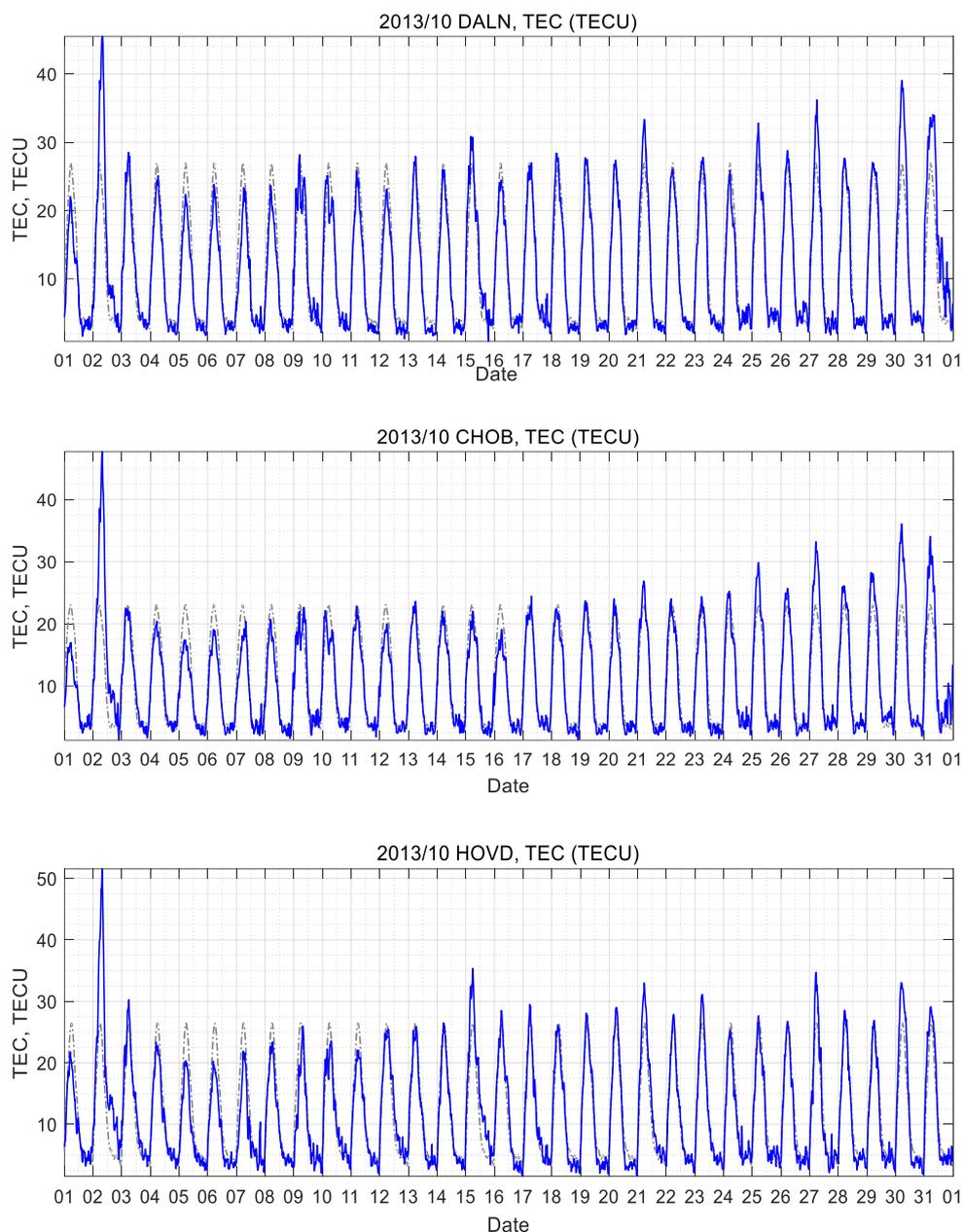
Зураг 4.8-т жишээ болгож Даланзадгадын ЭНА-ийн 2013 оны нэг жилийн утгыг харуулсан.



**Зураг 4.8.** 2013 оны туршид Даланзадгад станцаар тодорхойлсон ЭНА-ийн улирлын өөрчлөлтийн явц. Тод хар цэнхэр - шөнө, бүдэг цагаан цэнхэр – өдрийн цагийн ЭНА

- **ЭНА-ийн сарын өөрчлөлтийн явц болон ионосферийн шуурга**

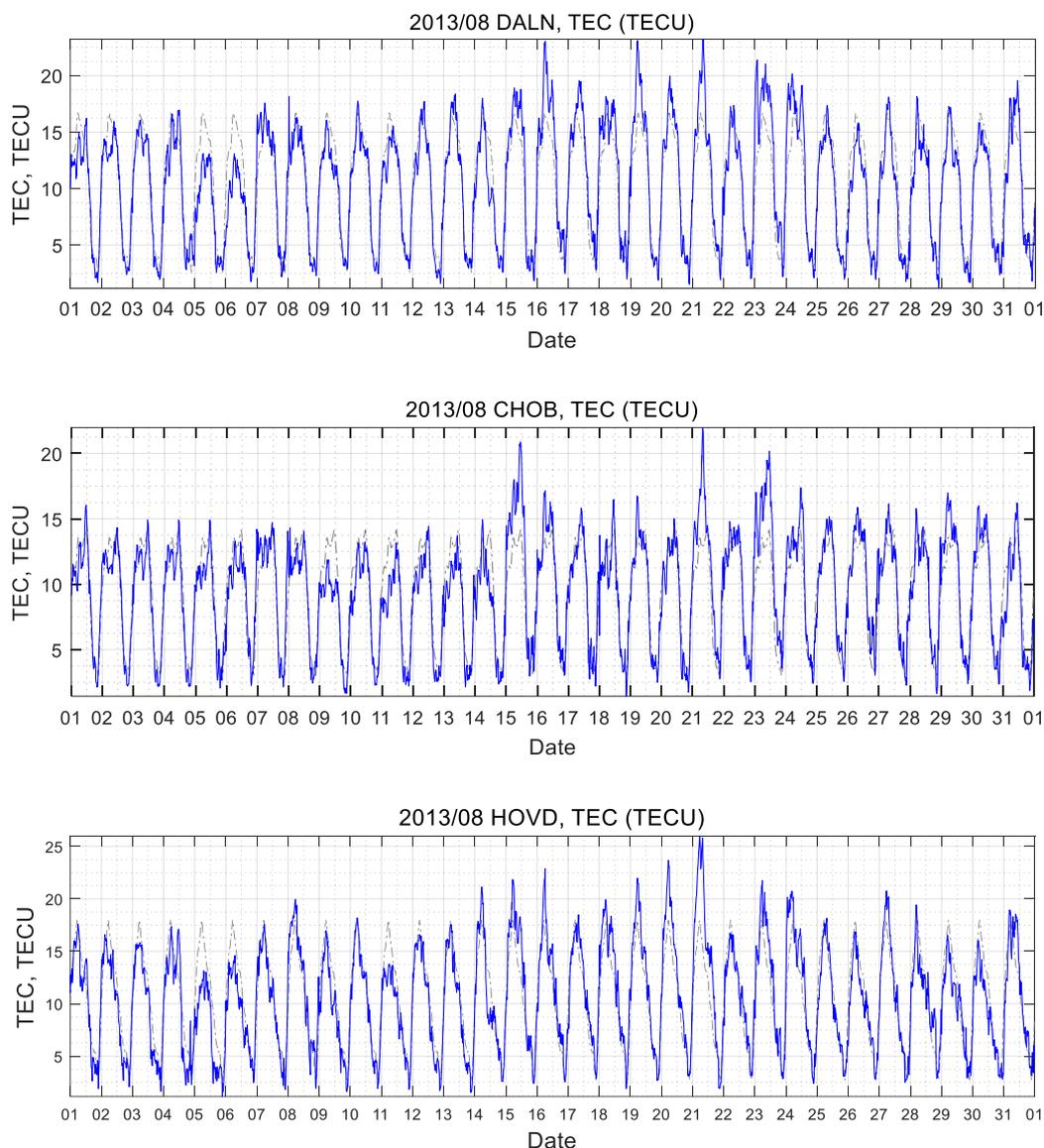
Ионосферийн шуурга гэдэг нь Нарнаас үүдэлтэй их энергитэй электронуудын янз бүрийн нягтралыг агуулсан огцом эрчимжсэн урсгалыг хэлдэг. Эдгээрийг эерэг, сөрөг шуурга гэж ангилдаг бөгөөд эерэг шуурга нь электроны нягт ихтэй, сөрөг шуурга нь электроны нягт багатай байна. Энэ нь электроны нийт агууламжаар (ЭНА) тодорхойлогддог бөгөөд ионосферийн шуурганы эрчмийг тэмдэглэж, харьцуулах өгөгдөлд ашигладаг гол хэмжигдэхүүн юм. Бид ЭНА-ийн сарын өөрчлөлтийн явцыг 2013 оны хувьд ионосферийн шуурга болсон дээрх өдрүүдэд гаргасан. Доорх зурагт жишээ болгож 2013 оны 10 сарын байдлаар сарын дундаж утгаасаа хэр зэрэг өөрчлөгдөж байгааг GPS станц бүрийн хэмжилтээр харуулсан. Энэ 10 сарын 2-ны ионосферийн шуурга нь маш их өвөрмөц онцлогтой, бусдаасаа хүчтэй шуурга болж өнгөрсөн. Шуурганы гол эх үүсгүүр нь Нарны өнгөт мандал дахь нарийхан үргэлжилсэн ширхэглэг (solar filament) буюу соронзон судалтай, өөрөөр хэлбэл, Нарны тэргэл дээр нарийн хар сунамал утас мэт үзэгдэж байгаа дөлтэй холбогдож байна [9]. Тэгэхлээр, аварга дөлний соронзон хүчлэгийн эсрэгцээ шугамуудын агшин зуурын холболтын улмаас плазмын бодис маш хүчтэй цацагдан тасарч, титмийн масс шидэгдэлт Дэлхий рүү чиглэсэн [14].



**Зураг 4.9.** Станц бүр дээр 2013 оны 10 сарын ЭНА-ийн өөрчлөлтийн явц, 10 сарын 2-нд ионосферийн шуурга, тасралттай шугам – сарын дундаж утга

Зураг 4.9-д 2013 оны 10 сарын DALN, CHOB, HOVD GPS станцуудаас тодорхойлсон ЭНА өөрчлөлтийн явцыг харууллаа. Үүнд 10 сарын 2 бол ионосферийн шуурга болсон өдөр ЭНА-ийн эрчим DALN хувьд 45.49TECU, CHOB хувьд 47.68TECU, HOVD хувьд 51.53TECU-д хүрсэн байна. Жишээ нь, HOVD станцын хувьд ЭНА-ийн сарын дундаж утга нь 26.41TECU байсан, тухайн өдөр 51.53TECU хүрсэн дундаж утгаасаа 25.12TECU-ээр ихэссэн байна. Үүнийг Зураг 4.10 болон нарийвчлалтайгаар Хүснэгт 4.1-ээс харж

болно. Бид ионосферийн шуурга болсон өдрүүдэд станц бүр дээр ЭНА-г тооцоолон Хүснэгт 4.1-ээр үзүүлэв.



**Зураг 4.10.** Станц бүр дээр 2013 оны 8 сарын ЭНА-ийн өөрчлөлтийн явц, 8 сарын 21-нд ионосферийн шуурга, тасралттай шугам - сарын дундаж утга.

Хүснэгт 4.1-д станц бүрийн хувьд ионосферийн шуурга болсон өдрүүдэд ЭНА утга сарын дундаж утгаасаа тодорхой хэмжээгээр ихэссэнийг, мөн өдөр болсон соронзон шуурганы хэмжээг болон Нарны нөлөөллийг тусгасан.

Зураг 4.10-т 2013 оны 8 сарын DALN, CHOB, HOVD GPS станцуудаар тодорхойлсон ЭНА өөрчлөлтийн явцыг харуулав. Үүнд 8 сарын 21 -нд ионосферийн шуурга болсон бөгөөд ЭНА-ийн эрчим DALN хувьд 23.22TECU, CHOB хувьд 21.97TECU, HOVD хувьд 25.95TECU-д хүрсэн байна. 3-н станцын

ЭНА-ийн сарын дунджаасаа хазайх хазайлтын утга 7-8TECU орчмоор өөрчлөгдсөн байна. Энэ CME нь Дэлхий рүү чиглэсэн байсан [12].

