

Сезонные вариации параметров дневных среднемасштабных ПИВ и сезонные вариации **внутреннего** **кольцевого тока**

Акчурин А.Д.

Kazan Federal University



Двадцать первая международная конференция
"Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса"

ИКИ РАН

13 - 17 ноября 2023 г.



Проблемы с наблюдаемостью и классификацией ПИБ (TIDs – traveling ionospheric disturbances)

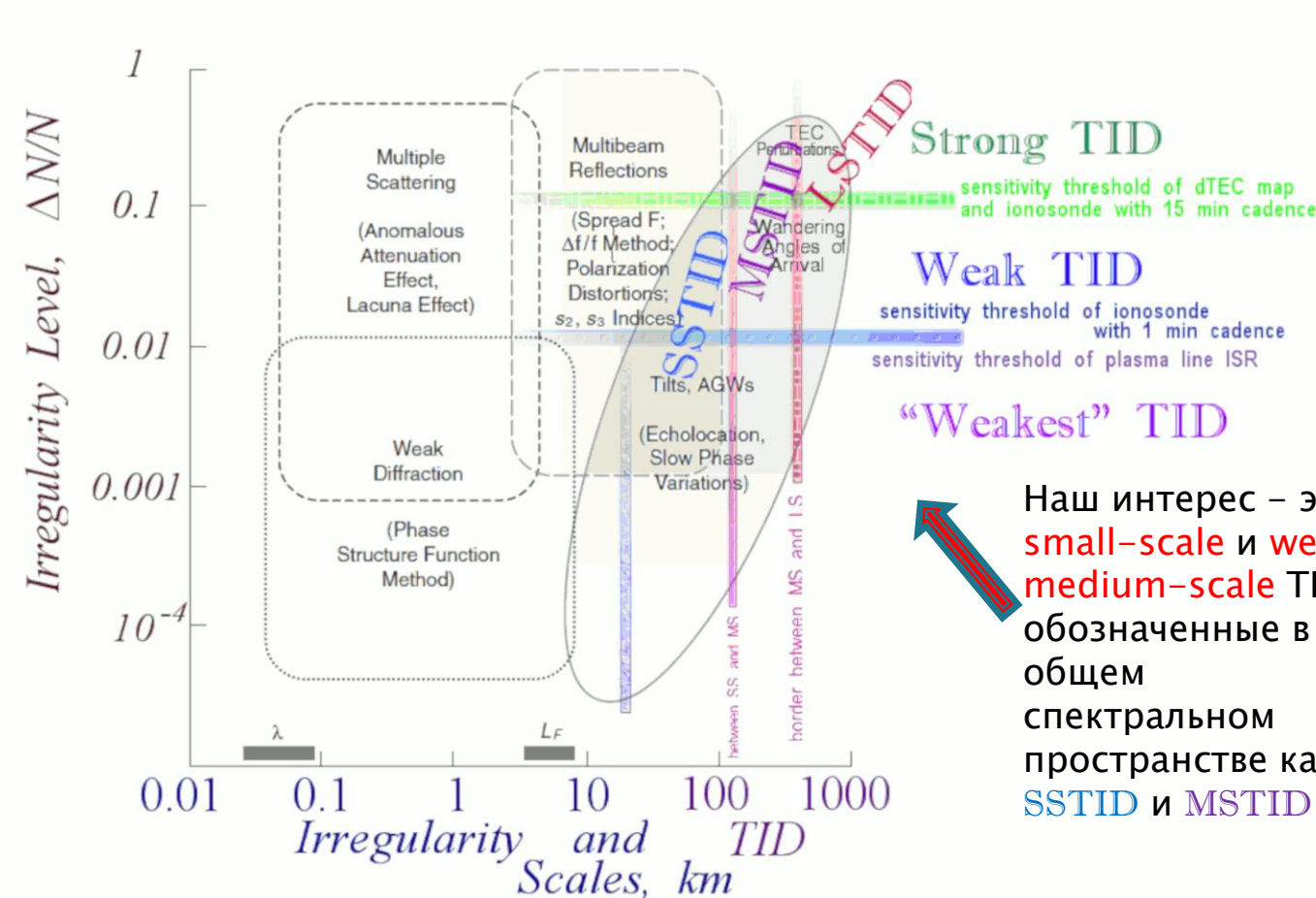
Лишь некоторые из нерешенных вопросов.

Что есть возмущения **disturbance** а что неоднородности **irregularity**? Есть ли монополюсное право у ВГВ на ПИБ? Имеется ли ясная граница между мелкомасштабными ПИБ **small-scale TIDs** (ММ ПИБ/SSTIDs) и крупномасштабными неоднородностями **large-scale irregularities**?

Как глубоко эти типажи **перекрываются**?

Какую **форму** проявления имеют ММ ПИБ/SSTIDs? И на каком регистрирующем приборе?

Во всем спектре ПИБ мелкомасштабные ММ ПИБ/SSTIDs являются самыми малоисследованными. Как наблюдать SSTIDs на ионограммах? В чем **разница** в проявлениях между SSTIDs и среднемасштабными **medium-scale TIDs (MSTIDs)** на ионограммах?



Спектральное пространство всех неоднородностей inhomogeneities (after Hunsucker and Hargreaves, 2002; Booker, 1979) Example of a real equatorial spectrum (Singh & Szuszczewicz, 1984)

Область (наклонный эллипс) занятая всеми ПИБ подкрашена цветом

Наш интерес – это **small-scale** и **weak medium-scale** TIDs обозначенные в общем спектральном пространстве как **SSTID** и **MSTID**

Разделение между сильными и слабыми ПИБ/TIDs сделано по значению $\Delta N/N = 10\%$

Нам не известны случаи регистрации “слабейших” LSTIDs и MSTID с интенсивностью $\Delta N/N$ менее 1%.

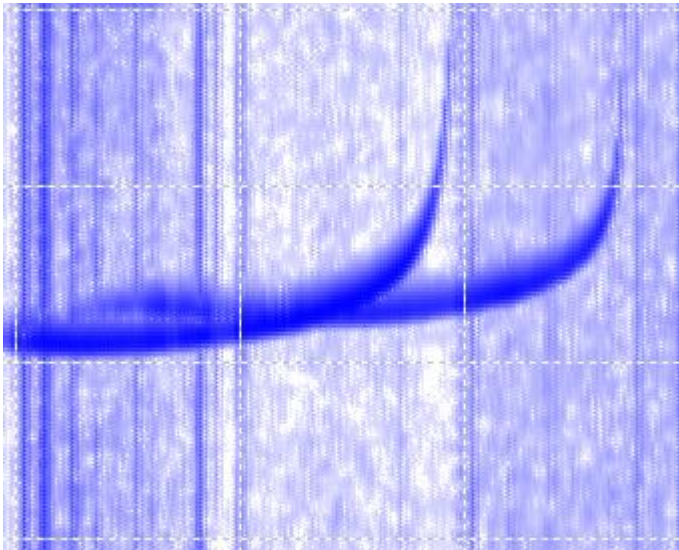
Основные проблемы с объяснением существования дневных среднеширотных ПИБ/TIDs

- ▶ По сути нет общей классификации ПИБ: **LSTIDs** → **MSTIDs** → **SSTIDs**
т.е. есть только крупномасштабные и среднемасштабные (**КМ** ПИБ и **СМ** ПИБ)
- ▶ Общепринятое объяснение для TIDs – богатое семейство разных ВГВ (по способу и месту генерации для разных масштабов). Для **LSTIDs** и **LSTADs**, это авроральные ВГВ, для **MSTIDs** это тропосферные (как воплощение случайности появления **MSTIDs**), для **SSTIDs** – это открытый вопрос. Для теоретиков форма ВГВ – это только «пленник» граничных условий возбуждения и результаты наблюдений остаются вне их рассмотрения.
- ▶ Проблемы связки **MSTIDs** и тропосферных MS ВГВ в **дефиците** очевидных источников, **MSTIDs** видны как фронтальные возмущения (в виде волны с плоским фронтом) размером фронта ~2000–3000 км, в слабой изрезанности вертикального профиля **MSTIDs** из-за фоновых горизонтальных ветров, доминирующее движение к экватору, отсутствие **MSTIDs** от землетрясений с магнитудой ниже 7.5.
- ▶ Где могут быть альтернативные источники (drivers) у **MS/SS** TIDs ? М.б. в субавроральной области? М.б. плазмосфере?
- ▶ Явная наэлектризованность **ночных СМ** ПИБ (что исключает ВГВ из генераторов СМ ПИБ)
- ▶ Не ясна роль плазмосферы/ магнитосферы в создании и продвижении **СМ** ПИБ.



