

# Соронзон Мандлын Судалгаанд Магнитограммын Хөрвүүлэх Арга (МХА)

**Б. Амаржаргал, Ү.Сүхбаатар**

*Монгол улс, Шинжлэх ухааны академийн Одон орон  
Геофизикийн хүрээлэн*

e-mail: [amaraa9890@yahoo.de](mailto:amaraa9890@yahoo.de)  
[sukhbaatar\\_y@yahoo.com](mailto:sukhbaatar_y@yahoo.com)

Дэлхийн соронзон орон ба нарны салхины харилцан үйлчлэлийн улмаас бий болдог үзэгдэл бол соронзон орны вариаци юм. Эрдэмтэн судлаачид дэлхийн соронзон оргилуудын мэдээллээр туйл орчмын эгэл соронзон шуурганы гүйдлийн системийг байгуулж, соронзон мандлын шөнийн секторт явагдах соронзон буснилын физик шинж чанарыг соронзон станцуудад ажиглагдсан соронзон элементүүдийн бичлэгээр судалгаа хийж байна. Энэ аргыг магнитограммыг хөрвүүлэх арга (МХА) буюу Техника Инверсии Магнитограмм (ТИМ) гэнэ. ТИМ -ын аргыг 1970-аад оны дунд үеэс ОХУ-н ШУА-ийн Сибирийн салбарын Нар Дэлхийн физикийн хүрээлэнд профессор В.М.Мишины удирдлага дор боловсруулсан бөгөөд орчин үед соронзон мандлын судалгаанд өргөн хэрэглэгддэг аргын нэг болсон [1, 2]. Энэхүү арга нь соронзон мандал дахь дагуу гүйдлийн систем, соронзон мандлын цахилгаан орны потенциалын тархалт, соронзон мандлын сүүлний нээлттэй хэсэгт харгалзах соронзон урсгалын хэмжээ, соронзон мандлын сүүлний уртыг тодорхойлох зэрэг соронзон мандлын суурь параметруудийг тодорхойлж соронзон мандлын физик процессыг судлахад чухал үүрэгтэй юм.

## I. ОНОЛЫН ҮНДЭС

**А. Хувьсах соронзон орны судалгаа.** Дэлхийн гадарга дээр ажиглагддаг соронзон оронг гарал үүслээрээ ялгаатай хэд хэдэн соронзон орны нийлбэр гэж үздэг. Өөрөөр хэлбэл хэвийн соронзон, орон гаж соронзон орон, хувьсах соронзон орон гэж ангилдаг. Эдгээрийн нэг бол хувьсах соронзон орон юм.

Хувьсах соронзон орныг

$$S+L+DP+DCP+Dst$$

гэж үздэг. Энд: S-нарны хэт ягаан туяаны улмаас үүсэх орны тогтонги хэсэг. L- дээд агаар мандал дахь сарны таталтын улмаас үүсэх орон үүсэх орны тогтонги хэсэг. DP-нарны салхи дэлхийн соронзон орны харилцан үйлчлэлийн улмаас үүсэх орны тогтонги бус хэсэг. DR-гаригийн хэмжээний соронзон шуурганы үед онцгой хүчтэй болдог цагираг гүйдлийн орон. DCF-нарны салхины протон электрон дэлхийн соронзон орны хүчний шугамын үйлчлэлийг давж чадахгүй соронзон мандлын гадаргууг даган хөдлөх үеийн соронзон мандал дээр үүсэх гүйдлийн улмаас бий болдог орны тогтонги бус хэсэг. Хувьсах соронзон орны өөрчлөлт нь дэлхийн соронзон мандал цэнэгт мандал гариг хоорондын орон зай наран дээр болж байгаа физик

процессуудын мэдээллийг агуулж байдаг. Соронзон хувьслын гол үүсгэгч нь нарнаас дэлхий рүү шидэгдэж байгаа цэнэгт бөөмсүүд юм.