**Хүснэгт 4.1.** GPS станцуудын ионосферийн гэнэтийн шуурга болсон өдрүүдэд харгалзах статистик шинжилгээ 2013 он

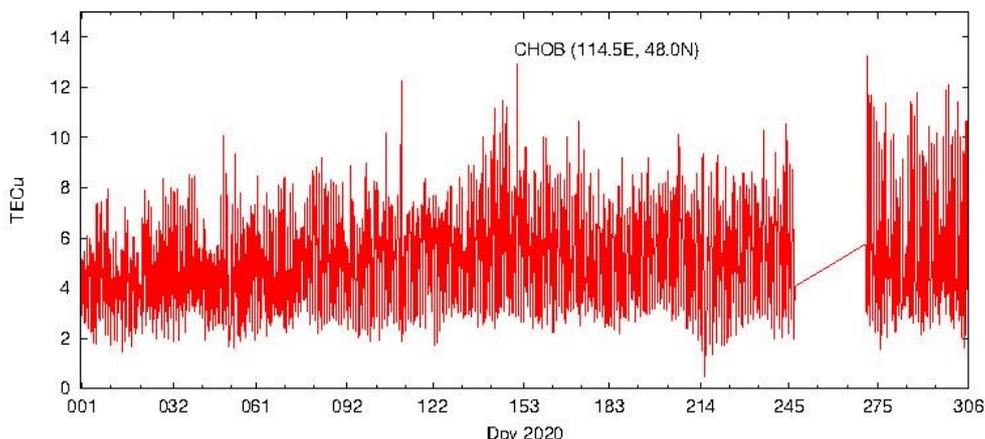
Ионосфер шуурга	DALN(43.56N, 104.42)(TECU)			СНОВ(48.08N, 114.53E),(TECU)			HOVD(48.00N, 91.66E),(TECU)			Dst (min, max) WDC-Kyoto	Нарны нөлөө (SOHO)
	mean	max	<i>ATEC</i>	mean	max	<i>ATEC</i>	mean	max	<i>ATEC</i>		
05/01	21.35	35.39	<i>14.04</i>	15.8	25.32	<i>9.52</i>	28.7	41.91	<i>13.21</i>	-72(nT)	CME
06/01	16.68	38.92	<i>22.64</i>	12.39	34.04	<i>21.65</i>	19.15	41.84	<i>22.69</i>	-124(nT)	CME
08/21	16.7	23.22	<i>6.52</i>	14.15	21.97	<i>7.82</i>	17.96	25.95	<i>7.99</i>	+28(nT)	CME
10/02	26.93	45.49	<i>18.56</i>	23.10	47.68	<i>24.58</i>	26.41	51.53	<i>25.12</i>	-72(nT)	Solar filaments
10/30	26.93	39.02	<i>12.09</i>	23.10	36.06	<i>12.96</i>	26.41	33.04	<i>6.63</i>	-56(nT)	X1.0, X2.3
11/01	27.2	38.35	<i>11.15</i>	25.23	29.52	<i>4.29</i>	27.2	37.23	<i>10.03</i>	-32(nT)	CME
11/16	27.2	44.2	<i>17.0</i>	25.23	43.71	<i>18.48</i>	27.2	40.98	<i>13.78</i>	-40(nT)	M1.2, M1.6

Станцуудын байрлалаас нь хамааруулан жишиж үзвэл, хүснэгт 4.1-ээс HOVD GPS станцынхыг нь СНОВ GPS-тай харьцуулбал, ЭНА-ийн өөрчлөлтийн сарын дундаж утгын ялгавар нь уртрагаас хамааран 3-4TECU орчмоос их гарсан, харин HOVD болон DALN станцынхаар утгууд ойролцоо гарсан.

- **ЭНА-ийн өөрчлөлтөд нөлөөлөх зарим хүчин зүйл**

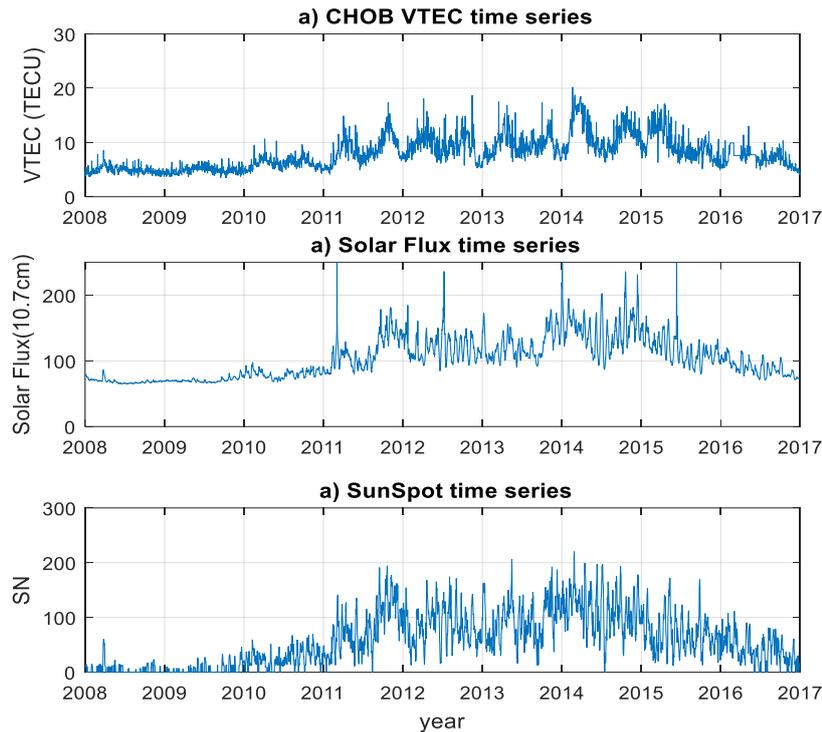
- а) Нарны идэвхжилийн нөлөө

Нарны 24 дэх цикл хамгийн минимум утгаа 2019 оны 12 сард өнгөрөөж 2020 оноос 25 дахь цикл эхэлсэн гэж NASA/NOAA албан ёсоор зарласан байдаг. Идэвхжилийн процесс алгуур явагддаг бөгөөд 2020 гарсаар толбогүй өдрийн тоо 206 байж, ихэвчлэн А, В, С ангиллын тэсрэлтүүд явагдсан байна. Хамгийн том тэсрэлт нь 2020 оны 5 сарын 29-нд M1.1 хэмжээтэй болжээ (<http://www.spaceweatherlive.com>). Нарны энэ тайван үе буюу сул идэвхжилийн үед дунд өргөрөгт ионосферийн электроны нийт агууламж (ЭНА) хэмжээ < 10 ЭНА нэгж байдаг нь СНОВ станцын ЭНА-ийн цуваанаас харж болно (Зураг 4.11). Энэ хэмжээ 2019 оны утгатай ойролцоо байна.

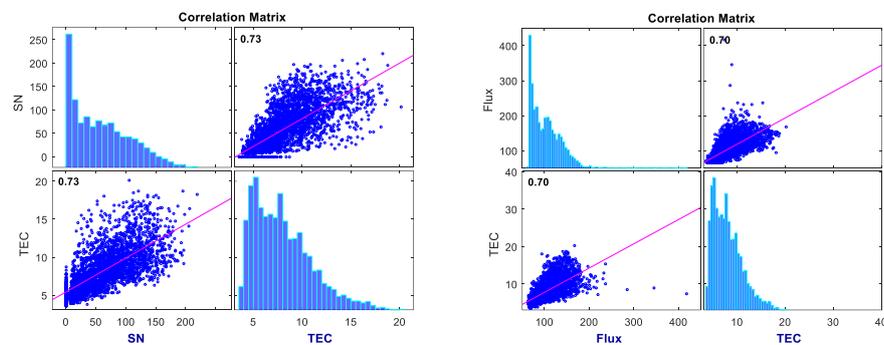


**Зураг 4.11.** 2020 оны CHOB GPS ЭНА явц.

ЭНА (TEC) болон Нарны идэвхжил хоорондын хамаарлыг 2008-2016 оны хооронд нийт 9 жилийн хугацаанд харьцуулан судалгаа хийж үзсэн. Энэ нь нарны идэвхжилийн 11 жилийн 24 дэх циклийн үетэй холбоотой байгаа нь ажиглагдаж байна. Ионосферийн хэвийн төлөв байдлын долгисол нарны толбоны 11 жилийн идэвхжилийн циклтэй (НТ) шууд хамааралтай байна. Толбоны тооны ихсэлт, идэвхжилт нь наран дээрх тэсрэлт, титмийн массын шидэлт үүсэх нөхцөл бөгөөд үүнийг ионосферийн хэвийн төлөв байдлын өөрчлөлтийг таамаглахад ашигладаг. ЭНА болон НТ хоорондын хамаарлын хэмжээг Нарны 10.7 см долгионы урттай цацаргалт (Solar flux, F10.7cm) мэдээтэй харьцуулж харууллаа. Энд 2008-2016 оны хооронд нийт 9 жилийн хугацаанд ЭНА, F10.7, НТ утгуудыг өдөрт нэг завсартай мэдээ ашигласан болно. ЭНА-ийн явц нь F10.7 болон НТ графиктай фазаараа давхцаж 2008-2013 оны хооронд өсөж, 2013, 2014 онд хамгийн их утгадаа хүрээд түүнээс хойш 2015, 2016 онуудад буурч байгаа нь эдгээр параметруудийн шууд холбоотойг харуулж байна (Зураг 4.12). ЭНА-ийн өөрчлөлт 182,5 хоног буюу 6 сарын хугацаатай идэвхжиж, хавар болон намрын тэнцлийн үеүдэд их утга авч байна. Ийм дүр зураг ерөнхийдөө доод болон дунд өргөргийн өөр станцуудад ч мөн ажиглагддаг.



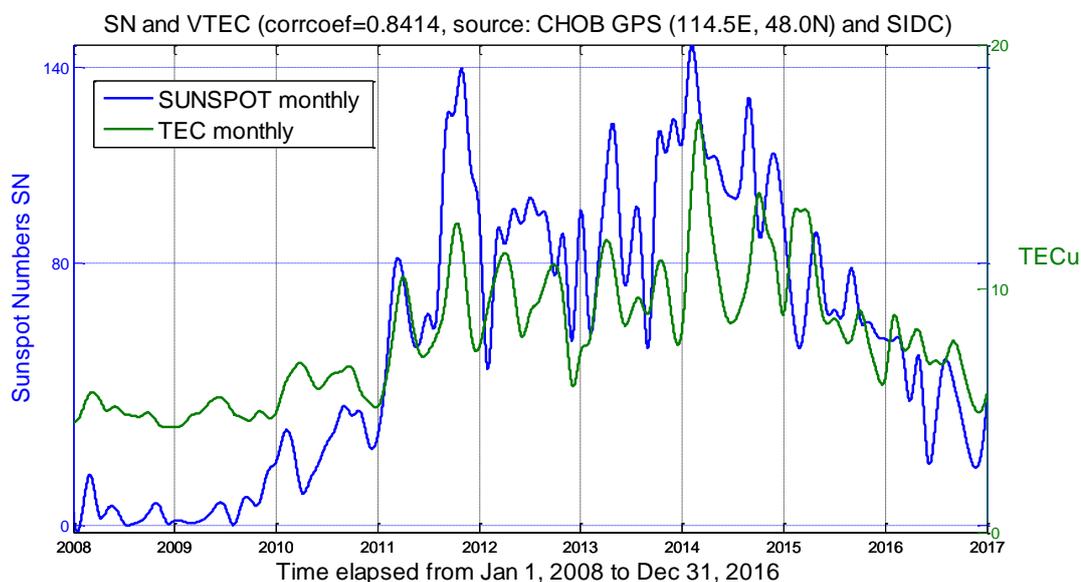
**Зураг 4.12.** ЭНА, F10.7, НТ өдрийн дундаж утгаар байгуулсан хамаарал  
 Жил бүр хаврын ЭНА утга нь намрынхаасаа 2 дахин их байгаа нь олон жилийн мэдээнээс ажиглагдаж байна.



**Зураг 4.13.** ЭНА болон Нарны толбо (НТ), ЭНА болон F10.7 хоорондын хамаарлын муруй

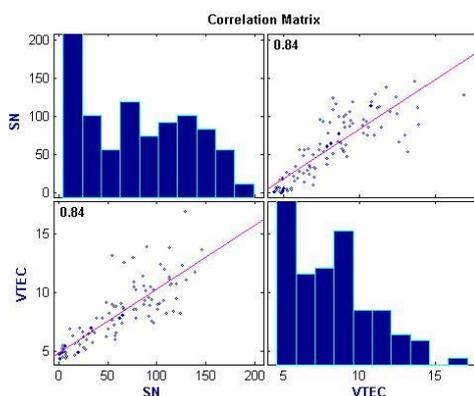
Зураг 4.13-т ЭНА болон НТ хамаарлын коэффициент 0.73, харин ЭНА болон F10.7 хамаарлын коэффициент 0.70 байгаа нь эдгээр үзэгдлүүдийн хоорондын хамаарал өндөр байна. Матлаб программ дээр Ионосферийн олон жилийн мэдээг НТ идэвхжилтэй харьцуулсныг сайжруулан өгөгдлүүдээ сард нэг дундаж утгын завсартайгаар байгуулж, түүн дээрээ корреляцийн график байгуулсан. Дэлхийн эргэлтийн параметрууд болон ионосферийн

ЭНА-ийн утгуудыг үргэлжлүүлэн тооцоолол хийж, тасралттай утгууд дээр интерполяцийн аргыг ашиглан боловсруулалт хийж байна.