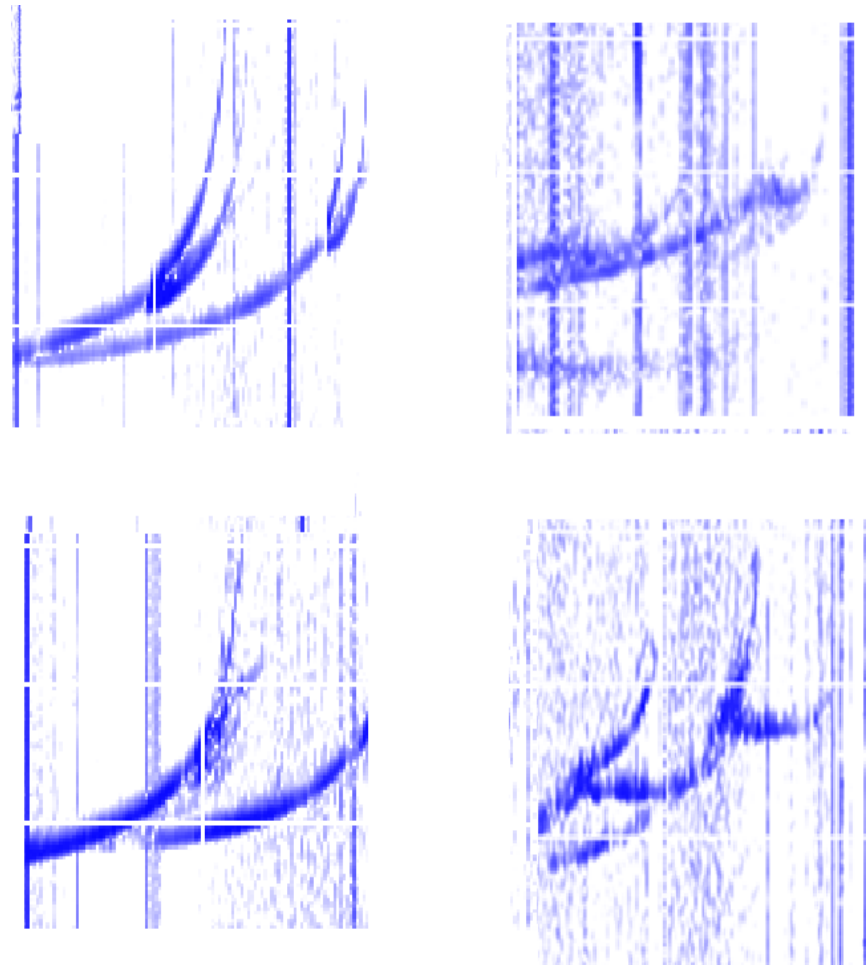
Проявление SSTIDs на ионограммах

Нормальная ионограмма
(касповая дуга F слоя) без
дополнительных следов



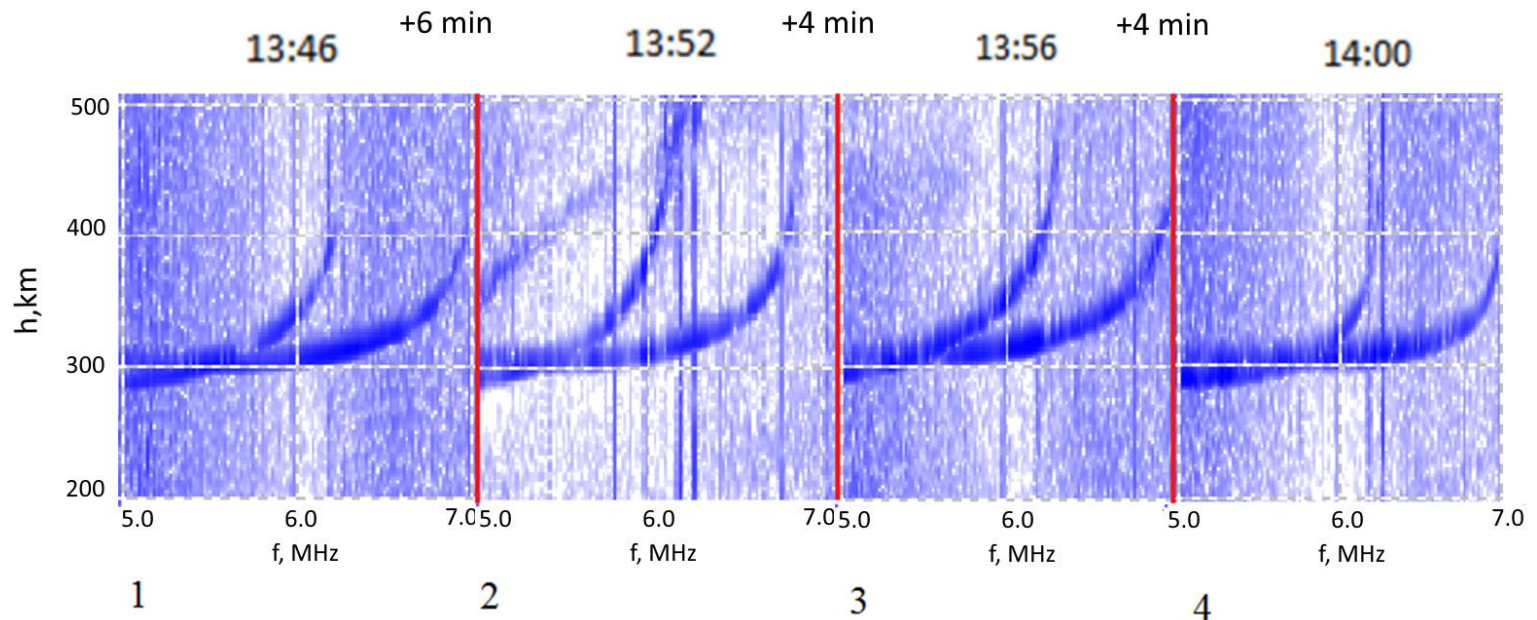
Согласно URSI, среднemasштабные TIDs должны проявляться как наклоны, но они (и особенно, слабые MSTID) часто видны как вариации критической частоты без видимых изменений формы следа слоя F.

Яркое проявление SSTIDs (в виде дополнительных следов в форме серпиков и клювиков). Другие яркие проявления SSTIDs на ионограммах обсудим далее.



Типичные изменения формы следа слоя F во время прохода SSTID

Часто на наших 1-минутных ионограммах → не видны дополнительные следы. Критическая частота остается почти неизменной. Касповая дуга (хвост следа F слоя) вытягивается вверх (stretches upward) и затем снова сжимается вниз (contracts downward).



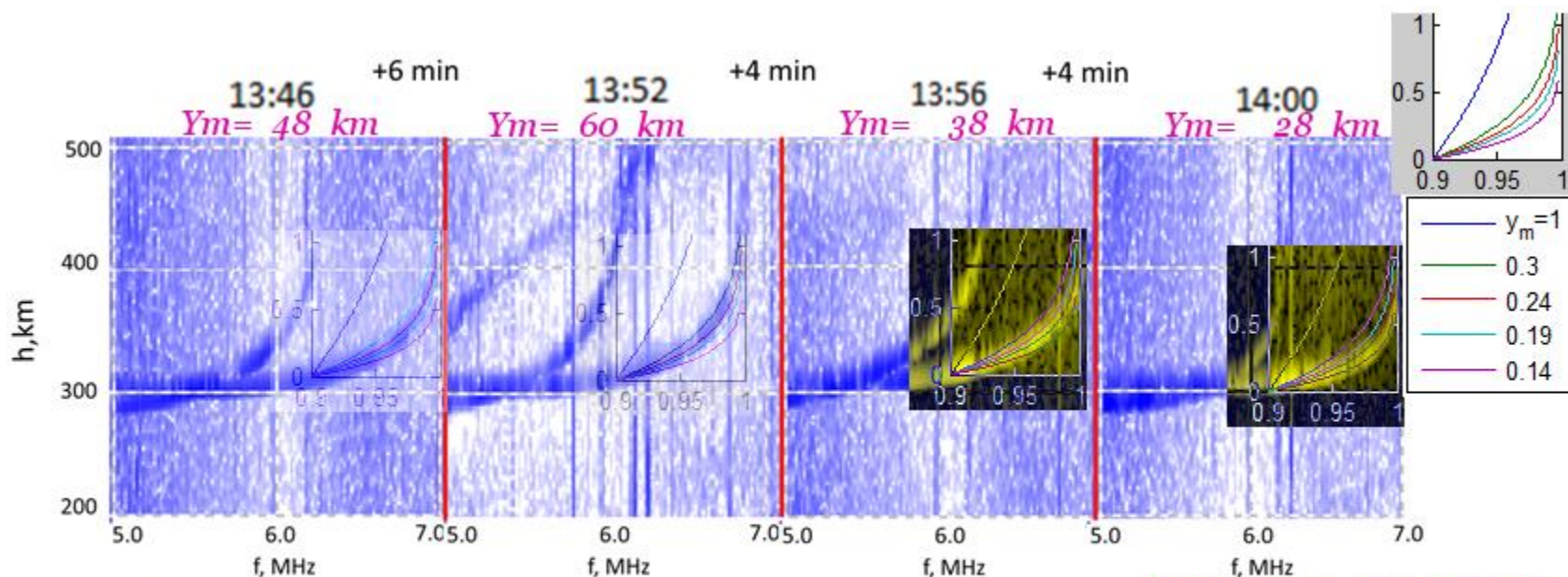
Как обнаружить такие проявления SSTIDs с минимальными компьютерными затратами? Использовать полуширину параб. слоя? Или IRI параметры $V0/V1$?

В качестве первого шага, мы выбрали дифференциальный поворот хвостовой части следа слоя F.

Оценка полуширины параболического слоя F слоя только по финальной части касповой дуги (in the frequency range $0.9-1.0 f_c$)

По-видимому, работая лишь с хвостовой частью следа слоя F, значение классической полуширины ($\sim 80-120$ км) будет недооцененным, зато это не требует полного анализа сложного устройства F следа.