Соронзон мандлын дотоодод болдог гол физик процессын нэг бол соронзон хүчний шугам тасарч дахин нэгдэх процесс юм. Хэрэв гариг хоорондын соронзон орны босоо байгуулагч  $B_z$  өдрийн талдаа дэлхийн соронзон орны эсрэг чиглэсэн бол соронзон мандал нээлттэй гэж үздэг Энэ тохиолдолд Данжигийн загвар ёсоор эсрэг чиглэсэн соронзон орны хүчний шугамнууд соронзон заагийн наран талын мужид тасарч нарны салхи өдрийн талаас шөнийн тал руу соронзон орны нээлттэй шугамнуудыг зөөвөрлөнө. Соронзон мандлын сүүл хэсэгт соронзон орны энерги хуримтлагдах үед соронзон орны хүчний шугам дахин нэгдэх процесс явагдана. Үүний дүнд соронзон мандлын сүүл тасарч плазмын бөөмс эргээд дэлхий рүү шидэгдэнэ. Энэ үйлдлийн дүнд дээд өргөрөгт соронзон мандлын үзэгдэл туйлын туяа ажиглагдана. Туйлын туяаны үүсгэгч нь туйлын туяаны бүс рүү хүчний шугамын дагуу асгарах бөөмсийн урсгал юм. Нарны салхины төлөв байдал хувирч өөрчлөгдөхөд соронзон мандлын тогтоц түүнд

харгалзах гүйдлийн систем өөрчлөгдөж байдаг. Энэ нь дэлхий дээр соронзон орны өөрчлөлт хэлбэрээр илэрдэг. Соронзон орны бүх дэлхийг хамарсан өөрчлөлтийг соронзон шуурга гэх бөгөөд туйл орчмын бүсэд ихэвчлэн ажиглагддаг соронзон орны өөрчлөлтийг соронзон эгэл шуурга(суббурь-substorm) гэж нэрлэдэг.

Геосоронзон хувьсал нь цэнэгт мандал ба соронзон мандлын дээд хэсэг дэх цахилгаан гүйдлээр үүсэх тул геосоронзон хувьслын орны тэгшитгэлийг доорх байдлаар бичиж болно.

$$\vec{H} = -\text{grad}V,$$

Эндээс Лапласын тэгшитгэл

$$\Delta V = 0 \quad (1)$$

байдлаар бичигдэнэ. Геосоронзон вариацийн орны потенциалыг бодоход бөмбөлөг арга хэрэглэгддэг.

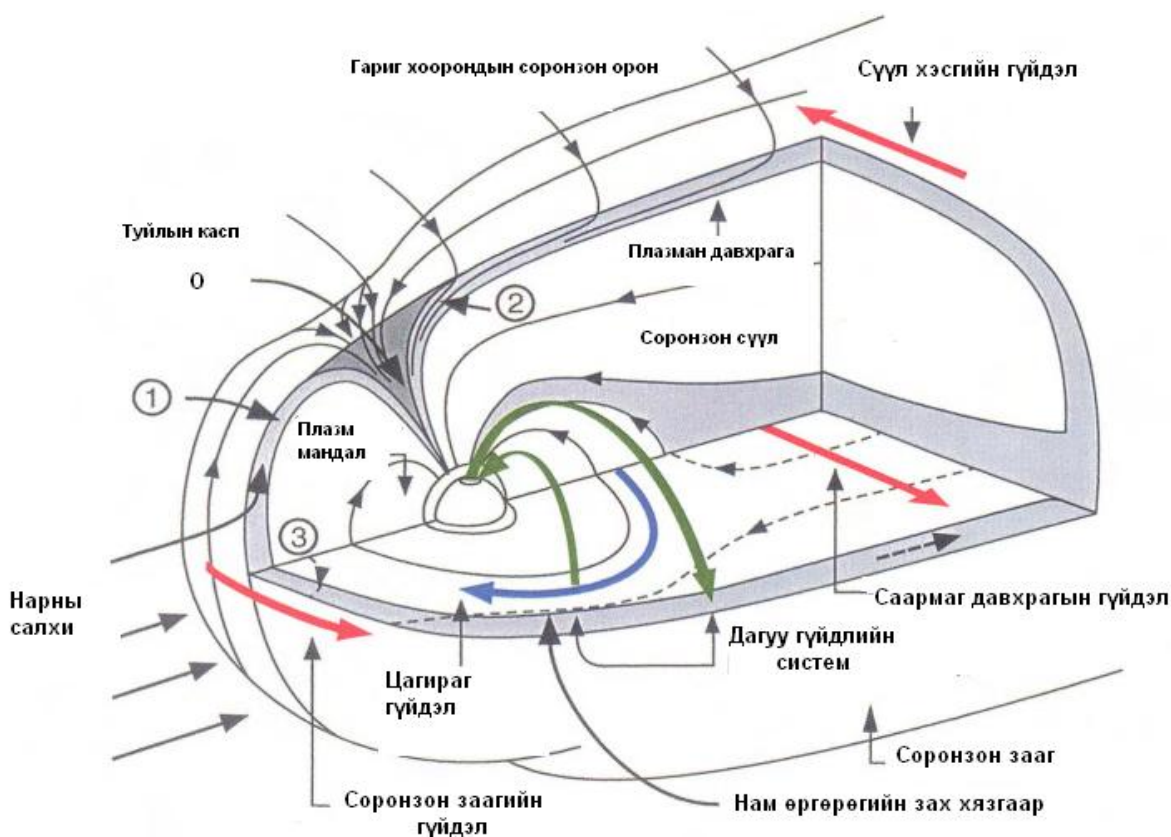
## В. Геосоронзон вариацийн орны потенциал задаргаа.