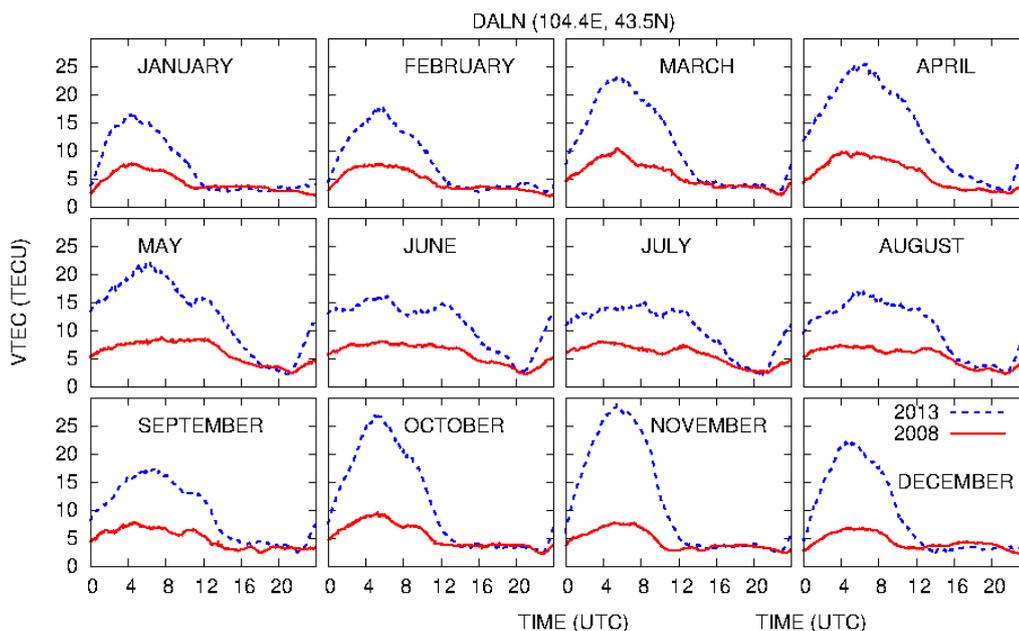
**Зураг 4.14.** ЭНА (TEC) болон Нарны идэвхжил(Sunspot number) хоорондын хамаарал

Удаан хугацааны ЭНА болон Нарны идэвхжилийн(толбоны тоо) 24 дэх циклийн өөрчлөлтүүдийн сарын дундаж утгуудаар график байгуулж, тэдгээрийн хоорондын хамаарлыг бодож, корреляцийн коэффициент 0.84 байгааг тодорхойллоо (Зураг 4.14, Зураг 4.15).

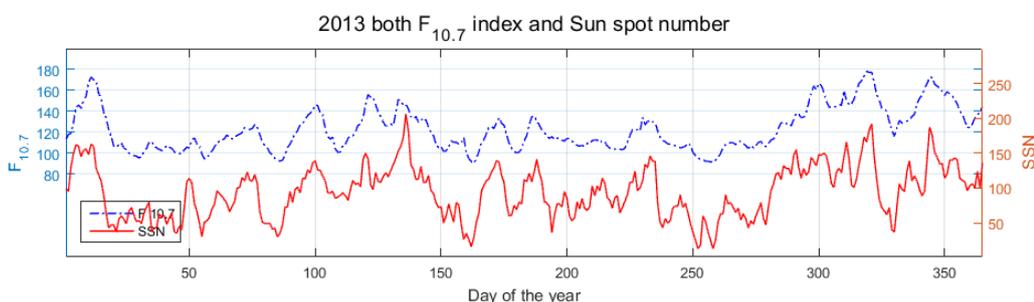


**Зураг 4.15.** Корреляцийн матриц, ЭНА , НТ-ын хамаарал 0,84

Нарны идэвхжилийн хамгийн бага үе нь 2009 онд харин хамгийн их үе нь 2013 онд болсон. ЭНА-ийн өөрчлөлтийн сарын дундаж өдрийн явцыг нарны идэвхжилт их, бага байх үеүдэд бодож, харьцуулан харуулсан (Зураг 4.16).



**Зураг 4.16.** Нарны идэвхжилийн минимум (2008 –улаан шугам), максимум (2013-цэнхэр тасархай шугам) үеийн Ионосфер дэх ЭНА-ийн хувьсал (DALN станц)



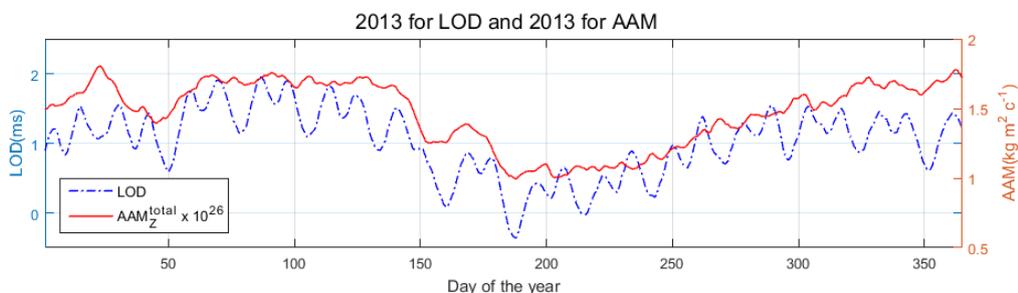
**Зураг 4.17.** Нарны толбоны тоо болон Нарны 10.7см индексийн улирлын өөрчлөлтийн явц.

Зураг 4.17-д тухайн нэг жилийн хугацаанд Нарны идэвхжилийн индексүүд болох толбоны тоо болон 10.7 см-ийн урттай радио-долгион цацаргалтын урсгал нь ЭНА-утгатай эрчмээрээ тохирч байгааг харуулсан болно. Энэ идэвхжил нь 3, 4 болон 10, 11 саруудад ихсэж байсан.

b) Дэлхийн эргэлтийн нөлөө

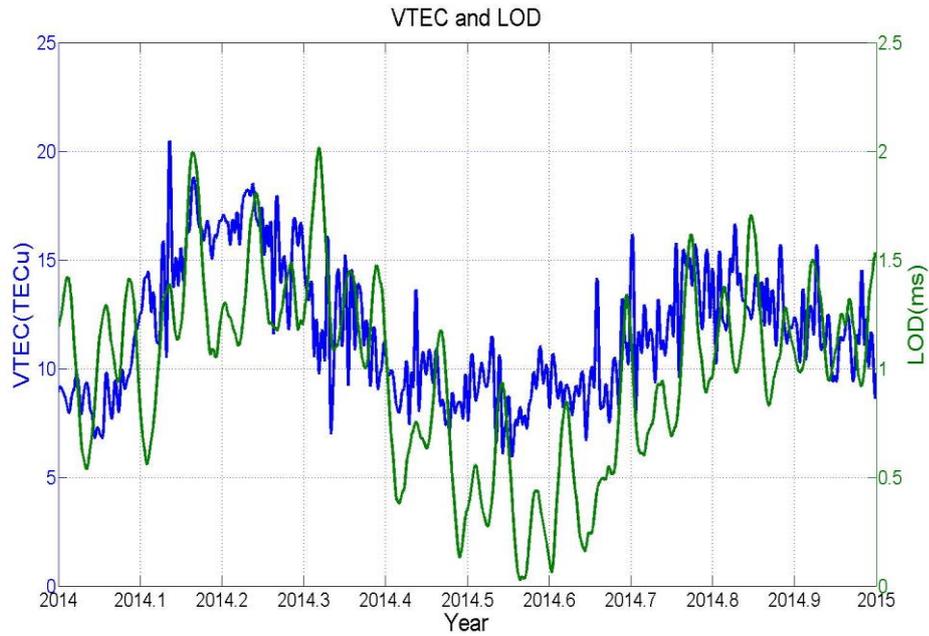
Бид Дэлхийн эргэлдэлтийг тодорхойлж, шинжлэх судалгааны сэдвээр олон жил ажиллаж ирсэн. Энэ нь цаг хугацаа болоод маш олон хэмжигдэхүүн, бас судлагдахуунтай холбогддог Дэлхийн тухай чухал шинжлэх ухааны нэг юм.

Дэлхийн эргэлдэлтийг тодорхойлдог чухал параметруудийн нэг нь хоногийн үргэлжлэх хугацаа юм. Түүнийг олон улсад “length of day” буюу LOD гэж товчлон тэмдэглэдэг (зураг 4.5). Энэ нь бас үечилсэн өөрчлөлтүүд ихтэй боловч атмосферийн өнцөг-моменттой (AAM) буюу эргэлдүүр хөдөлгөөний тоон хэмжээтэй үргэлж уялдаа холбоотой. Зураг 4.18-д Нэг жилийн турш Дэлхийн эргэлдэлт болон атмосферийн өнцөг-момент нь 3, 4 сард удаашраад 6, 7 сард хурдсаад 10, 11 сард дахин удаашрах үзэгдэл байнга давтагддаг. Энэ нь ЭНА-ийн жилийн өөрчлөлтийн явцтай тохирч байна. ЭНА-ийн жилийн явц нь үргэлж 3, 4 сард ихсээд 6, 7 сард багасаад 10, 11 сард дахин ихсэх үзэгдэл бас байнга давтагдаж байна.

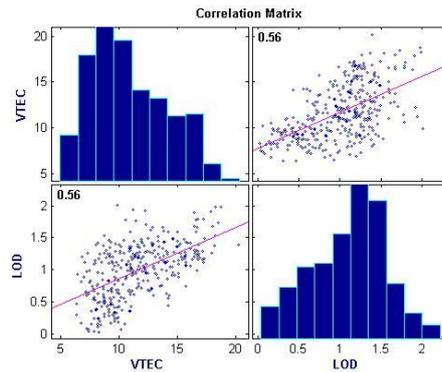


**Зураг 4.18.** Дэлхийн эргэлдэлт болон атмосферийн өнцөг-моментын жилийн турш дахь өөрчлөлтийн явц

Хоногийн үргэлжлэх хугацаа (LOD) болон ЭНА (VTEC) нэг жилийн улирлын өөрчлөлтүүдийг гаргаж тэдгээрийг харьцуулсан зургийг 2014 оны байдлаар гаргасан (Зураг 4.19). Мөн корреляцийн график байгуулж, хамаарлын утга нь 0.56 коэффициент байгааг тодорхойлсон (Зураг 4.20). Улирлын өөрчлөлтөд аль алинд нь 1 болон 7 саруудад багасаад 4, 10 саруудад ихсэх үзэгдэл ажиглагдаж байгаа юм. Дэлхийн эргэлтийн хурднаас хамаарч ЭНА өөрчлөгдөж байна.



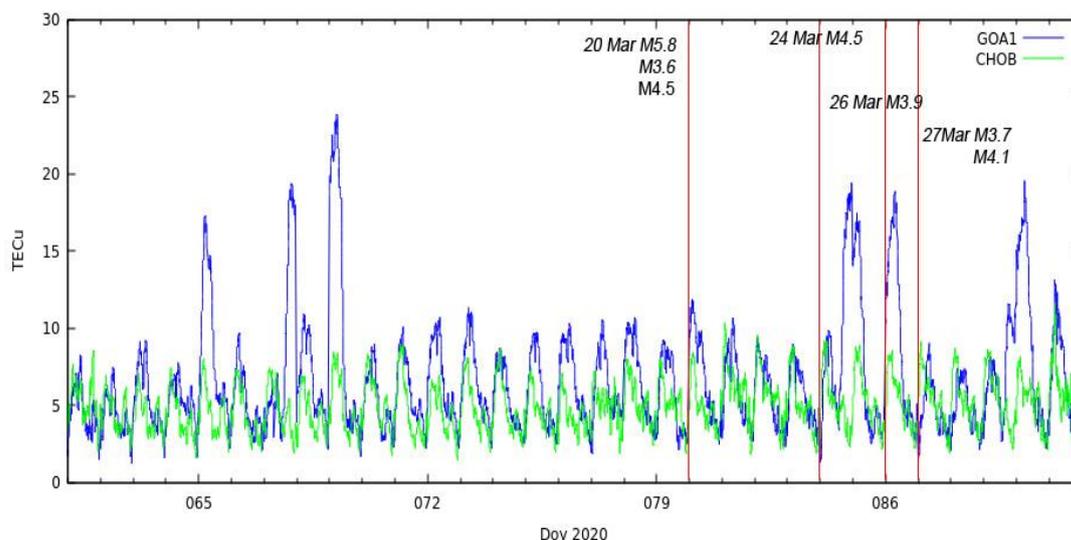
**Зураг 4.19.** 2014 оны ЭНА болон Дэлхийн эргэлтийн улирлын өөрчлөлт.