основано на идеях оценки полуширины *semi-thickness* in
 Appleton & Beynon (1940)
 Booker & Seaton (1940)



1

2

3

4

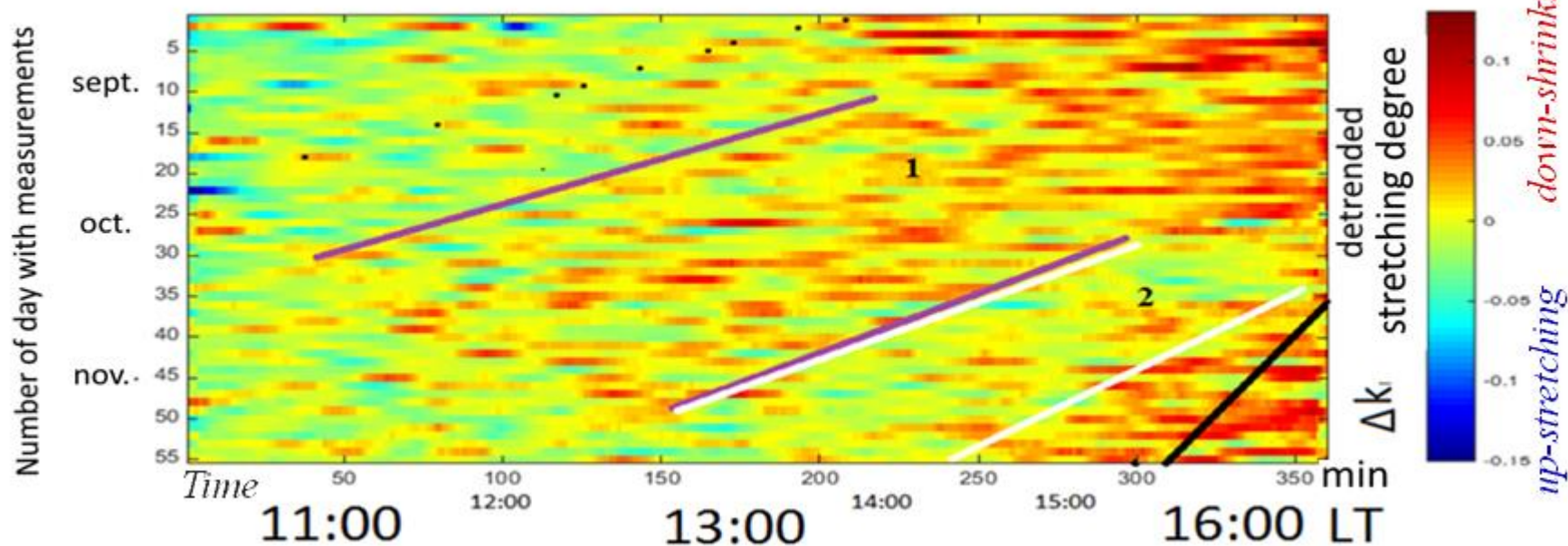
$$h'(x) = y_m \cdot x \cdot \ln \frac{1+x}{1-x} \quad y_m = 0.14 \div 0.3$$

$$Y_m = \text{slope} = 200 \text{ km} \cdot y_m$$

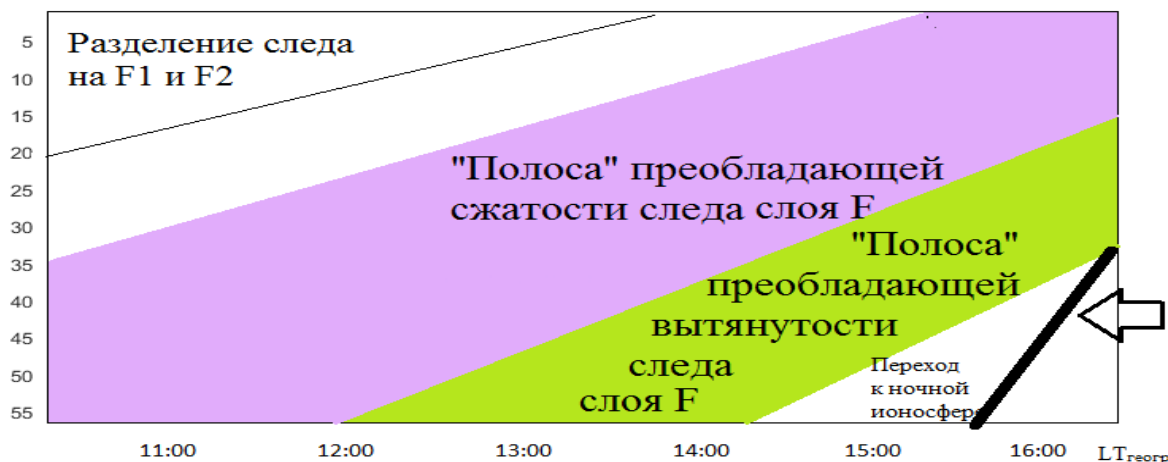
$$h'(x)_{fit} = \text{slope} \cdot \frac{1 \text{ km}}{2} \cdot x \cdot \ln \frac{1+x}{1-x}$$

Осенняя картина сжатости хвостовой части касповой дуги слоя F днём

Pattern of Daily seasonal variations of stretching degree



б)



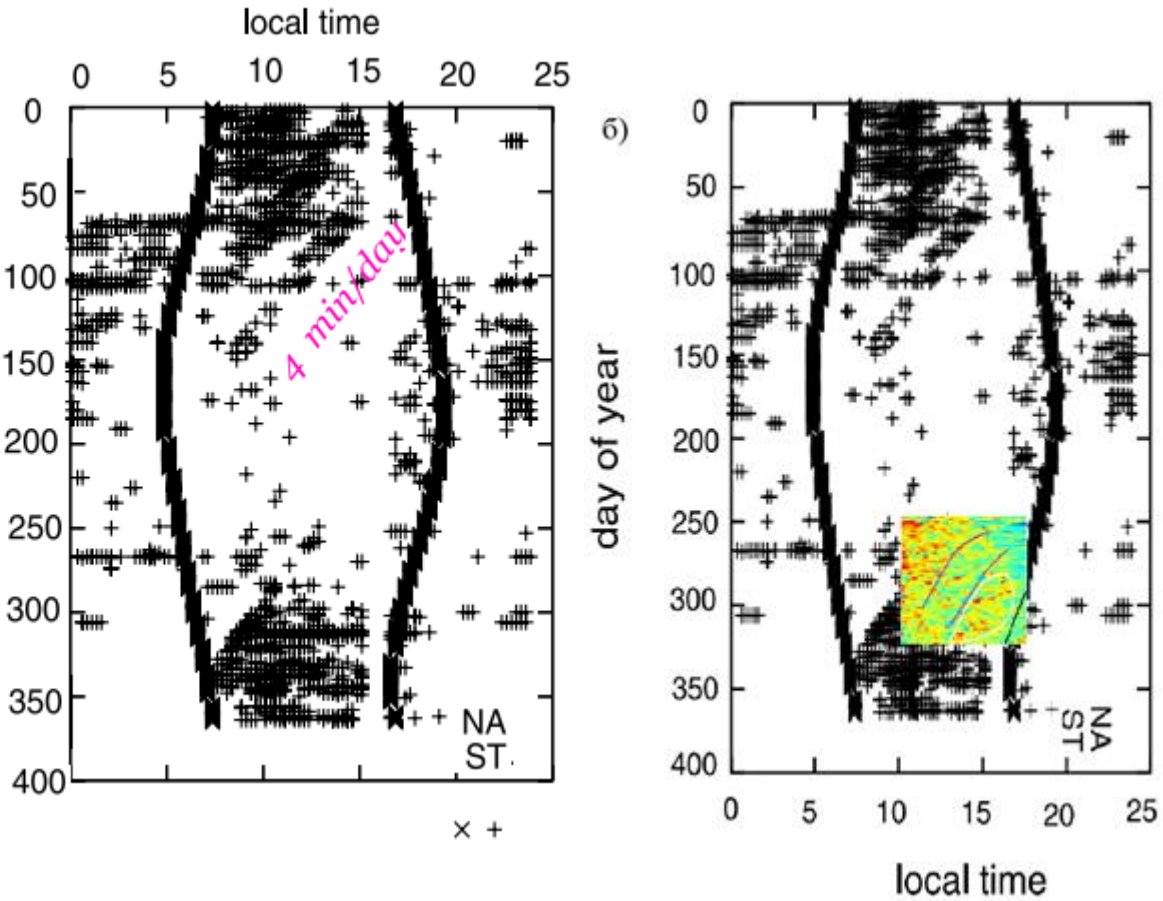
Солнечный терминатор

LT

ДНИ ↓

Частота появления СМ ПИВ по данным о GPS ПЭС в средних широтах

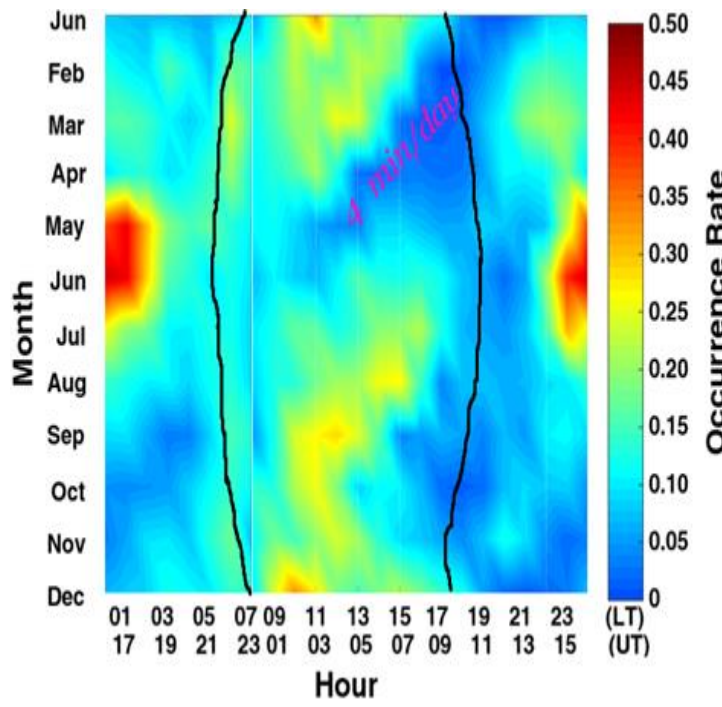
Неужели GPS группировка «мутит воду» в нашей спокойной ионосфере?