Дэлхий дээр 200 орчим соронзон оргил ажиллах ба геосоронзон орны  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  байгуулагчуудыг хэмжсэн хэмжилтийн мэдээллээр потенциалыг Лежандрин олон гишүүнтээр ойролцоолдог.

$$\left. \begin{aligned} X &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) \frac{dP_n^m(\cos\theta)}{d\theta} \\ Y &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (g_n^m \sin m\lambda - h_n^m \cos m\lambda) \frac{mP_n^m(\cos\theta)}{\sin\theta} \\ Z &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n (j_n^m \cos m\lambda + k_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos\theta) \end{aligned} \right\} (2)$$

Энд:  $g_n^m = E_n^m + I_n^m$ ;  $h_n^m = e_n^m + i_n^m$   
 $j_n^m = nE_n^m - (n+1)I_n^m$ ;

$$k_n^m = ne_n^m - (n+1)i_n^m$$



Зураг 1. Соронзон мандал

(2) илэрхийллээс  $g_n^m, h_n^m, j_n^m, k_n^m$ , гэсэн коэффициентүүдийг бодож дэлхийн гадаргуугийн дурын цэгт  $V, V_e, V_i$  потециалуудын утгыг олно.

Цэнэгт мандлын  $h$  - өндөрт гүйдэл гүйж байна гэж үзвэл  $E_n^m, e_n^m$  коэффициентүүдийг ашиглан орлох (эквивалент) гүйдлийн системийг дараах томъёогоор тодорхойлж болдог [1,2].

$$J_e(\theta, \lambda) = \frac{-10R}{4\pi} \sum_n \sum_m \frac{2n+1}{(n+1)} \left(\frac{R_e}{r}\right)^n (E_n^m \cos m\lambda + e_n^m \sin m\lambda) \cdot P_n^m \cos(\theta) \quad (3)$$

Энд  $r_e = R + h$ .

Цэнэгт мандлын гүйдлийн систем нь хуйларсан ба потенциал гүйдлийн системийн нийлбэр байдлаар илэрхийлэгдэнэ.