**Зураг 4.20.** Корреляцийн матриц, VTEC , LOD улирлын хамаарал 0,56.

с) Газар хөдлөлтийн нөлөө

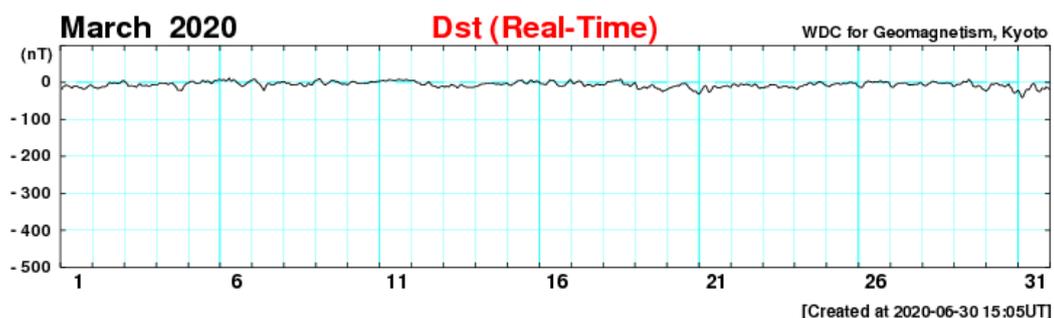
Байнгын ажиллагаатай GOA1 GNSS (94.07E, 46.06N) станцаас 171 км-ийн зайд 2020 оны 03 сарын 20 нд Говь-Алтай аймгийн Тонхил сумын ойролцоо M5.8 (96.25E, 46.36N) магнитудтай газар хөдлөлт бүртгэгдсэн бөгөөд 10 болон 30 минутын зайтай M3.5, M4.5 хэмжээтэй хоёр давтан хөдлөлт болсон байна. ЭНА-ийн утга газар хөдлөлтийн өмнө хэрхэн огцом ихсэж байгааг СНОВ (Чойбалсан- хэвийн) болон Үндэсний GNSS сүлжээний GOA1 (Говь-Алтай) станцуудаас тооцоолсон утгуудаас харьцуулан харах боломжтой (Зураг 4.21).



**Зураг 4.21.** GOA1, CHOB станцын ЭНА утга 2020 оны 3 сарын 1-31-ний хооронд. Босоо улаан шугамууд нь Говь-Алтайн Тонхил, Бигэр сумдад энэ сард болсон хөдлөлүүд

ЭНА утга 10 нэгжээс хэтрэхгүй байх (CHOB ЭНА хэвийн) энэ сард GOA1 станцын утга газар хөдлөлтийн өмнөх 1-10 өдрүүдэд огцом өссөн байна. 3 сарын 30-ны өндөр утга 4 сарын 2-ны M3.9 хэмжээтэй газар хөдлөлтэй хамаатай байж болох юм.

Тухайн өдрийн геосоронзон Dst индексийн хэмжээг Зураг 4.22 -т харууллаа.

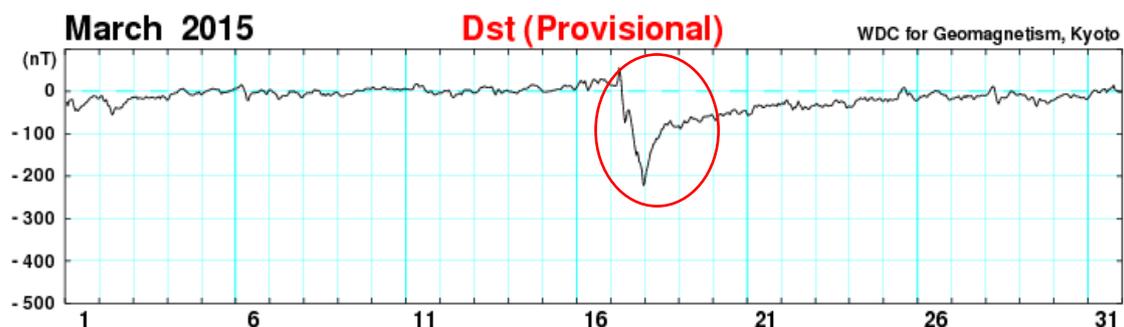


**Зураг 4.22.** 2020 оны 3 сарын Dst индекс.

d) Соронзон шуурганы нөлөө

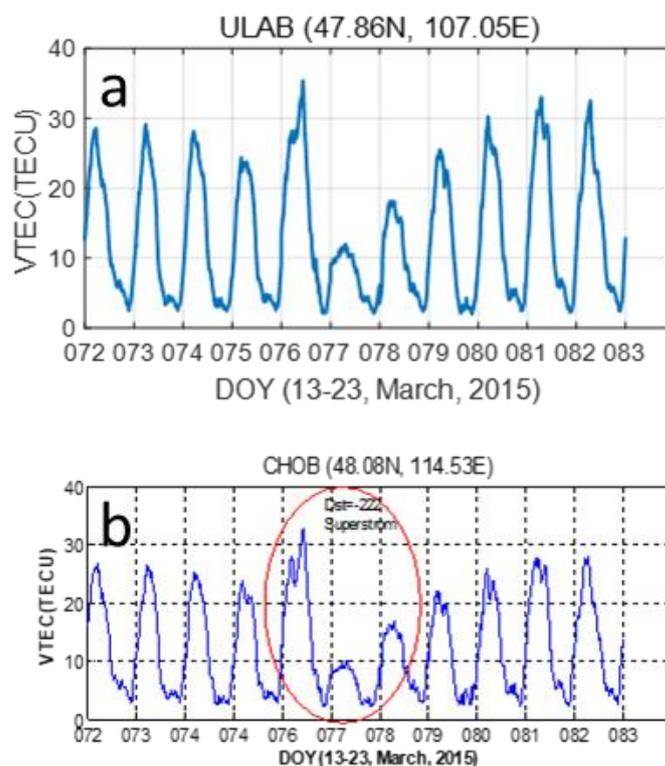
Геосоронзон шуурга гэж Нарны хүчтэй үйлчлэлээс Дэлхийн соронзон мандалд түр зуурын өөрчлөлт үүсэхийг хэлдэг. Геосоронзон шуурга нь хиймэл дагуул болон сансрын хөлөг дэх цахилгааны хэвийн ажиллагааг алдагдуулах, хэсэг хугацаагаар байршил тодорхойлох дагуул болон өндөр

давтамжийн холбоог саатуулах нөлөөтэйгөөс гадна сансрын цаг агаарын орчинд нэлээд хэмжээний долгиол үүсгэдэг.



**Зураг 4.23.** 2015 оны 3 сарын 17-ны “супер” геосоронзон шуурга Dst = - 223nT.

Нарны 24 циклд “St. Patrick’s day” буюу 2015 оны 3 сарын 17-нд хүчтэй супер геосоронзон шуурга тохиолдсон байна (Зураг 4.24). Шуурганы эх үүсвэрийг 2015 оны 3-р сарын 15-нд болсон нарны тэсрэлт юм.



**Зураг 4.24.** Супер геосоронзон шуурганы үед ЭНА-ийн өөрчлөлт (ULAB, CHOB GPS станцууд дээр 2015 оны 3 сарын 17 буюу жилийн 76 дахь өдөр )

Тухайн өдөр 2:10 UT хугацаанд SOHO/LASCO C3-т Нарны титмийн масс шидэгдэлт (a partial halo coronal mass ejection (CME)) бүртгэгдсэн. Энэ нь C9.1/1F нарны тэсрэлт (S22W25) болон II/IV хэлбэрийн радио гялбаатай холбоотой. Супер геосоронзон шуурганы үед ЭНА-ын өөрчлөлт нь өмнөх өдрүүдийн дундаж 25TECU-ээс ихсэн 35TECU-д хүрсэн, харин дараагийн өдөр нь гэнэт огцом буурч ЭНА утга 10TECU болсон нь ажиглагдсан (зураг 4.24).

е) Нарны хүчтэй тэсрэлт болон CME-нөлөө

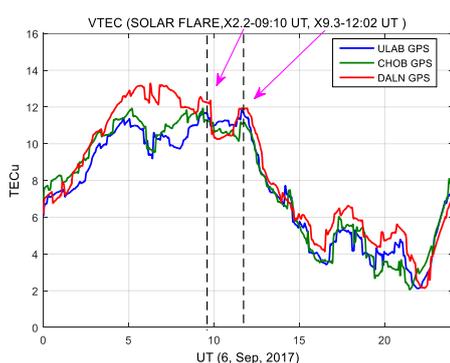
Нарны радиацийн болон түүний Дэлхийтэй харьцангуй байршлын аливаа хувьсал нь ЭНА-ийн цаг хугацааны болоод орон зайн их хэмжээний динамикийг бий болгодог. Үүнд өдрийн, өргөргийн, нарны циклийн хувьслууд орно. Өдрийн цикл нь Нар, Дэлхийн харьцангуй байршил өдрийн туршид хугацааны хамааралтайгаар өөрчлөгдөж байдгаас үүнтэй шууд хамааралтайгаар ионжилтийн хэмжээ хувьсаж байдаг. 2017 оны 9 сарын 6-нд Наран дээр хоёр төрлийн хүчтэй тэсрэлт ойрхон хугацаанд болж титмийн масс шидэгдэлт буюу CME явагдсан. (Хүснэгт 4.2). Бид энэ үеийн ЭНА-ийн өөрчлөлтийг тооцоолж гаргахад нарны тэсрэлт болсон мөч бүрд ЭНА утга нэмэгдсэн байна (Хүснэгт 4.3). Зураг 4.25(а)-д 2017 оны 9 сарын 6 өдрийн ЭНА-ийн өөрчлөлтийг, 4.25 (b)-д тухайн өдөр болсон Нарны хүчтэй тэсрэлтүүдийн үед ЭНА өөрчлөлт 0.4-1.5 байна, ЭНА-ийн орчим нэмэгдсэн хэсгийг зурагт томруулж харууллаа.

**Хүснэгт 4.2.** Нарны тэсрэлтүүд.

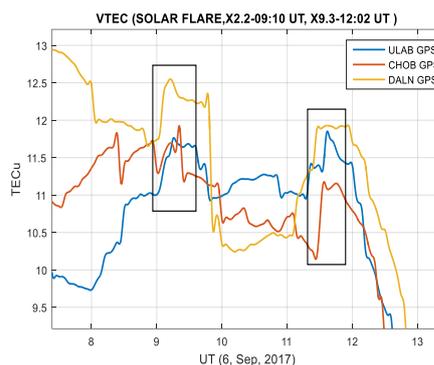
Он сар	Ангилал	Эхлэх (UT)	Мах (UT)
06/09/2017	X2.2	08:57	09:10
06/09/2017	X9.3	11:53	12:02
06/09/2017	M2.5	15:51	15:56
06/09/2017	M1.4	19:21	19:30
06/09/2017	M1.2	23:33	23:39

**Хүснэгт 4.3.** Нарны тэсрэлтийн үед ЭНА утга нэмэгдсэн байдал.

GNSS Суурин Станц	X2.2	X9.3
ULAB (47.86N, 107.06E)	0.7TECU	0.9TECU
CHOB (48.08N, 114.53E)	0.4TECU	1.05TECU
DALN (43.56N, 104.42)	0.8TECU	1.5TECU



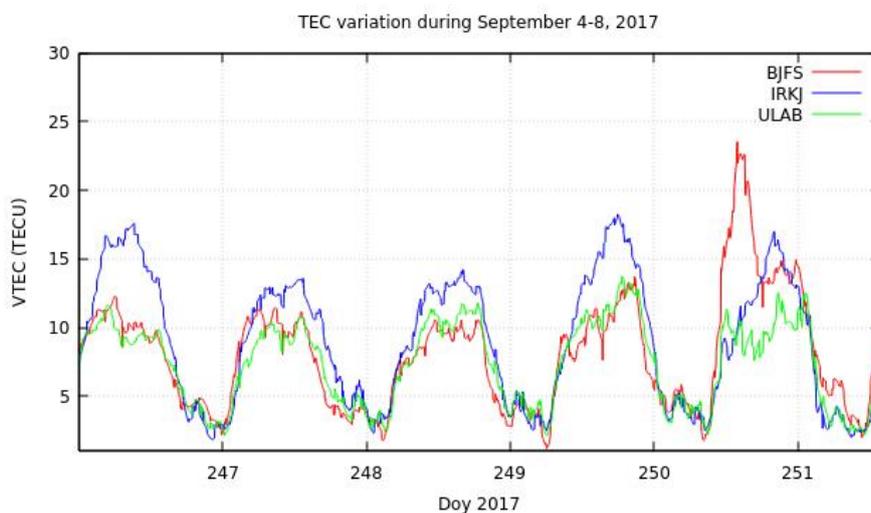
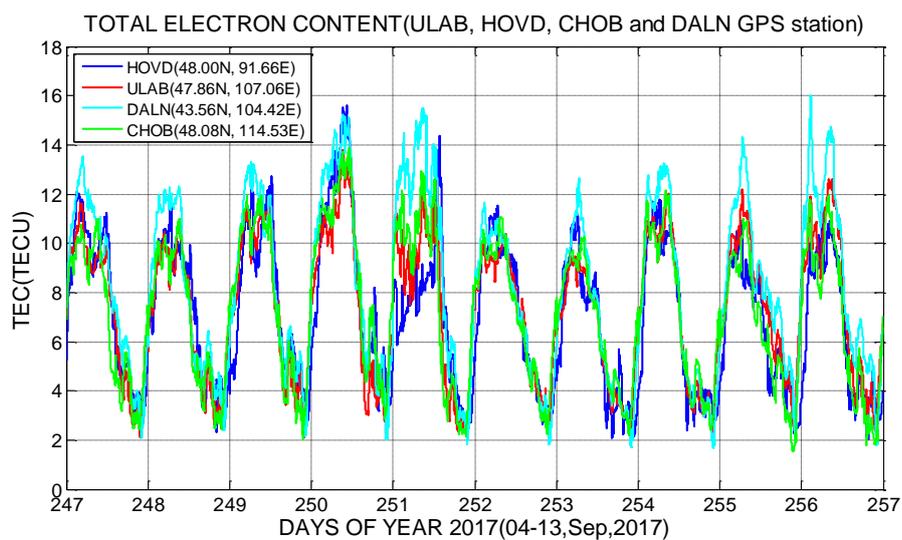
a)



b)