Hernandez-Pajares M. Medium-scale traveling ionospheric disturbances affecting GPS measurements: Spatial and temporal analysis. // M. Hernandez-Pajares, J. M. Juan, J. Sanz // J. Geophys. Res. - 2006. - Vol. 111. P. A07S11. doi:10.1029/2005JA011474.

Chen G. A statistical analysis of medium-scale traveling ionospheric disturbances during 2014-2017 using the Hong Kong CORS network. // G. Chen, C. Zhou, Y. Liu et al. // Earth Planets Space - 2019. - Vol. 71. No 52. doi:10.1186/s40623-019-1031-3

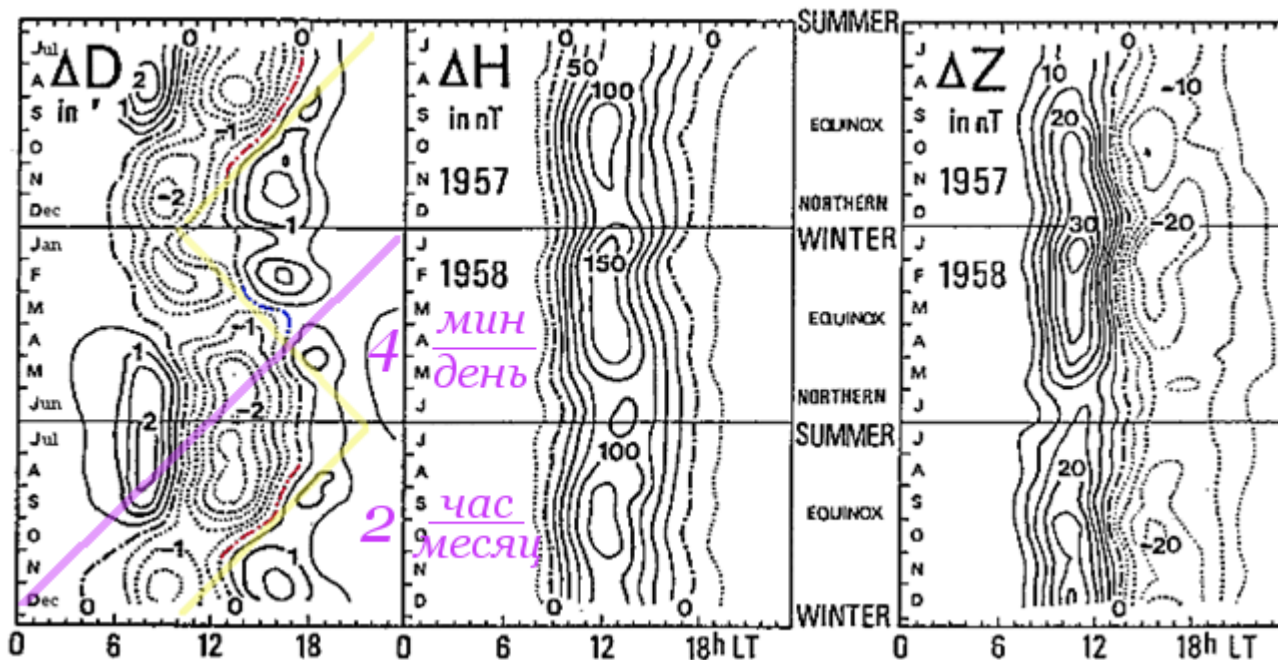
Данные о GPS ПЭС над Гонконгом



Таинства Sq токовых систем и их многогранных отклонений

суточный ход (отклонения от среднесуточных значений) трех компонент геомагнитного поля в Короре в спокойные дни МГТ

► Где
логика ?



Fukushima, N. (1994). Some topics and historical episodes in geomagnetism and aeronomy. *Journal of Geophysical Research*, 99(A10), 19113–19142. <https://doi.org/10.1029/94JA00102>

В данной работе подчеркивается, что необходимо уделять больше внимания изменению магнитного

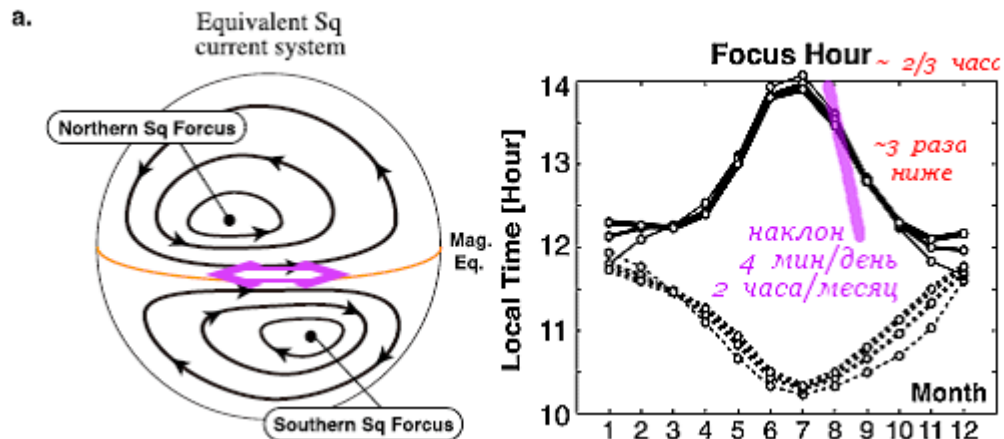
СКЛОНЕНИЯ

(declination), в частности его сезонной зависимости.

“Могущественные” магнитные силы опять “обделили” своим вниманием среднеширотную ионосферу? В пользу сверкающей авроральной и пузырящейся экваториальной ионосфер?

о происхождении слов «геомагнетизм» и «аэрномия» от Генерального секретаря IAGA в 1975–1983 гг

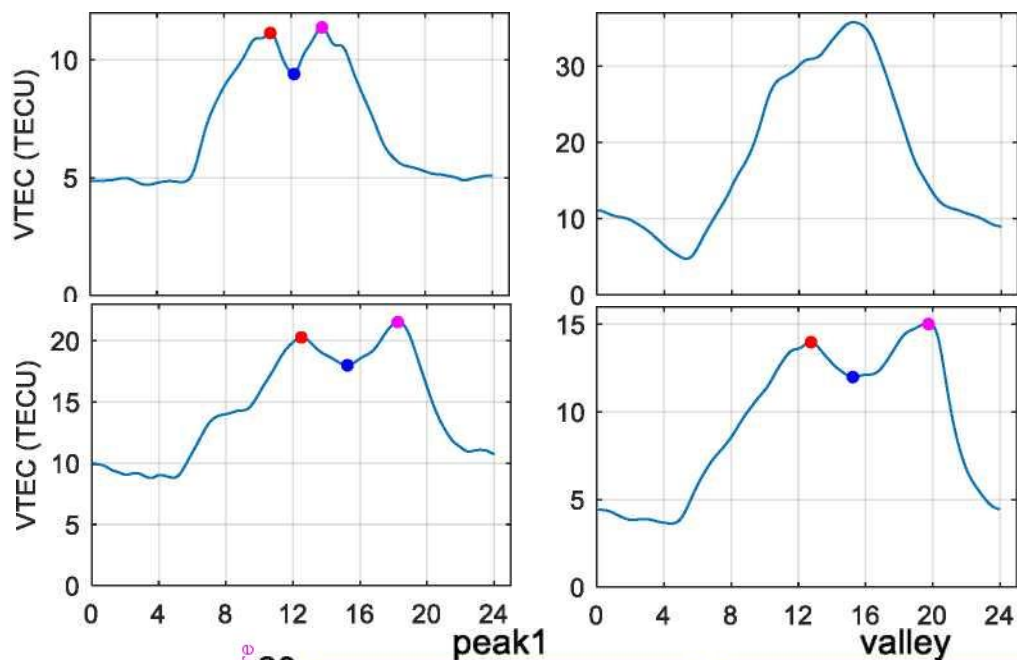
Движение фокусов Sq токовых вихрей более медленное