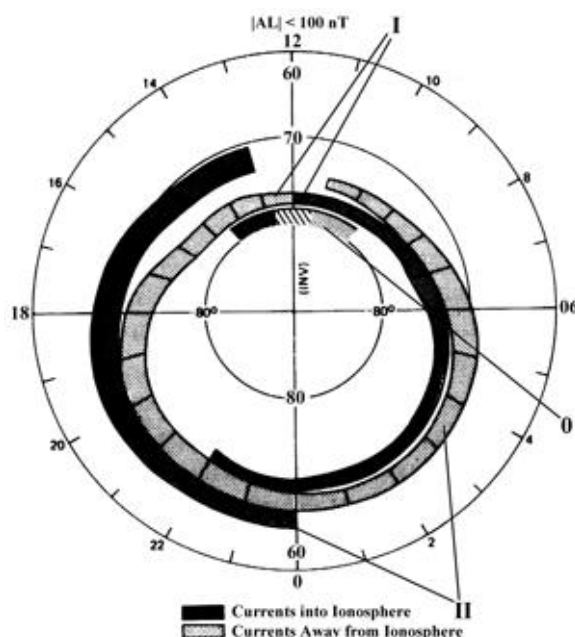
$$\left. \begin{aligned} \text{rot}_z \vec{j} &= \text{rot}_z (\hat{\Sigma} \cdot \vec{\nabla} U) = -\nabla^2 J \\ \text{Div} \vec{j} &= \text{Div} (\hat{\Sigma} \cdot \vec{\nabla} U) = -j_{\parallel} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$\hat{\Sigma}$  – цахилгаан дамжуулалын тензор,  $U$  – цахилгаан потенциал. Тэгшитгэлийн систем (3) цэнэгт мандлын цахилгаан дамжуулал  $\hat{\Sigma}$  -ын загвар ба цэнэгт мандлын гүйдлийн систем  $J(\theta, t)$  мэдэгдэж байвал эдгээрийн утгаар ТИМ-ийн гаралтын үндсэн параметр болох цахилгаан потенциал  $U$  ба дагуу гүйдэл  $j_{\parallel}$ -г тооцоолон гаргана.

## II. СУДАЛГААНЫ МАТЕРИАЛ, АРГА ЗҮЙ

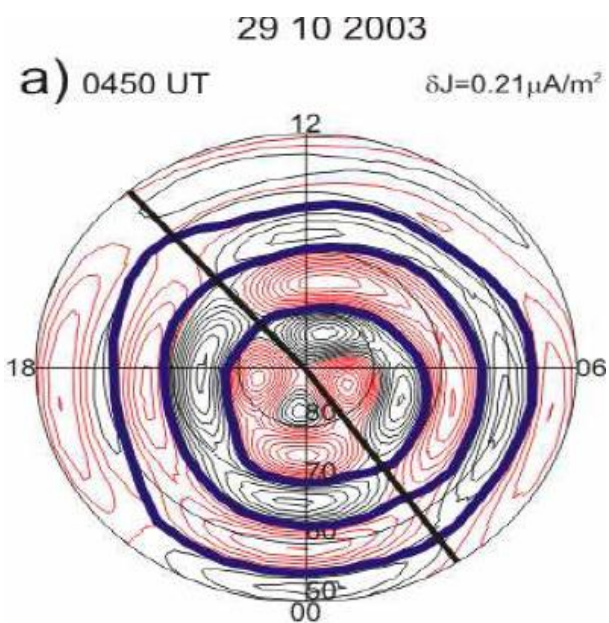
Ийджима Потемра нар 1978 онд сансрын хиймэл дагуулууд дээр хийсэн хэмжилтээр дагуу гүйдлийн хэмжээ ба байрлалыг тодорхойлж энэ гүйдэл цэнэгт мандалтай хэрхэн холбогддог механизмыг судалсан байдаг. (И-П-бүслүүр)-ийг соронзон мандлын судалгаанд өргөн ашигладаг бөгөөд МХА-аар хэрхэн тодорхойлж болохыг 2003 оны 10 сарын

29-ны суббурийн бодолтоор Зураг 3 –д харуулав.