**Зураг 4.25.** (a) 2017 оны 9 сарын 6-нд болсон нарны хүчтэй тэсрэлтийн үеийн ЭНА, (b) томруулсан хэсэг

2017 оны 9 сарын 6-нд болсон Нарны хүчтэй тэсрэлтийн үед ЭНА өөрчлөлт 0.5-1TECU орчим нэмэгдсэн (Зураг 4.26). Харин Нарны хүчтэй тэсрэлтээс үүдэлтэй 7, 8-нд болсон геосоронзон шуурганы үед ЭНА өөрчлөлт 3-4 TECU орчмоор нэмэгдээд дараагийн өдөр нь 4-5 TECU орчмоор буурсан.



**Зураг 4.26.** 2017 оны 9 сарын 4-10 хооронд болсон хүчтэй сансрын цаг агаарын нөлөө GPS станцууд дээр ажиглагдсан байдал.



**Зураг 4.27.** 2017 оны 9 сарын 8-нд болсон геосоронзон шуурга

Ионосфер дэх GPS ЭНА мэдээг станц тус бүрээс тодорхойлох боловсруулалтыг хийж ЭНА хугацааны цуваа бүрдүүлэхийн зэрэгцээ олон жилийн (нарны идэвхжилийн 23 дахь үеийн сүүл, 24 дэх үеийг бүтэн хамрах) ЭНА хувьслын дүн шинжилгээгээр дунд өргөргийн ионосферийн хувьсал, түүнд сансрын цаг агаарын үзүүлэх нөлөөг тусгасан өгүүллэгүүдийг хэвлүүлсэн. Үүнд, ЭНА-ийн өдрийн, улирлын, жилийн үет болон 2017 оны 9 сар, 2015 оны 3 сард болсон Наран дээрх тэсрэлтүүдээс үүдсэн огцом өөрчлөлтүүдийг авч үзсэн болно.

### 4.3 ИОНОСФЕР ДЭХ ЭНА-ИЙН СПЕКТР АНАЛИЗ

- Фурье хувиргалт

Судалгааныхаа ажлын Дэлхийн Ионосферийн параметруудийн хугацааны цуваанд Фурье хувиргалт хийж спектр анализ хийсэн. 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

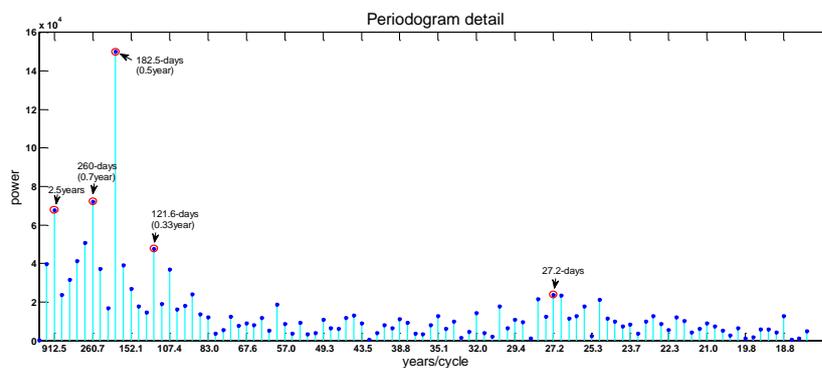
$$f(\omega) = \int_0^T f(t)e^{-i\omega t} dt$$

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

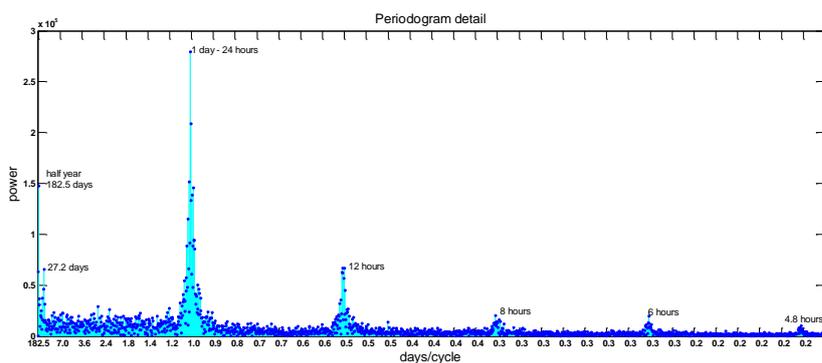
Бид СНОВ, DALN GPS станцуудын Ионосфер дэх нийт электроны агууламжийн өөрчлөлтийг 2010-2014 онуудад тасралтгүй 15 минутын хугацааны завсартайгаар график байгуулж, түүнд Фурье хувиргалт хийж үзсэн.

Судалгааны ажилдаа 1 өдрөөс илүү үетэй хэлбэлзлийг урт үетэй, түүнээс бага хэлбэлзлийг бага үетэй гэж ангилан үзсэн. Үүнд урт үетэй 182.5 хоногийн буюу хагас жилийн, хамгийн өндөр далайцтай нь 1 өдрийн хэлбэлзэл, бага үетэй буюу цагийн хэлбэлзлүүд гарсан. Энэ 5 жилийн

хугацаанд 182.5 хоног буюу хагас жил болоод идэвхжилт явагддагийг харуулж байна. Бид дараах спектрууд байгааг тодорхойлсон. Үүнд: урт үетэй 912.4 хоног (2.49 жил), 260.7 хоног (0,71 жил), 182.5 хоног (0.5 жил), 121.6 хоног (0.33 жил), 27.2 хоног, бага үетэй 1 хоног буюу 24 цаг, хагас хоног буюу 12 цаг, 8 цаг, 6 цаг, 4.8 цаг, 4 цаг, 3 цаг гэх мэт үетэй хэлбэлзлүүд байна (зураг3). Энэ 27.2 хоногтой үеийг Нарны тэнхлэгээ эргэлдэх хөдөлгөөний үетэй, 182.5 улирлын болон 1 хоногийн үеийг нь Дэлхийн тэнхлэгээ эргэх хөдөлгөөнтэй харин бага үетэй сигнал болох 8, 6, 5,4,3 зэрэг цагийн хэлбэлзлүүдийг соронзон шуурга болон наран дээрх хүчтэй тэсрэлт, мөн түүнчлэн туйлын мужид ажиглагддаг плазмын шилжилт буюу туйлын туяа(аурора)-тай холбоотой гэж бид үзэж байна. Дээрх үеүдийн далайц нь хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг вейвлет хугацаа давтамжийн хувиргалт харуулж өгдөг.



**Зураг 4.27.** 2010-2014 оны ТЕС-ын өөрлөлтөнд хийгдсэн урт үет спектр, (фурье хувиргалт).



**Зураг 4.28.** ТЕС-ын богино үет спектр, (фурье хувиргалт).

Зураг 4.27 дээр ЭНА-ын урт үетэй 2.5жил, 0.7жил, 0.5жил, 0,33жилийн хэлбэлзлүүд байгааг харуулж байна. Зураг 4.28 дээр ЭНА-ын жил доторх богино үетэй спектрийг харуулав. Үүнд: 4.8, 6, 8, 12 цагууд болон 1 өдөр буюу 24 цагт хэлбэлзлүүд илэрч гарч байна. 3 цаг 4 цаг, 4.8 цагийн зэрэг хэлбэлзлүүдийг бид соронзон шуурга болон туйлын орчмын плазмын шилжилтээс болж байна гэж үзэж байна.

- ЭНА-ийн Вейвлет хувиргалт

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 тодорхойлогддо.

$$W_{\psi}(f)_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4.3)$$

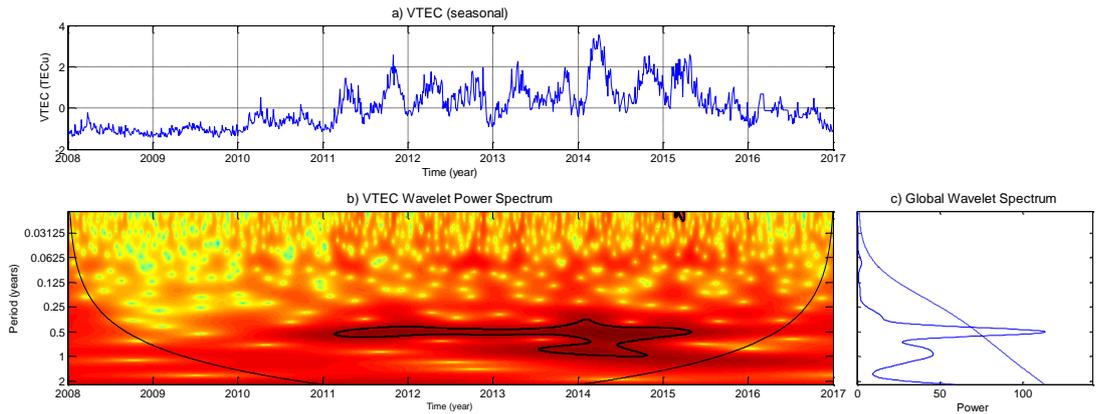
$\psi(t)$  нь үндсэн вейвлет,  $a$  – тэлэлт/шахалтын хуваарийн үзүүлэлт, давтамжийн шинж чанарыг илэрхийлдэг,  $b$  – хугацааны шилжилтийг төлөөлдөг. Энд дараах схемийг Гроссман болон Морле 1982, Добечи 1992, Чао болон Найто 1995 нар боловсруулж нормчилсон.

$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2a\pi}} \exp\left[-\frac{(t-b)^2}{2a^2}\right] \exp\left[\frac{i\omega(t-b)}{a}\right] \quad (4.4)$$

$\omega$  – осциляцийн давтамжийн тоог илэрхийлнэ.

Дээрх аргыг бид Электроны нийт агууламжийн өөрчлөлтийг судлахад хэрэглэсэн. Тооцоо боловсруулалтын ажлыг МатЛаб программын олон гишүүнтээр дундажлах болон Морлет Вейвлет функцийг ашиглан гүйцэтгэсэн. (Christopher Torrence 1998), (Benjamin F. Chao 2014)

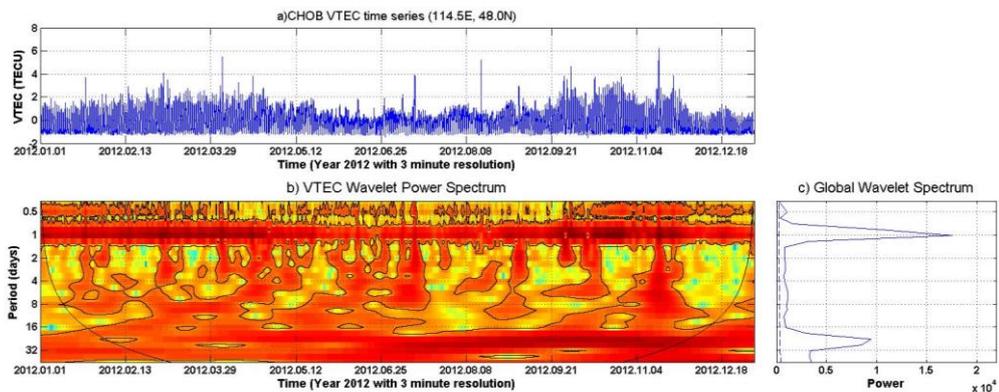
СНОВ GPS станцуудын Ионосфер дэх ЭНА-ийн (TEC) өөрчлөлтийг 2008-2016 онуудад 15 минутын хугацааны завсартайгаар авч график байгуулж, түүнд хугацаа-давтамжийн вейвлет спектр анализ хийж зарим өөрчлөлтүүдийг тодорхойлсон.