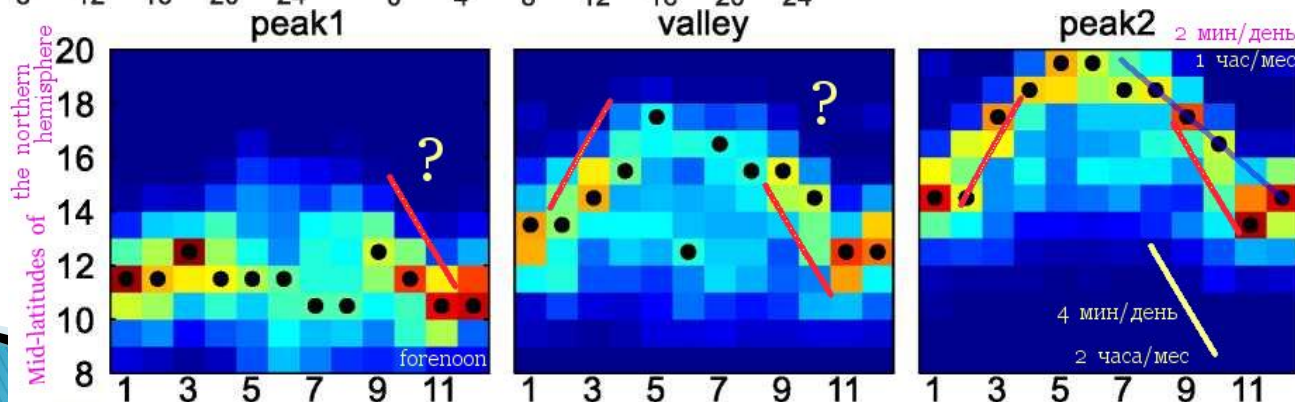
Yamazaki, Y., Yumoto, K., Cardinal, M.G., Fraser, B.J., Hattori, P., Kakinami, Y., Liu, J.Y., Lynn, K.J.W., Marshall, R., McNamara, D., Nagatsuma, T., Nikiforov, V.M., Otadoy, R.E., Ruhimat, M., Shevtsov, B.M., Shiokawa, K., Abe, S., Uozumi, T., Yoshikawa, A. An empirical model of the quiet daily geomagnetic field variation (2011) Journal of Geophysical Research: Space Physics, 116 (10), статья № A10312, . Цитировано 58 раз. DOI: 10.1029/2011JA016487

А ведь ещё имеются токи DP2, прямые и встречные электроджеты, day-to-day изменчивость

А вот выкусы/ отпады (**bite-out**) тропической ионосферы (под Veidou углом наблюдений) – другое дело

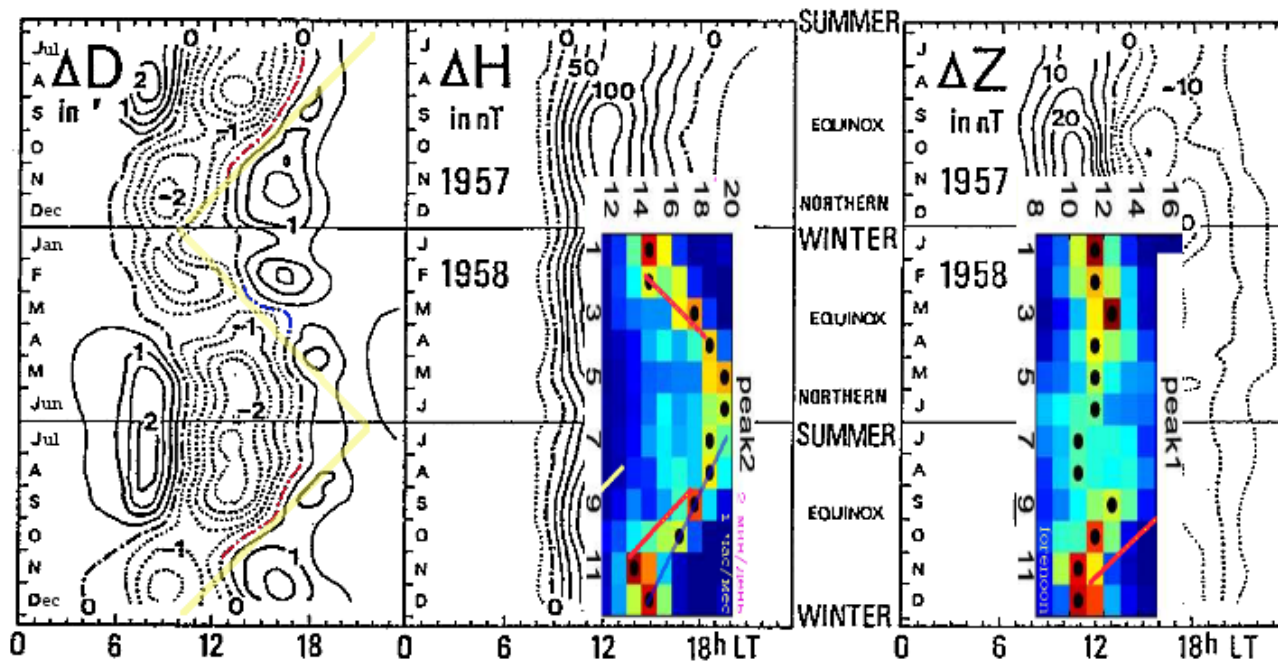


Wang, R., Chen, P., Yao, Y., An, Z., Wang, Z. (2022), Research on the ionospheric diurnal Double-Maxima patterns in Asia-Australian area based on the VTEC observations of BDS geostationary satellites, Advances in Space Research, 69 (10), pp. 3705–3716. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.041>

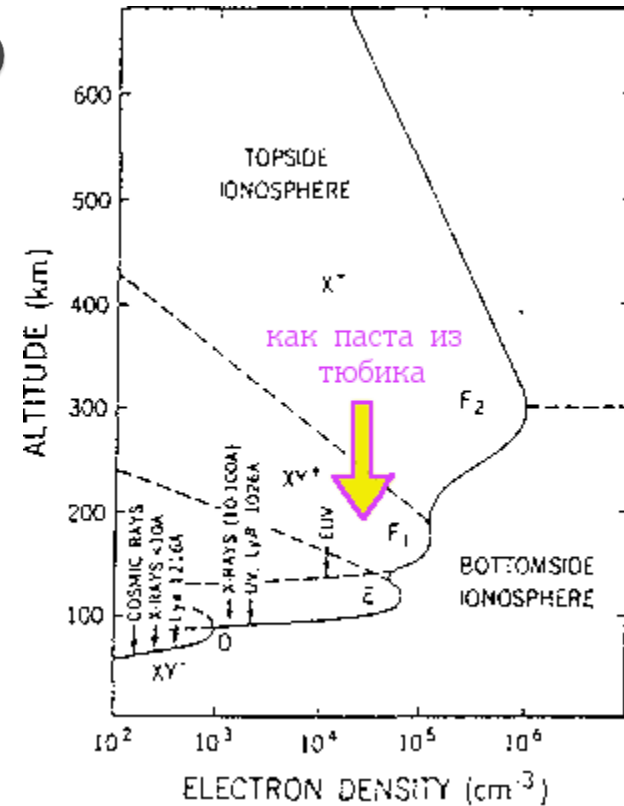
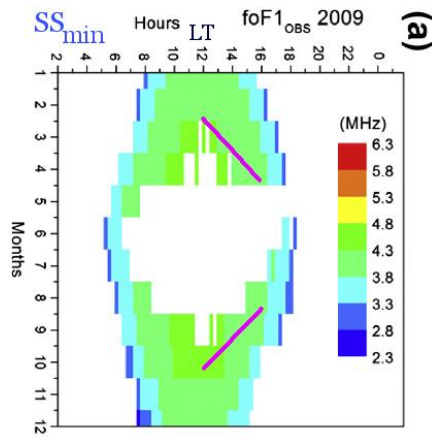
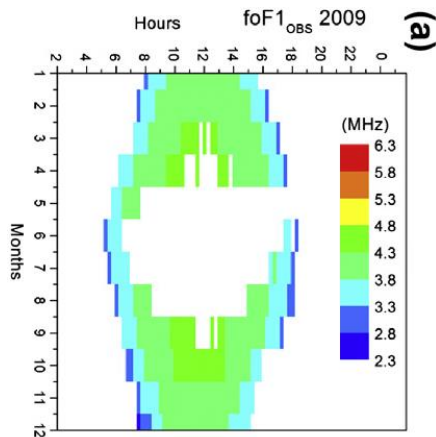


Склонение и выкус – братья на век?

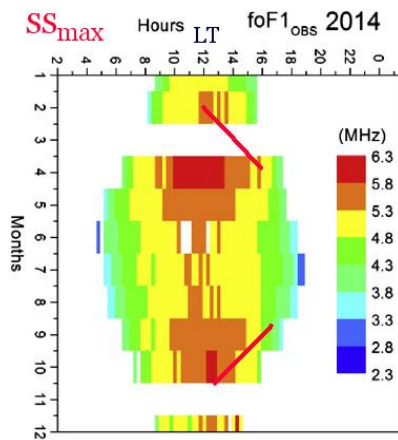
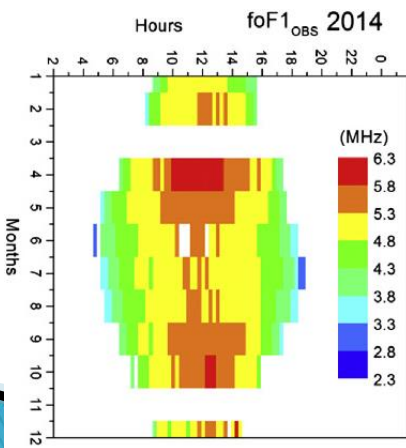
► Где
логика ?



На всех ли хватает второго подбородка ионосферы – F1?