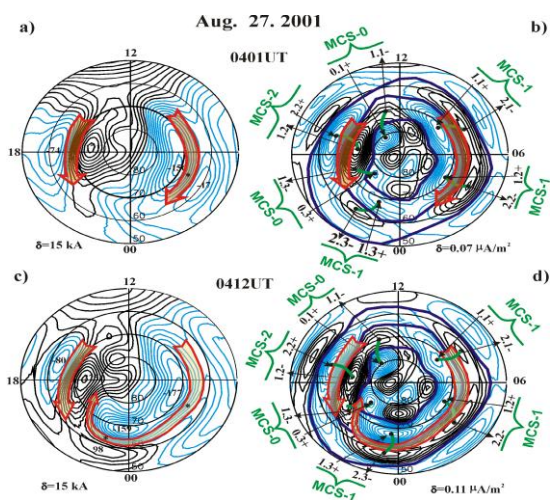


Зураг 2. Ийджими, Потемрагийн бие биетэйгээ давхцсан 3 бүслүүрт загвар

Зураг 4 дээр 2001 оны 08-р сарын 27-ны өдрийн хоёр агшинд харгалзах гүйдлийн Зүүн ба баруун чиглэлтэй туйлын гүйдэл (улаан сум) зарим нэг хуйларсан гүйдлийн төв дээрх утгыг (кА) килоамперээр үзүүлэв. Дагуу гүйдлийн зураг дээр (баруун тал) Ийджими Потемрын (И-П) 3 зоны зааг (өргөн цэнхэр шугам), R-N зонуудын төвөөр орж ба гарч байгаа гүйдлийн нягтыг сумаар, гарч байгаа гүйдлийг хараар, орж байгаа гүйдлийг хөхөөр тус тус үзүүлсэн болно. Эндээс И-П-ын зон болгонд 6 хүртэл нэг төрлийн бус муж байхыг ажиглаж болно. Богино өргөн ногоон хөвчнүүд нь зэргэлдээ хоёр И-П зонд орж байгаа ба гарч байгаа дагуу гүйдлүүдийн нэг төрлийн бус мужуудын төвийг холбож байна. Энэ хос дагуу гүйдлийг (ДГ) уртрагийн дагуу чиглэсэн цэнэгт мандлын Педерсоны гүйдлийн систем холбож байдаг. Энэ гүйдлийн систем ба хос дагуу гүйдэл нийлээд зураг 4 дээр тэмдэглэсэн 3 хэмжээст уртрагийн гүйдлийн систем (meridional current system-MCS)-ийг үүсгэж байна гэж бид үзэж байгаа юм.



Зураг 3. И-П –ийн 3 бүслүүр (2003 оны 10 сарын 29-ны эгэл шуургын хэмжилтээр)



Зураг 4. 2001 оны 08-р сарын 27-ны өдрийн дэлхийн цаг (UT)- аар 04 цаг 01 минут, 04 цаг 12 минутад харгалзах төлөөлөх (эквивалент) гүйдлийн систем, дагуу гүйдлийн систем

Мөн И-П гүйдлийн систем нь 0 бүслүүрийн зөвхөн өдрийн цагт ажиглагддаг биш болохыг харуулж өргөтгөв. Энэ үндсэн дээрээ соронзон мандлын гүйдлийн үүсгэгчүүдийн (генератор) тогтолцоо, цэнэгт мандлын уртрагийн дагуу гүйдлийн систем, соронзон мандлын сүүл хэсгийн алсад DPR-2 маягийн баруун тийш чиглэсэн гүйдэл байгаа зэргийг тодорхойлж тайлбарлав.[4,5]

### III. ҮР ДҮН БА ХЭЛЭЛЦҮҮЛЭГ

Соронзон оргилуудын материал ,цахилгаан дамжуулалын загвар ба магнитограмм хөрвүүлэх аргын (МХА) программ хангамжийг ашиглан цэнэгт мандлын цахилгаан потенциалын тархалт, цэнэгт мандлын дагуу гүйдлийн систем, дагуу гүйдлийн тархалтын зургийг гарган авсан. Дагуу гүйдлийн тархалтын зураг нь туйлын оройн хэмжээг Ийджими,Потемрын (ИП) дагуу гүйдлийн 1-р зоны дээд өргөрөгийн хязгаар байдлаар тодорхойлох боломжийг олгодог.

Дагуу гүйдлийн  $j_{||}$ -тархалтаар соронзон мандлын сүүлний задгай хэсгийн соронзон урсгалын хэмжээг дараах байдлаар тооцоолж болно[ 2].