**Зураг 4.29.** СНОВ-GPS станцын TEC-ын вейвлет хувиргалт,  $T=182.5$  хоногийн үетэй сигнал хугацаанаас хамаарах хамаарал

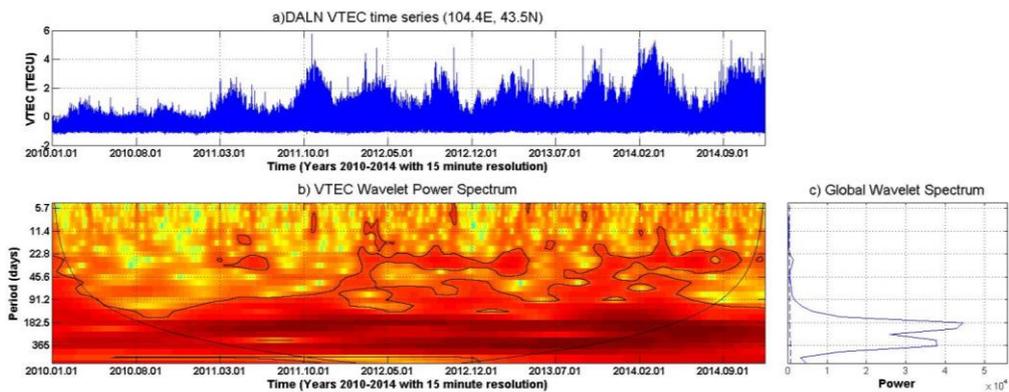
Зураг 4.29-т вейвлет хувиргалтаар 2008-2016 он хүртэлх 9 жилийн хугацаанд 182.5 хоногийн үетэй идэвхжилийг хугацаанаас хамааруулан гаргалаа. Үүнд вейвлет спектрээс харахад идэвхжилийн үе нь 2011-2014 онд хамгийн их гарч байна.

Зураг 4.30-д СНОВ-ЭНА-ийн 2012 оны 3 минутын завсартайгаар авсан хугацааны цувааны вейвлет хувиргалтаар Нэг жил доторх 0.5, 1, 27.2 хоногийн үетэй сигналуудыг хугацаанаас хамааруулан гаргалаа.



**Зураг 4.30.** TEC-ын вейвлет хувиргалт, 1 болон 27.2 хоногийн үетэй сигнал

Үүнд вейвлет спектрээс харахад нэг хоногийн сигнал нь 3, 4 болон 10, 11 саруудад максимумтай, 6, 7 болон 1, 12 сард минимумтэй байгаа нь ажиглагдаж байна. ЭНА нь улирлын чанартай өөрчлөгдөж байгааг харуулж байна. Ялангуяа Хавар, Намарын улирлуудад далайц ихтэй харин өвөл, зуны улирлуудад бага байгааг харж болно.

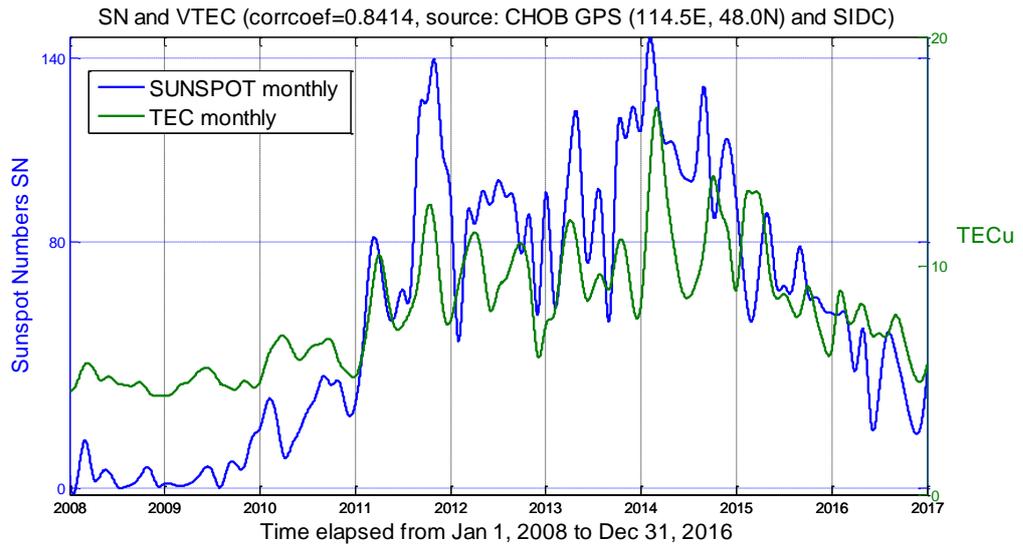


**Зураг 4.31.** TEC-ын вейвлет хувиргалт, Хагас жил болон нэг жилийн үет сигнал

Зураг 4.31-т вейвлет хувиргалтаар 2010-2014 он хүртэлх 5 жилийн хугацаанд 182.5 хоног болон, 1 жилийн үетэй сигналуудыг хугацаанаас хамааруулан гаргалаа. Үүнд вейвлет спектрээс харахад 182.5 хоногийн болон 1 жилийн сигнал нь бүх хугацаанд далайц өндөр. Харин 27.2 хоногийн сигнал нь 2011 оны 3 сараас 6 сар хүртэл, 2012 оны 2 сараас 2013 оны 4 сар хүртэл, мөн түүнчлэн 2013 оны 10 сараас 2014 оны 11 сар хүртэлх хугацаанд хүчтэй ажиглагдсан. Энэ нь нарны идэвхжилээс шууд шалтгаалж байгааг харуулж өгч байна.

### Дүгнэлт

GPS станцын байршил, хурдны өөрчлөлтийг Дэлхийн тулгуур тогтолцоонд тодорхойлж, хянах, солбицлын утгыг хөдөлгөөнгүй бэхэлсний дараагаар ионосферт GNSS дохио саатах мэдээнээс 350 км-ийн өндөр дэх электроны нийт агууламжийг тооцоолж гаргах ажлыг хийв. Нарны идэвхт үзэгдлүүд болон геосоронзон шуурга нь ионосфер давхаргын электроны нийт агууламжийн (ЭНА) өөрчлөлттэй хамааралтай эсэхийг судалж, урт хугацааны буюу 2008-2016 оны турш ЭНА-ийн өөрчлөлт нь Нарны идэвхжилттэй шууд хамааралтай байна.



**Зураг 4.32.** ЭНА (TEC) болон Нарны идэвхжил (Sunspot number) хоорондын хамаарал.

AOGNET GNSS станцуудын ажиллагаа хэвийн бөгөөд судалгааны анхдагч мэдээ хураалт 95% тай байна. GPS ба Ионосферийн судалгаагаар: AOGNET GNSS сүлжээний IGS ULAB станцаас бусад станцын мэдээ хураалтад их, бага хэмжээгээр тасалдал гарч өнөөдрийн байдлаар мэдээ хураалт 86% байна. Станцуудын мэдээний боловсруулалтыг байршил, ионосфер дэх электроны агууламж, тропосфер дэх тунадасжих усны уурын агууламж тодорхойлох чиглэлээр тус тус боловсруулалт хийж мэдээллийн санд орууллаа. Дата системийн зохион байгуулалтын ажил урсгал горимоор хийгдэж байгаа болно. Үүнд, HOVD GPS станцын хугацаа тооллын алдааг файлын нэр дээр засах скрипт бичсэн. GPS станцуудын мэдээнээс ионосфер дэх электроны нийт агууламжийг 3, 15 минутаар мөн урт хугацааны цуваанд зориулж 2 болон 8 цагийн дунджаар тодорхойлж улирлын, хагас жилийн аномалыг тодотголоо. Улирлын аномаль гэдэг нь өвлийн туйл орчмын сарын ЭНА утга зуны туйл орчмын ЭНА-с илүү байхыг хэлэх бөгөөд ийм дүр зураг нам болон дунд өргөрөгт ажиглагддаг. Улирлын аномаль нь ионосферийн F бүс дэх хүчилтөрөгчийн атом болон азотын молекулын концентрациас үүдэлтэй гэж үздэг.

- а) Өдрийн дундаж утгуудаар байгуулсан ЭНА-ийн 2008-2016 оныг хамарсан явц нь Нарны F10.7 урсгал болон толбоны явцтай давхцаж 0.73 ба 0.7

хамаарлын коэффициентийг тус тус өгч байна. ЭНА-ийн явцад ч мөн 11 жилийн идэвхжилийн үе байна.

- b) ЭНА-ийн урт хугацааны идэвхжилийн үе нь 2013, 2014 онуудад ажиглагдаж байна. ЭНА-ийн улирлын хэлбэлзэл нь 6 сарын үетэй бөгөөд хавар болон намрын тэнцлийн үед их утгаа авч байна.
- c) 2010-2014 он хүртэлх 5-н жилийн ЭНА өөрчлөлтөд фурье болон вейвлет хувиргалт хийж үзэхэд 1 хоног, 27.2 хоног, 182.5 хоногийн үетэй хэлбэлзлүүдийн далайц хугацаанаас хэрхэн хамаарч байгааг харууллаа. Эдгээр өөрчлөлтүүд нь Нарыг тойрох дэлхийн эргэх хөдөлгөөнтэй холбоотойгоос гадна Нар, Дэлхийн тэнхлэгээ тойрох хөдөлгөөнүүдтэй уялдаатай болох нь ажиглагдаж байна. ЭНА –ын Үечилсэн өөрчлөлтөд 5, 6, 8 цагийн богино үетэй өөрчлөлт байгаа нь илэрч байна. Энэ цагийн үетэй өөрчлөлтүүдийг бид соронзон шуурга болон туйлын туяатай холбоотой гэж үзэж байна.
- d) Нарны тэсрэлт болон геосоронзон шуурга болсон өдрүүдэд ЭНА их утга авахаас гадна бага үетэй цагийн хэлбэлзлүүд их ажиглагдаж байна. Нарны хүчтэй тэсрэлтийн үед ЭНА өөрчлөлт 0.4-1.5TECU орчим нэмэгдсэн (2017 оны 9 сарын 6).
- e) 2008-2016 оны турш ЭНА болон Нарны 24 дэх циклийн сарын дундаж утгуудаар байгуулсан хамаарлыг бодож, хамаарлын коэффициент 0.84 гаргасан.
- f) Хүчтэй геосоронзон шуурганы үед ЭНА-ын өөрчлөлт нь өмнөх өдрүүдээсээ 2 дахин ихсэж дараагийн өдөр нь гэнэт энгийн өдрүүдээсээ 2 дахин буурах үр дүн ажиглагдсан. (2015 оны 3сарын 17,18 өдрүүдэд, 2017 оны 9 сарын 7, 8).
- g) Ионосферийн электроны нийт агууламж, Нарны идэвхжилт болон Дэлхийн эргэлдэлтийн улирлын өөрчлөлтүүд нь хоорондоо хамааралтай байна.
- h) Нарны нөлөөгөөр геосоронзон шуурга болсон өдрүүдэд ионосферийн шуурга үүсэж байна. Ионосферийн шуурга нь Нарны нөлөөллийг илтгэгч заалтуур нэгэн чухал хүчин зүйл юм байна.
- i) HOVD болон DALN-аар ЭНА сарын дундаж утгууд СНОВ станцаар тодорхойлсноос 3-4TECU орчмоор их байв. Энэ нь ионосферийн геосоронзон өргөргийн хүчний шугамаас шалтгаалж байна.

- j) Ионосферийн шуурга болсон өдрүүдэд Наран дээр ямар төрлийн үзэгдэл болсноос шалтгаалан гурван станцын ЭНА-ийн сарын дунджаасаа хазайх хазайлтын утга нь харилцан адилгүй байна. Хоёр хүлээн авагч станцын ЭНА утга ойролцоо өгсөн боловч нөгөө станцын ЭНА нь 5-6TECи орчмоор бага гарсан. Энэ нь ионосферийн геосоронзон өргөргийн хүчний шугамаас шалтгаалж байна гэж үзэж байна.

## 5 БҮТЭЭЛИЙН ЖАГСААЛТ

### 5.2 Эрдэм шинжилгээний өгүүлэл

#### 5.2.1 Гадаадад хэвлэгдсэн бүтээл

1. Б.Нямсүрэн, Т.Н.Санникова, К.В.Холшевников. Движение в центральном поле при возмущающем ускорении, постоянном в сопровождающей системе отсчета, связанной с вектором скорости. *Астрономический журнал*, Том 95, номер 4, 2018, 307-316.  
In English: *Astronomy reports*, 2018, том 62, № 4, с 288-238.  
DOI: 10.1134/S1063772918040029
2. Batmunkh N., Sannikova T.N., Kholshchevnikov K.V. Motion in a central field in the presence of a constant perturbing acceleration in a coordinate system comoving with the velocity vector. *Astronomy Reports*. 2018. Т. 62. № 4. p. 288-298. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35499350>  
DOI: 10.1134/S1063772918040029
3. Нямсүрэн Б. “Норма разности оскулирующих и средних элементов в системе, связанной с вектором скорости”. *Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ): тез.докл. XII Российско-Монгольской международной конф.* Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018, стр.22 (Сборник абстрактов).
4. Baatarkhuu D., Amarjargal Sh. The results of spectral analysis of the ionospheric data, *Солнечно-Земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: Результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ)*, ISBN 978-5-9624-1608-3, XII Рос-Монг. Междунар. Конф., Иркутск, Россия, стр. 27, 2018г.