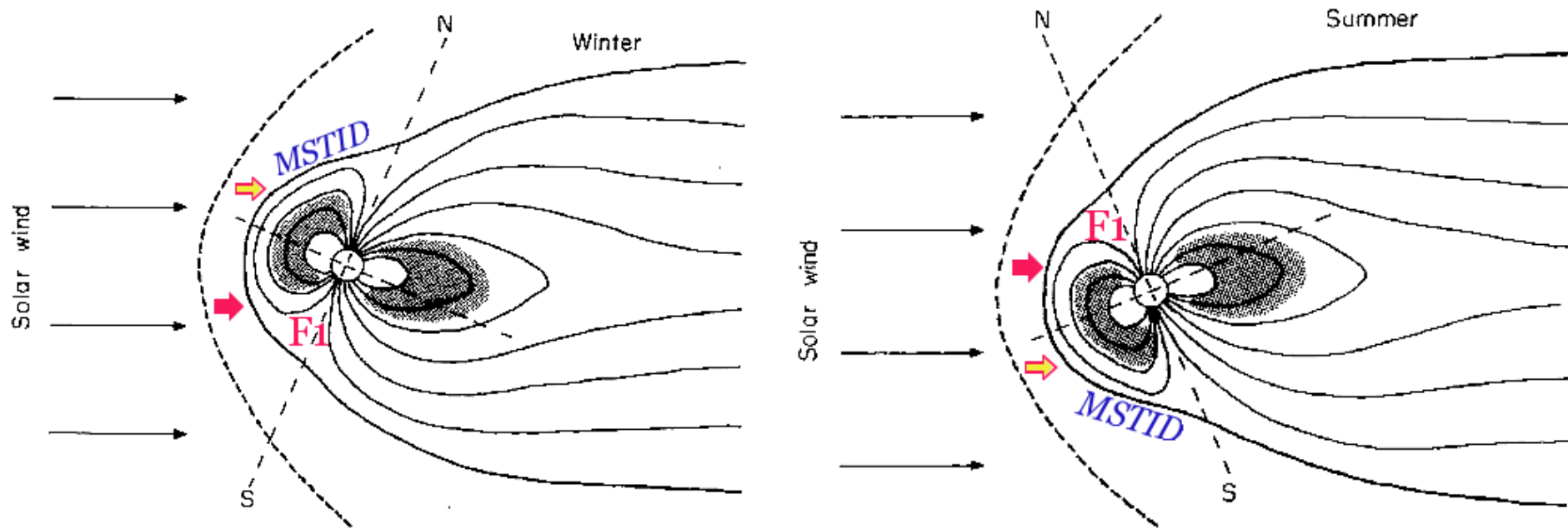
Есть ли в Никосии F1 летом? Только в солнечном максимуме?



Mostafa, M.G., Haralambous, H., Oikonomou, C. Evaluation of IRI predicted characteristics of ionospheric F1 layer by ionosonde observations in Nicosia, Cyprus (2017) Advances in Space Research, 59 (6), pp. 1548–1558. DOI: 10.1016/j.asr.2016.12.021

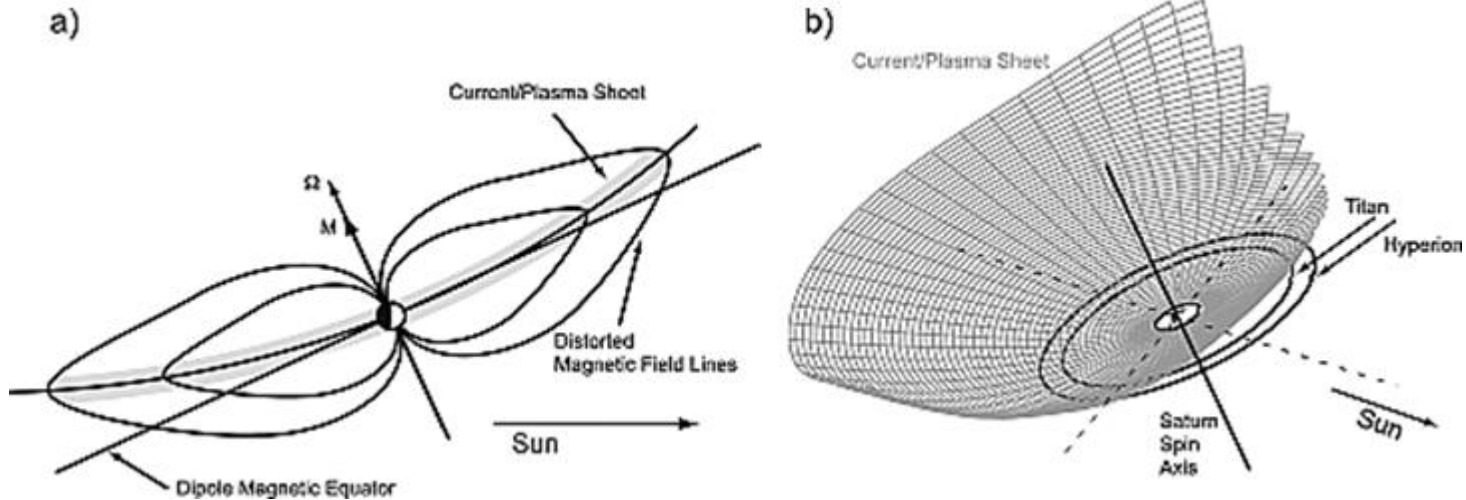
Конкуренция средних и тропических широт за наличие у них F1 или давление Кольца тока

Наклон кольцевого тока и его сезонные вариации по версии Малина–Ишикары. Или «битва» годовых вариаций с полугодовыми.

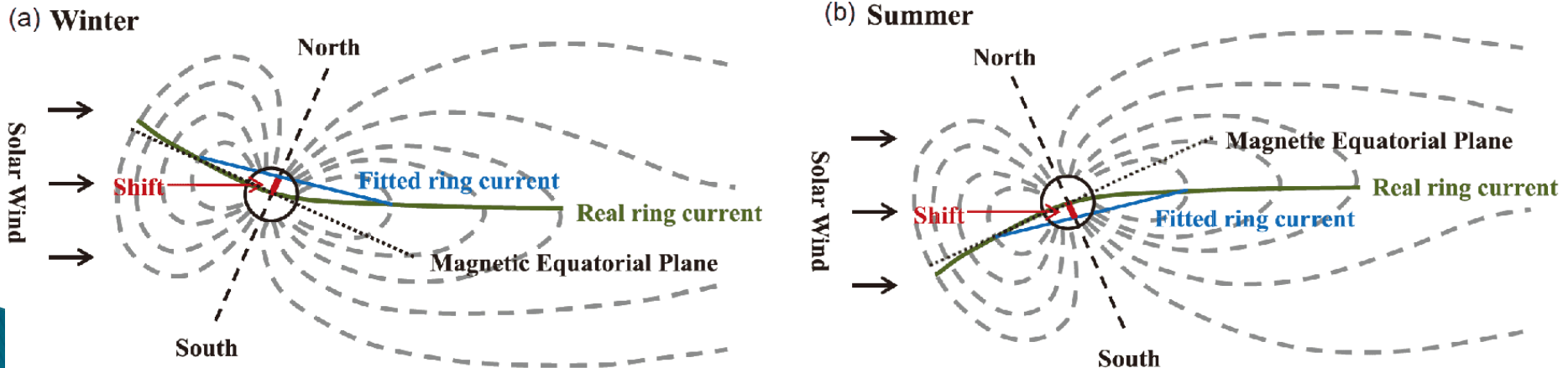


Не зарыты ли тут ответы на вопросы о происхождении выкусов/ отходов и зимней аномалии?

Чарующая чашеподобность изогнутого токового кольца, подсмотренная у Сатурна

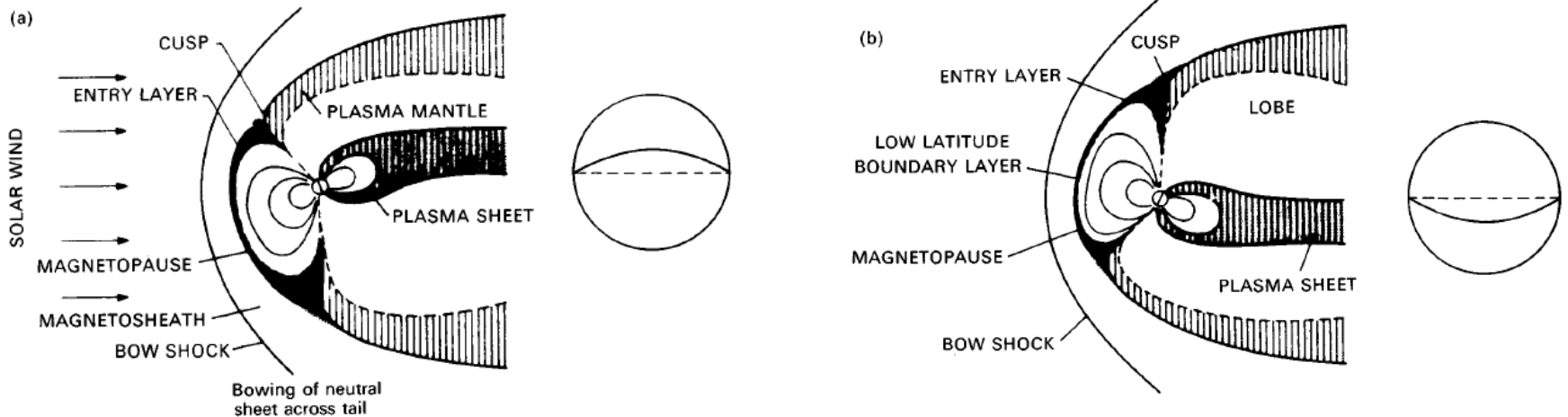


Arridge, C. S., K. K. Khurana, C. T. Russell, D. J. Southwood, N. Achilleos, M. K. Dougherty, A. J. Coates, and H. K. Leinweber (2008), Warping of Saturn's magnetospheric and magnetotail current sheets

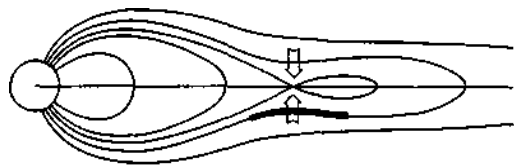


Liu, B., Zhang, X., & He, F. (2019). Tilt of the ring current during the main phases of intense geomagnetic storms.