$$\psi = BS \quad (5)$$

Энд  $B$  – туйлын оройн соронзон орон,

$S$  - туйлын оройн талбай

$$\varepsilon^1 = \frac{\psi_1^2 V_{SW}}{\mu_0 S_t} \quad (6)$$

Эгэл соронзон шуурганы үед задгай сүүлний соронзон орон  $\Psi$  хэрхэн өөрчлөгддөг тухай шинэ мэдээлэл өгөх боломжтой. Хэрэв задгай сүүлний соронзон орон ихэвчлэн соронзон заагт болсон соронзон орон дахин нэгдэх (СОДН) процессын дүнд буюу соронзон мандал, нарны салхины харилцан үйлчлэлийн үр дүнд бий болдог учир  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$  гэсэн таамаглал дэвшүүлж  $\Psi_2$  нь гариг хоорондын соронзон орны нөлөө байхгүй үеийн ( $B_z = B_y = 0$ ) соронзон урсгалын хэмжээ өөрөөр хэлбэл дэвсгэр утга гэж үзэж дам аргаар тодорхойлсон тохиолдолд  $\Psi_1 = \Psi - \Psi_2$  үйлдлээр плазмд соронзон орон дахин нэгдэх (СОДН) физик процессыг судлах боломж нээгдэнэ.

Харин Акасофу 1978 онд нарны салхины нягт хурднаас хамаарсан параметрийг  $\varepsilon_a$

анх тодорхойлсон байдаг .

$$\varepsilon_a = \frac{4\pi}{\mu_0} V_{sw} B^2 \sin^4 \frac{\theta}{2} L^2 \quad (7)$$

$$\theta = \arctg\left(\frac{B_y}{B_z}\right); \mu_0 = 4\pi 10^{-7}; \quad (8)$$

$L = 7R_e : R_e$  - дэлхий радиус,  $V_{sw}$  - нарны салхины хурд

Энэ хоёр (6,8) энергийг харьцуулан судлах нь соронзон мандалд болж буй маш олон процессын физик шалтгааныг тогтооход ашиглагдах шинэ боломжууд нээгдэж байгаа учир МХА-г улам өргөтгөн ашиглах шаардлагатай болж байна.

#### IV. ДҮГНЭЛТ

Ийнхүү гаргаж авсан үр дүнгүүд нь 2 ба 0 (зоны) бүслүүрүүдийн гүйдлийн систем нь 1-р бүслүүрийн гүйдлийн систем цэнэгт мандлаар тархан гүйснээс үүдэлтэй бөгөөд 1-р бүслүүрийн гүйдлийн систем нь соронзон мандлын гүйдэл үүсгэгчүүдтэй холбогддог болохыг харуулж байна. Судалгааны дүнд И-П гүйдлийн системийн бүслүүр болгонд өглөө ба оройн секторт гүйх дагуу гүйдлийн (ДГ) эрчим нь хоорондоо эрс ялгагдаж байгааг тогтоож энэ асимметрийг тайлбарлах соронзон мандал-цэнэгт мандлын нэгдсэн цахилгаан схемийг санал болгов.

---

[1] Б.Т. Яновский, *Земной магнетизм*. ЛГУ, 1957г.

[2] Mishin, V.M. *The magnetogram inversion technique and some applications* // Space Sci. Rev. 1990. V. 53, P. 83-163.

[3] McPherron, R.L., C.T Russell, and M.A. Abry, *Satellite studies of magnetospheric substorms on August 15, 1968. 9. Phenomenological model for substorms* // J.Geophys. Res. 1973. V. 78, P. 3131-3152.

[4] В.М.Мишин, А.Д.Базаржапов, В.В. Мишин, *События 02.08.2002.1. Особенности*

[6] В.В.Мишин, А.Д.Базаржапов, У.Сухбаатар, *Принципиальная схема глобальной электрической цепи*

*продольных токов суббури, Солнечно-земная физика*, вып.17, Новосибирск,2011, 110-117.

[5] V.M.Mishin, A.D.Bazarzhapov, U.Sukhbaatar, *Electric Circuits of the Disturbed Magnetosphere-Ionosphere System and Their Generators*, Geomagnetism and Aeronomy, Vol. 50, No. 8 (Special Issue 2), pp. 988-996, Pleiades Publishing, Ltd., 2010. Original Russian Text: V.M.Mishin, A.D. Bazarzhapov, U. Sukhbaatar, M. Foerster, 2010, published in Solnechno-Zemnaya Fizika, 2010, Vol. 15, pp. 88-95.

*магнитосфера-ионосфера Земли*, Труды IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике, 2012 (в печати)