5. Amarjargal Sh., Baatarkhuu D., Sanjjav S., Saandar M., Bazarzagd L. Measuring the Earth's changes from Space. In book: International Academy of Astronautics, IAA Book Series Vol. 2, No. 6. Proceedings of the 1<sup>st</sup> IAA North East Asia Symposium on Small Satellites. ISBN/EAN: 978-2-917761-60-1. 2018.
6. Н.Батмунх, К.И.Оськина, Т.Н.Санникова, В.Т.Титов, К.В.Холшевников "Увод астероида с помощью двигателя малой тяги, направленной по трансверсали" *Астрономический журнал* 2019, т.96, №11, с.961-968. DOI: 10.1134/S0004629919100013
7. Батмунх Н., Холшевников К.В., Оськина К.И., Титов В.Б. "Норма смещения положения небесного тела в одной задаче динамической астрономии" *Астрономический журнал* 2020, т.97, № 4, с.348-352. DOI: 10.31857/S0004629920040039
8. Батмунх Н., Оськина К.И., Титов В.Б., "Движение астероида в центральном гравитационном поле при возмущающем ускорении" *Астрономический журнал* 2021, т.98, в печати.

### **5.2.2 Дотоодод хэвлэгдсэн бүтээл**

1. Ш. Амаржаргал, Г. Булган. "Үндэсний геодезийн сүлжээг GNSS CORS тулгуур тогтолцоогоор шинэчлэх асуудалд". *Mongolian geoscientist* 48 (2019), 28-49. Doi: <https://doi.org/10.5564/mgs.v0i48.1146>
2. Б.Түвшинжаргал, Д.Мөнхманлай, Б.Отгонсүрэн, Б.Энхзул. "Улаанбаатар хот орчмын агаар мандлын тунгалгийн коэффициентыг 312нм долгионы мужид тодорхойлох нь", *Journal of Natural Science, The Ulaanbaatar State University*, 2019, V.15(14), х.102.
3. Б.Энхзул, Г.Даваахүү, Б.Түвшинжаргал. "Нарны хэт ягаан цацрагийн индексийг тооцох" , *Геофизик ба Одон орон, хүрээлэнгийн сэтгүүл*, 2020, №7, х.106.
4. Б.Банзрагч, Д.Батмөнх, Ч.Лхагважав, Б.Батбаяр. "Нарны идэвхжилийн максимум үе дэх FeXIV ионы ногоон шугамын ажиглалтын зарим үр дүн" , *Journal of Natural Science, The Ulaanbaatar State University*, 2019, V.15(14), х.79.

5. Batbayar B., Batmunkh D., "Electron density in the solar corona from type III radio bursts", Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, Vol. 60, No 03 (235), 2020, p.17.  
DOI: <https://doi.org/10.5564/pmas.v60i3.1421>
6. Б.Батбаяр, Д.Батмөнх, Д.Мөнхманлай. "Нарны идэвхжилийн 25 дугаар циклийн эхний тэсрэлтүүд", Геофизик ба Одон орон, хүрээлэнгийн сэтгүүл, 2020, № 7, х.87.
7. Ц.Баатарчулуун<sup>1,\*</sup>, Б.Түвшинжаргал<sup>1,2</sup>, Т.Нарангарав<sup>1</sup>, Б.Даариймаа<sup>1</sup>, Б.Жавзандолгор<sup>1</sup>, Г.Батсүх<sup>1</sup>. Улаанбаатар хотын аэрозолийн оптик үзүүлэлтүүдийн судалгаа (2013-2021). МУИС-ийн эрдэм шинжилгээний сэтгүүл ФИЗИК. Дугаар: 32 (553) Сэтгүүлийн ISSN: ISSN 2311-1097. Хуудас 56-60.
8. Baatarkhuu Dagva, Amarjargal Sharav, Lkhagvajav Chultemiin. Some Statistics of Ionospheric Total Electron Content Variations at Midlatitude Mongolian Region, Proceedings of the Mongolian Academy of Sciences, DOI: [https://doi.org/10.5564/pmas.v61i2.\\*\\*\\*\\*](https://doi.org/10.5564/pmas.v61i2.****), Vol. 61 No 02 (238), Ulaanbaatar, Mongolia, 2021.
9. Д.Баатархүү, Б.Батбаяр, Ш.Амаржаргал. Нарыг тойрох Дэлхийн тэнхлэгээ эргэх хөдөлгөөний хурдатгал ионосферийн электроны нийт агууламжийн утгад нөлөөлөх нь. Геофизик ба Одон Орон судлал. №8. Ulaanbaatar, Mongolia, 2021.
10. Д.Баатархүү, Ш.Амаржаргал. GPS Ионсферийн электроны нийт агууламжийн урт хугацааны өөрчлөлтийн фурье, вейвлет хувиргалт, Геофизик ба Одон Орон судлал. №8. Ulaanbaatar, Mongolia, 2021.

### 5.2.3 Гадаадад хэлэлцүүлэгдсэн илтгэлүүд

1. Baatarkhuu D., Amarjargal Sh. The results of spectral analysis of the ionospheric data, Солнечно-Земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона: Результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика (к 100-летию ИГУ), XII Рос-Монг. Междунар. Конф., , 01-05 октября 2018г, Иркутск, Россия.

2. Baatarkhuu D., Ionosphere response to the space weather event in 9 September 2017 by EISCAT Observed, The Second APSCO & ISSI-BJ Space Science School 10-19 October, 2018, Sanya, China.
3. Батмунх Н., Холшевников К.В. “Решение уравнения в средних элементов” СПбГУ, Астрономическое отделение на кафедре Небесной механике, 2018.
4. Munkhjargal Ch. “Study and Monitoring of Ionospheric variation in Mongolian region using GNSS”, 2018, Space application Center, Ahmedabad
5. B.Batbayar, D.Batmunkh and Ch.Munkhjargal; Observation of solar active region 12403, Астрономийн олон улсын холбооны XXX чуулган, 2018
6. D.Batmunkh, B.Batbayar and Ch.Munkhjargal; Observation of the solar green line of 5303 Å, Астрономийн олон улсын холбооны XXX чуулган, 2018
7. Ch.Munkhjargal, D.Munkhmanlai, V.Tuvshinjargal, B.Batbayar; Observations on radiospectrometry CALLISTO, XII Рос-Монг. Междунар. Конф., 01-05 октября 2018г, Иркутск, Россия
8. Батмунх Нямсүрэн “Задача о движении точки нулевой массы под действием притяжения к центральному телу” Санкт-Петербург, 5 ноября 2019 г.
9. Батмунх Н. Холшевников К.В. “Решение осредненных уравнений в системе  $O_2$ ” на семинаре кафедры небесной механики Санкт-Петербургского Государственного Университета, 29 октября 2019 г.
10. Б.Нямсүрэн “Увод астероида с помощью малой тяги”, Солнечно-Земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона, XIII Рос-Монг. Междунар. Конф., Иркутск, Россия, 2019, тезисы докладов, стр.52.
11. Batbayar B., “Understanding Thermophysical behavior of lunar soils from Laboratory Studies” 17 April, 2019, Ahmedabad, India.
12. Д. Батмунх, Д. Мунхманлай, Б. Тувшинжаргал. Характеристики солнечных радиовсплесков типа III, определенные по наблюдениям радиоспектрометра Callisto. XIII Российско-Монгольская международная конференция по астрономии и геофизике “Солнечно-

земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона” Иркутск-2019, тезисы докладов, стр.2.

13. Baatarkhuu D., Amarjargal Sh. “Space weather effects detected by GPS-TEC in Mongolia”, Солнечно-Земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона, XIII Рос-Монг. Междунар. Конф., Иркутск, Россия, 2019, тезисы докладов, стр.19.
14. Д. Батмунх, Г. Даваахуу, Б. Тувшинжаргал, Ч. Лхагважав. Определение УФ-индекса в районе г. Улан-Батора в период 2014-2018гг. XIII Российско-Монгольская международная конференция по астрономии и геофизике “Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона” Иркутск-2019, тезисы докладов, стр.27.

#### **5.2.4 Дотоодод хэлэлцүүлэгдсэн илтгэлүүд**

1. Д.Баатархүү, Дэлхийн эргэлтийн параметрууд тэдгээрийн өөрчлөлт, эрдэм шинжилгээний хүрээлэнгүүдийн хамтарсан өдөрлөгт, III сар, 2018, “Одон орны онцлох үзэгдэл” УБ, Плехановын сургууль, X сар.
2. Б.Батбаяр. “Сарны гадаргын хөрсний шинж чанарыг лабораторийн хэмжилтээр шалгах” , 5-р сар, Одон орон геофизикийн хүрээлэнгийн семинар.
3. Б.Тувшинжаргал.  $365\pm 12$ нм долгионы муж дахь нарны хэт ягаан цацрагийн эрчим. ООГХ, Анагаах ухааны хүрээлэнгийн хамтарсан өдөрлөгт болон салбарын семинарт.
4. D.Batmunkh, Ch.Lkhagvajav, B.Tuvshinjargal, On some studies of solar flares in radio-, UV- and optical wavelengths, in Mongolia, Teacher Training and Outreach for Astronomy and Science in Mongolia, June 10-15 2019, Abstract book, p.19.
5. Д. Мөнхманлай, Б. Батбаяр, Б. Тувшинжаргал. “CALLISTO” радиоспектрометр ба нарны III төрлийн радио гялбаа. Хүрэл тогоот 2019 эрдэм шинжилгээний хурал
6. Амаржаргал, Ш., Д. Баатархүү, Д. Батмөнх, Г. Булган, Д. Мөнхманлай, Ч. Мөнхжаргал, Б. Нямсүрэн, С. Одонгэрэл, Б. Тувшинжаргал. “Геодезийн шинжлэх ухаан Дэлхий судлалд”. Геодези, зураг зүйн салбарын ажилтны II зөвлөгөөн, 2019 оны 4 сарын 30. Төрийн ордон.

7. Амаржаргал Ш., Д. Баатархүү, Д. Батмөнх, Д. Мөнхманлай, Ч. Мөнхжаргал, Б. Нямсүрэн, С. Одонгэрэл, Б. Түвшинжаргал. “Астрофизик ба сансрын геодези”, Шинжлэх ухааны ажилтны анхдугаар их хурал, 2019 оны 9 сарын 25-26, ханан илтгэл.
8. Б.Түвшинжаргал. Монгол улсад орчин цагийн шинжлэх ухаан үүссэний 100 жил, Шинжлэх ухааны академийн 60 жилийн ойд зориулсан Одон орон, геофизикийн хүрээлэнгийн нээлттэй хаалганы өдөрлөгт “Нарны хэт ягаан цацраг ба озон” сэдвээр илтгэл, 2021
9. Д.Баатархүү, Ш.Амаржаргал, Дунд өргөргийн ионосфер болон Сансрын цаг агаарын өөрчлөлтүүдийн хоорондох уялдаа”, Сансар судлал ба сансрын технологи эрдэм шинжилгээний бага хурал, МУШУА, ОХУ-ын УБ хот дахь Русский дом, Монгол хүн сансарт ниссэний 40 жилийн ой, 2021 оны 3 сарын 12.
10. Amarjargal Sharav, Baatarkhuu Dagva, Ionospheric TEC Anomalies Over Mongolia as Detected by GPS Observations, International conferences, United Nations/Mongolia Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems, Ulaanbaatar, Mongolia, 25 - 29 October 2021.

### **5.3 СУРТАЛЧИЛГАА БА БУСАД**

- Тус салбарын э/ш-ний ажилтан Д.Баатархүү, Б.Батбаяр нар БНХАУ болон Энэтхэг улсад зохион байгуулсан сургалтад хамрагдсан ба дотоодын докторантурт элсээд байна.
- Нарны радио цацрагийг 45МГц - 850МГц мужид бүртгэх “CALLISTO” олон улсын сүлжээ хамтын ажиллагааны (Швейцари улсын Цюрих дэх Одон орон судлалын хүрээлэнд төвлөрсөн) дагуу Нарны тэсрэлтээс үүссэн радио гялбалзлыг тогтмол бүртгэж байна.
- Герман улсын GFZ-тэй "IGS ULAB станцын үйл ажиллагаа" төслийн хүрээнд хамтарсан судалгаа явуулж байна.
- Сансрын геодезийн хэсэг нь судалгааны анхдагч мэдээгээ байнгын ажиллагаатай GNSS станцуудаас авдаг ба өөрсдийн байгуулсан нийт 4 станцын хэвийн ажиллагааг ханган ажилладаг. Эдгээр нь Монгол орны захын аймгуудад байрлах HOVD, CHOB, DALN, SSND ба Хүрэлтогоот дахь IGS ULAB станцууд юм.