Ох, как вертится магнитосфера на солнечном ветру! Особенно её хвост!



Hargreaves J.K. (1995) The solar-terrestrial environment—an introduction to geospace—the science of the terrestrial upper atmosphere, ionosphere, and magnetosphere.



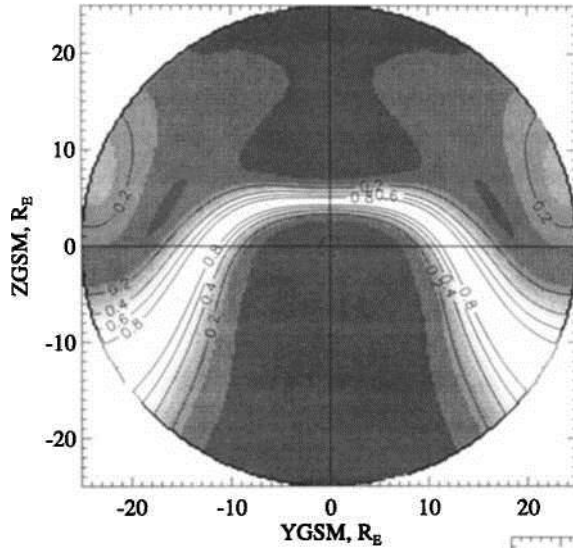
(a)



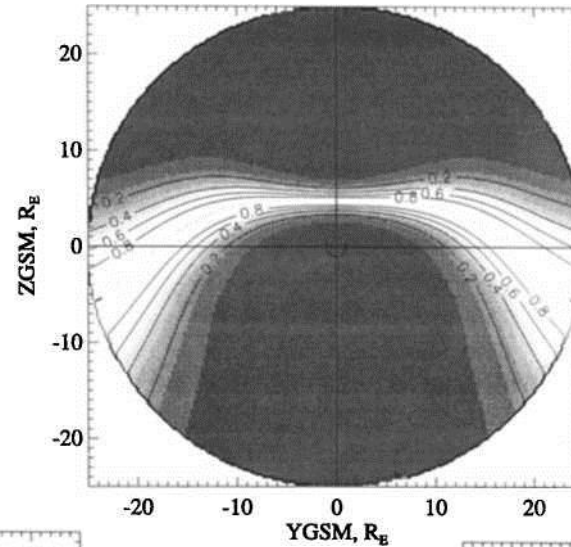
(b)

И хвост не просто гнётся, деформируется так, что нейтральный слой в нём коробится (warp) и скручивается (twist).

Всё необычайно пластично

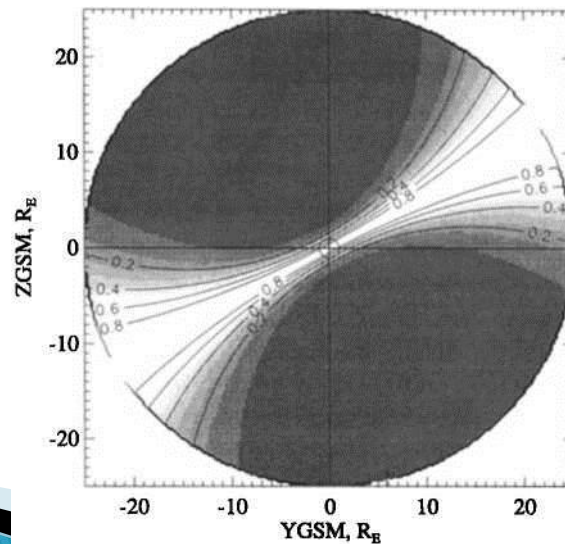


Ближний
ХВОСТ

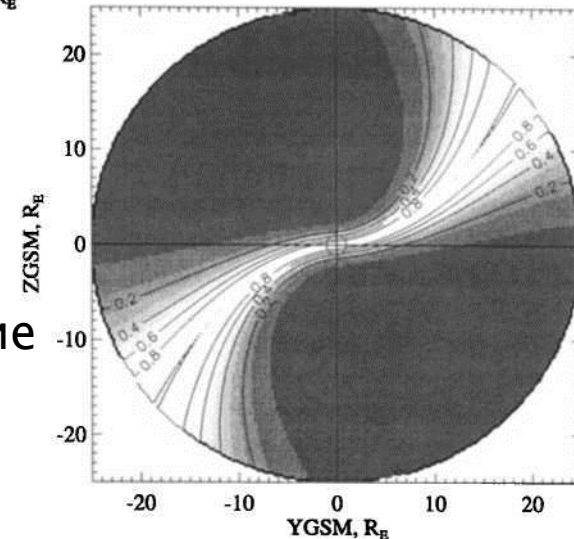


Дальний
ХВОСТ

вращение

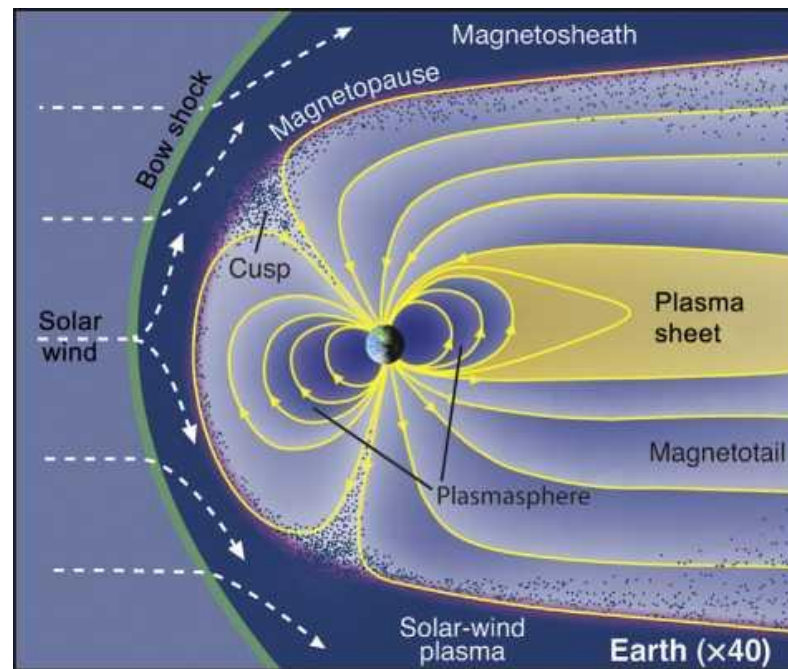
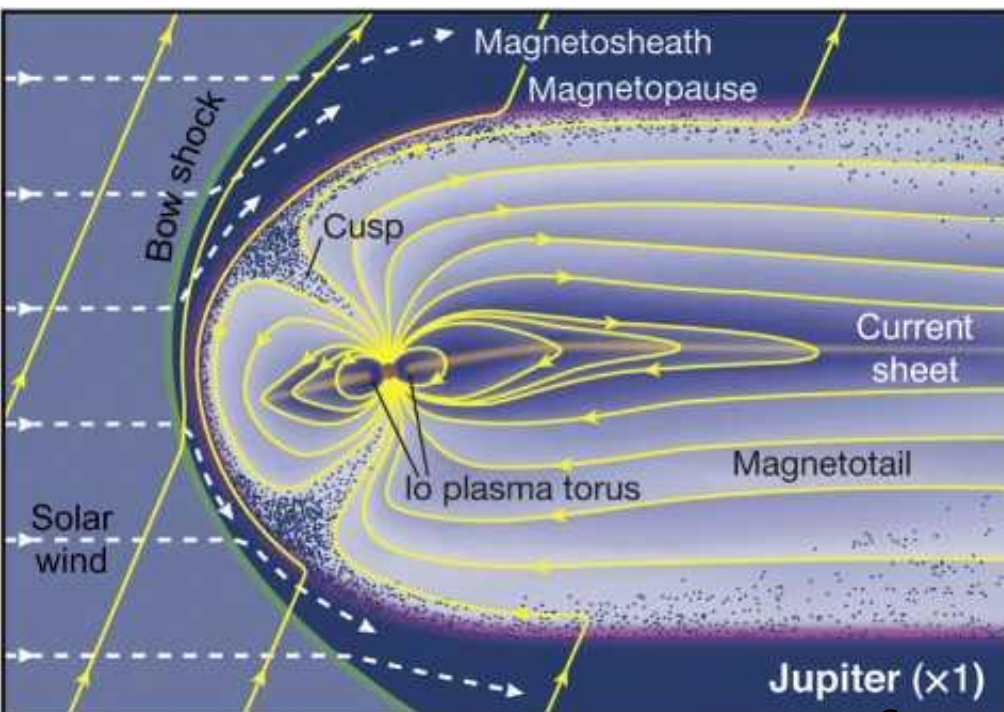