- Нарны хэт ягаан цацрагийн сенсорт тохируулга хийх зорилгоор шинэ сенсор худалдан аван хэмжилт хийж бусад сенсорыг тохируулав.
- Одон орон судлалын ололт амжилт, тус хүрээлэнд явуулж буй судалгааны ажлуудын талаар мэдээллийн бүх сувгаар өргөн олонд тогтмол лекц яриа 50 удаа хийж, хялбаршуулсан товхимол-1, “Нэг эрдэмтэн-нэг лекц” -1 гаргасан байна.
- Малчин телевизэд одон орны сонирхолтой үзэгдлүүдийн талаар ярилцлага өгсөн.
- [www.ikon.mn](http://www.ikon.mn) сайтад “Нарны цагариг хэлбэрийн хиртэлт” –ийн тухай ярилцлага өгсөн.
- “Mongolian Geoscientist” сэтгүүлд ирсэн 1 өгүүлэлд шүүмж хийсэн.
- Геодезийн Холбооны сургалтад 1 лекц хийсэн
- United Nations/Mongolia Workshop on the Applications of Global Navigation Satellite Systems (25-29 October 2021) хуралд “Ionosphere TEC Anomalies over Mongolia as detected by GPS observations” илтгэл тавьсан
- 2021 оны 9 сарын 6-10-ны хооронд болсон APSCO-ийн Сансрын Фотометрийн (Space Photometry) зайн курст хамрагдсан.
- 2021 оны 1 сарын 2-нд болсон Дэлхий Наранд хамгийн их ойртох “Наранд төд цэг”-ийн талаар танин мэдэхгүйн тайлбар бэлдэж Star TV-д ярилцлага өгсөн.
- Нар, Сарны хиртэлтийн талаар 10 гаруй яриа, тодруулга, нэвтрүүлэг хийсэн.
- ИНЕГ-тай байгуулсан “Монгол орны нисэх буудлуудын Нар мандах ба шингэх цаг хугацааны мэдээлэлд боловсруулалт хийх” гэрээт ажлыг жил бүр хийж зохих хугацаанд нь хүлээлгэж өгсөн.

## 6 Дүгнэлт

Нарны коронограф дурангаар спектрийн Н-альфа шугам дээр Нарны тэсрэлт, дөл, идэвхт мужийн ажиглалт хийх, тэдгээрийн физик параметрийг тодорхойлох, тайлбарлах тооцоолол хийх, Нарны хэт ягаан цацрагийн эрчмийг  $365\text{nm}\pm 12\text{nm}$ ,  $312\text{nm}\pm 12\text{nm}$  долгионы мужууд дээр хэмжилт хийж улирал, нарны идэвхжил зэргээс хамаарах шүтэлцээг тодруулах, Нарны радио гялбааны спектрт анализ хийх, түүний үндсэн параметруудийг тооцоолох программ зохиох, байнгын GPS станцуудын тасралтгүй

ажиллагааг хангах, HOVD, CHOB, DALN станцуудын мэдээг хөрвүүлэх, архивлах, боловсруулах, GPS хурдны өөрчлөлтийг Дэлхийн тулгуур тогтолцоонд тодорхойлж, хянах, ионосфер дэх электроны агууламжийн өөрчлөлтийг судлах зэрэг ажлуудыг өнгөрсөн хугацаанд хийж гүйцэтгэсэн.

- a) Нарны идэвхт үзэгдлүүдийн Н-альфа ажиглалтаас 25-р идэвхжилийн эхний тэсрэлтийн физик параметруудийг тодорхойлох, дүн шинжилгээ хийх ажлыг хийсэн. Нарны гадаргуугийн хавтгай дээр гарч ирсэн NOAA 12770 идэвхт мужид болсон 2020 оны 8-р сарын 08-ны тэсрэлт болон идэвхт дөлний зургийг “Хүрэл тогоот” Одон Орон Судлах Оргилын Коронограф дурангаар устөрөгчийн Н-альфа шугам дээр авч боловсруулж физик параметруудийг тодорхойлсон.
- b) Олон тооны ажиглалтаас fit хийн тодорхойлсон давтамж шилжилтийн хурдны ( $dv/dt$ ) давтамжийн хамаарал нь статистик тэнцвэрийн хуулиар тодорхойлсон  $n_e(r)$  –ийн утгаар тооцоолсон үр дүнтэй нийлэхгүй байгааг сайжруулах зорилгоор “scale height (H) буюу хуваарьт өндрийг зайнаас хамаарсан  $\alpha$  жин бүхий хоёр гишүүний комбинаци буюу  $H = \alpha\lambda_T + (1 - \alpha)f(r)$  хэлбэртэй авч тооцоолсон юм. Электрон нягтыг тодорхойлох дараах томъёог гарган авсан.  $n_e = n_0(1 + y)^{-1/(1-\alpha)b}$ ,  $y = \frac{1-\alpha}{\alpha} b \frac{r}{\lambda_T}$ . Тухайн тохиолдолд бусад хэмжигдэхүүний дундаж утгын хувьд  $n_e = n_0(1 + 0.017 \cdot h)^{-2.38}$ . Энэ нь Дэлхийн тойрог зам хүртэлх зайд ажиглалтын утгуудтай тохирч байна. FDR хувьд харьцангуй ерөнхий хамаарал  $dv/dt \sim -v^{2(1-\alpha)b+1}$  гарган авсан.
- c) Бага жинтэй хүчний тусламжтайгаар Дэлхийтэй мөргөлдөж аюул учруулж болох бага гаригуудын тойрог замыг өөрчлөн аюулгүй болгох боломжтойг харуулсан онолын хэд хэдэн тооцоог хийв. Үр дүнгээр э/ш-ний өгүүлэл гадаадад гурвыг хэвлүүлсэн.
- d) Хүрэл тогоот дахь хэмжилтийн байнгын цэг болон хээрийн судалгааны цэгүүдэд нарны хэт ягаан цацрагийн 365нм ба 312нм долгионы орчим мужид 2008-2019 онд хийсэн хэмжилтийн материалыг ашиглан агаар мандлын тунгалгийн коэффициентийг тодорхойлсон.
- e) Ионосфер давхаргын электроны нийт агууламжийн (ЭНА) хэлбэлзлийг Нарны идэвхт үзэгдлүүд болон геосоронзон шуурга зэрэгтэй хамааралтай

байгааг судалж, түүний урт болон богино хугацааны үеүдийг Фурье, Вейвлет аргуудаар тодорхойлсон.

- f) Сансрын геодезийн суурь судалгааны хүрээнд дагуулын навигацийн GNSS мэдээгээр газрын деформац шилжилт хөдөлгөөний хурд, Дэлхийн тулгуур тогтолцоонд тодорхойлох ажлыг хийсэн.

Тайлангийн хугацаанд гадаадад **8** өгүүлэл, дотоодод **10** , илтгэл гадаадад **14**, дотоодод **10**, гэрээт ажил нэгийг хийсэн байна.

## 7 ХАВСРАЛТ. ТӨСЛИЙН ҮР ДҮНГИЙН ДААЛГАВАР, САНХҮҮЖИЛТ

- Үр дүнгийн даалгавар

"Нарны титэм, дөл, тэсрэлтийн физик шинж чанарын судалгаа" гэртэй  
суурь судалгааны төсөл хэрэгжүүлэх санхүүжүүлэх  
2018 оны 05 дугаар сарын 10-ны өдрийн  
2018 оны 05 дугаар сарын 10-ны өдрийн  
дугаар гэрээний 1 дүгээр хавсралт

**ТӨСЛИЙН ҮР ДҮНГИЙН ДААЛГАВАР**  
/Техникийн даалгавар/

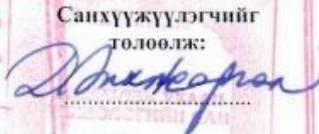
№	Төслөөр бий болох үр дүн	Тоо хэмжээ	Үр дүнгийн үзүүлэлт	Үр дүнг хүлээлгэн өгөх хугацаа (он, сар)
1	Нарны дөл, тэсрэлтийн талаар шинэ мэдээлэл гарган авах бөгөөд тэдгээрийн мультифрактал спектр, мультифрактал сегментчлэл аргаар боловсруулсан үр дүнгүүд гарна.	90 удаагийн ажиглалт	Нарны дөл, тэсрэлтийн зураг, графикууд, э/ш-ний 1 өгүүлэл	2020 оны 11 сар
2	Нарны титэм, дөл, тэсрэлтийн ажиглалтаар тодорхойлсон физик параметрууд	Сонголт хийсэн 10 үзэгдэл	Физик параметруудийн тоон утгууд, э/ш-ний 1 өгүүлэл	2018 оны 12 сар
3	Нарны нил ягаан цацрагийн эрчмийн 365nm, 312nm муж орчим дахь хэмжилт болон UV дундаж эрчим, Нарны өндрийн хамаарлыг тогтооно.	100 цэлмэг өдрийн хэмжилт	Эрчим, нарны өндрийн хамаарал, э/ш-ний 2 өгүүлэл	2020 оны 10 сар
4	Олон улсын сүлжээ станц "CALLISTO" радиоспектрометрээр бүртгэсэн Нарны радио гялбаа болон Сарны гялбааны ажиглалт	Бичлэг тасралтгүй горимоор явагдана	Радио гялбааны спектр, Сарны гялбааны зураг, э/ш-ний 1 өгүүлэл	2019 оны 12 сар
5	Тэнгэрийн эрхсийн жижиг биетүүдийн хөдөлгөөний өөртлөлтийн судалгаа	Сонголт хийсэн 10 биет	Жижиг биетийн хөдөлгөөний тооцоо, э/ш-ний 1 өгүүлэл	2019 оны 11 сар
6	Нарны салхи, тэсрэлтийн Дэлхийн цэнэгт болон царцдаст үзүүлэх нөлөөг GPS газрын станцийн ажиглалтаар тодорхойлох	365 өдөр x 30 сек x 20 станц x 3 жил	Цэнэгт мандлын электрон агууламжийн хамаарлын график, тооцоолол, 2 өгүүлэл	2019 оны 12 сар
7	Дэлхийн эргэлтийн параметрууд болон цэнэгт мандлын электроны нийт агууламжийн мэдээлэлд спектраль анализ хийх, цэнэгт мандлын жигд биш бүтцийн талаар хийх дүгнэлтүүд гарна.	IERS, GPS, станцуудын мэдээ	Параметруудийн өөрчлөлтийн утгууд тодорхойлох, тэдгээрийн спектраль анализийн дүн, э/ш-ний 3 өгүүлэл	2020 оны 12 сар
8	Эцсийн тайлан боловсруулж хүлээлгэн өгөх	1	Эцсийн тайлан	2020.12 сард багтаана.

Захиалагчийг  
төлөөлж:



Д. Одгэрэл

Санхүүжүүлэгчийг  
төлөөлж:



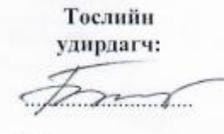
Д. Энхжаргал

Гүйцэтгэгчийг  
төлөөлж:



С. Дэмбэрэл

Төслийн  
удирдагч:



Л. Батмөнх

- Санхүүжилт

№	Зардлын задаргаа	Зарцуулах эрх 2018-2021 он	Зарцуулалт 2018 он	Зарцуулалт 2019 он	Зарцуулалт 2020 он	Зарцуулалт 2021 он
1	Судалгааны ажлын тайлан бичихтэй холбогдсон зардал /бичиг хэрэг, хэвлүүлэх г.м/	1,000,000.00	448,110.00		212,000.00	339,890.00
2	Социологийн болон түүвэр судалгааны зардал	3,500,000.00			3,500,000.00	-
3	Сэлбэг хэрэгсэл, лабораторийн хэрэгсэл худалдан авах зардал	6,000,000.00	2,516,990.00	206,000.00	1,287,000.00	1,990,010.00
4	Гадаад, дотоодын томилолтын зардал	3,050,000.00	1,270,000.00	654,000.00	-	1,126,000.00
5	Судалгааны тоног төхөөрөмжийн хэмжилт, суурилуулалт, засвар үйлчилгээний зардал	1,500,000.00	-	-	-	1,500,000.00
6	Компьютерийн программ хангамж зохиох, худалдан авах, засвар үйлчилгээ хийлгэх зардал	2,244,000.00	2,199,900.00	-		44,100.00
7	Туршилтын цех, үйлдвэрийн тоног төхөөрөмжийг худалдан авах зардал /төрийн өмчийн хорооны шийдвэр/	13,000,000.00	-	13,000,000.00	-	-
	<b>Дүн</b>	30,294,000.00	6,435,000.00	13,860,000.00	4,999,000.00	5,000,000.00