скручивание



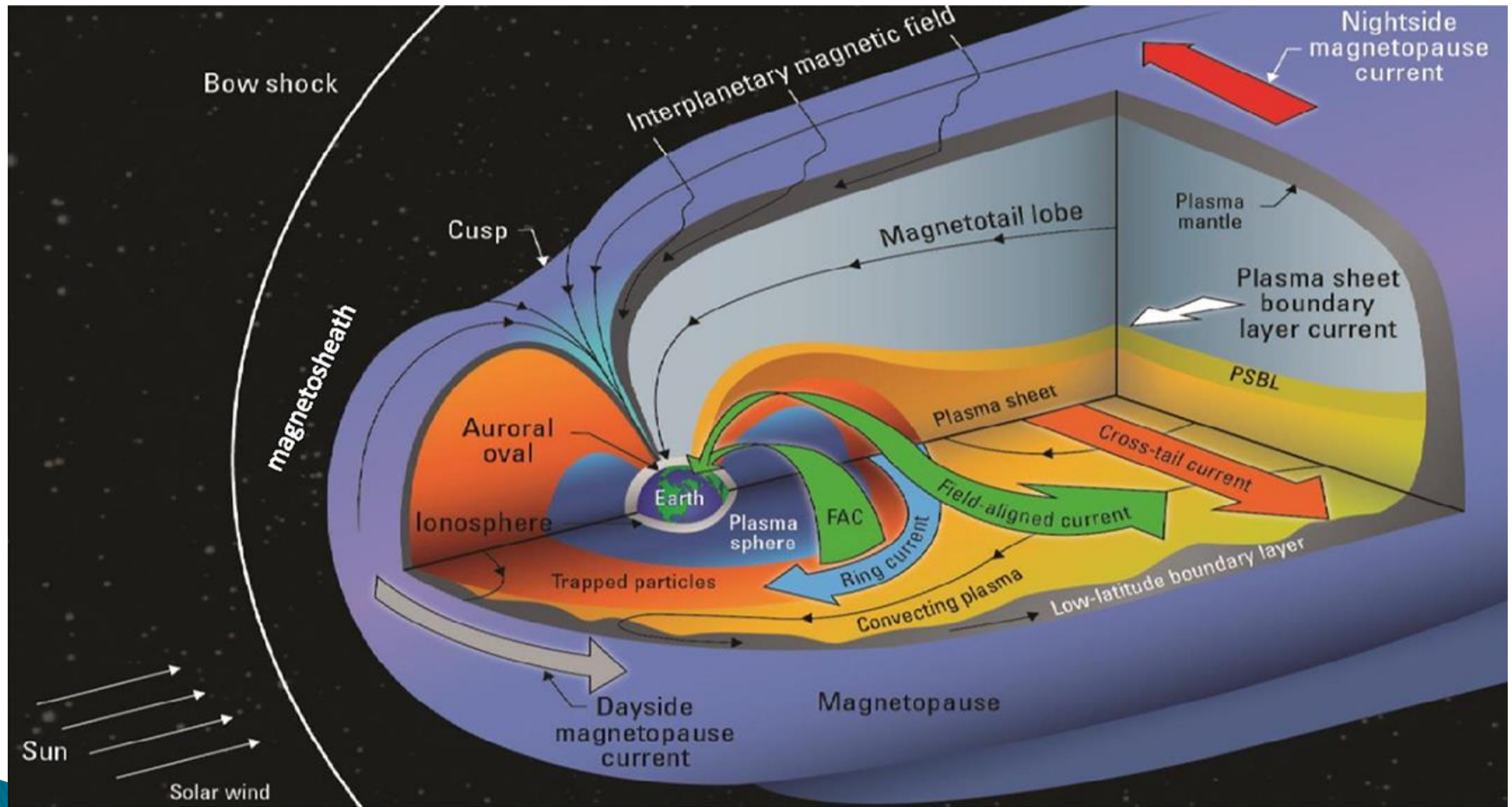
Зато какой сильный кольцевой ток у Юпитера!

Kivelson M. G., F. Bagenal (2014), Chapter 7 – Planetary Magnetospheres,



Сильное внутреннее поле Юпитера в сочетании с относительно низкой плотностью солнечного ветра на расстоянии 5 AU [примерный радиус орбиты Юпитера] делает магнитосферу Юпитера огромным объектом – примерно в 1000 раз больше объема Солнца, с хвостом, простирающимся по крайней мере на 6 а.е. в противосолнечном направлении, за пределы орбиты Сатурна. Если бы магнитосфера Юпитера была видна с Земли, ее угловой размер был бы намного **больше**, чем **размер** Солнца, хотя она находится по крайней мере в четыре раза дальше.

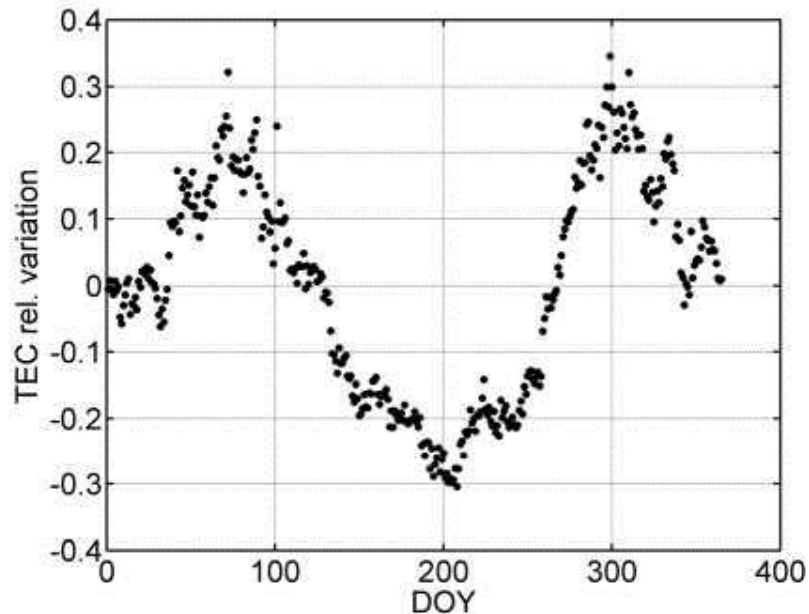
Зато как всё красиво, когда магнитосфера представлена в анатомическом разрезе с порезанными покровами и прожилками из токовых листов



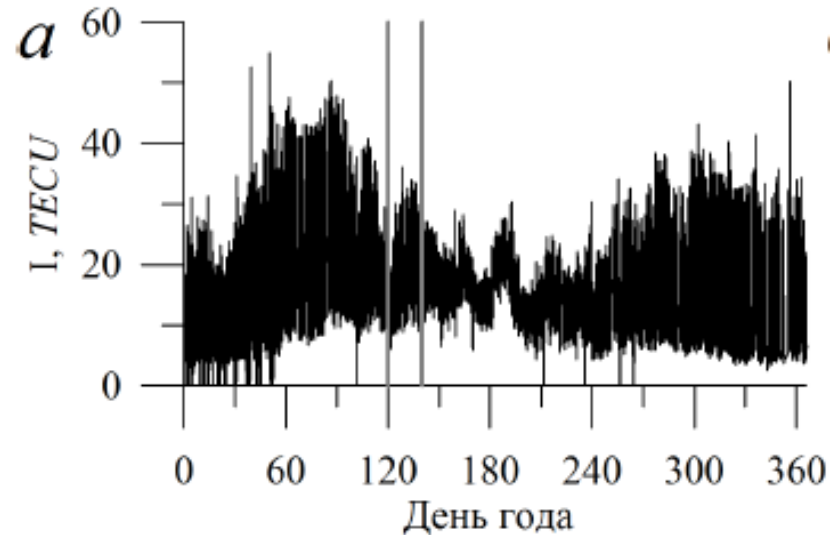
Странные полугодовые вариации ПЭС с максимумами в равноденствия

► В авторской редакции

Импортные относительные
Аспиликуэта

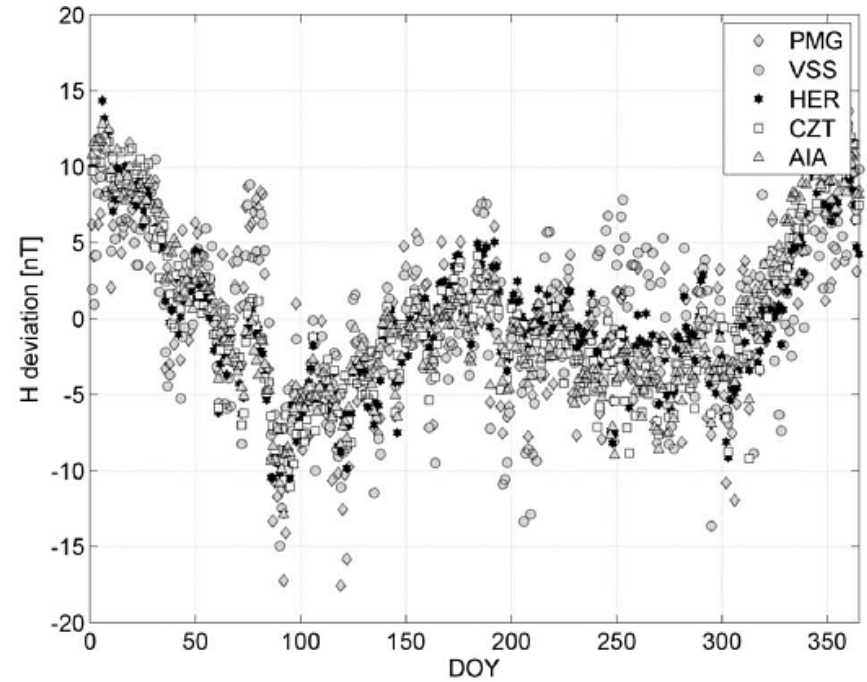
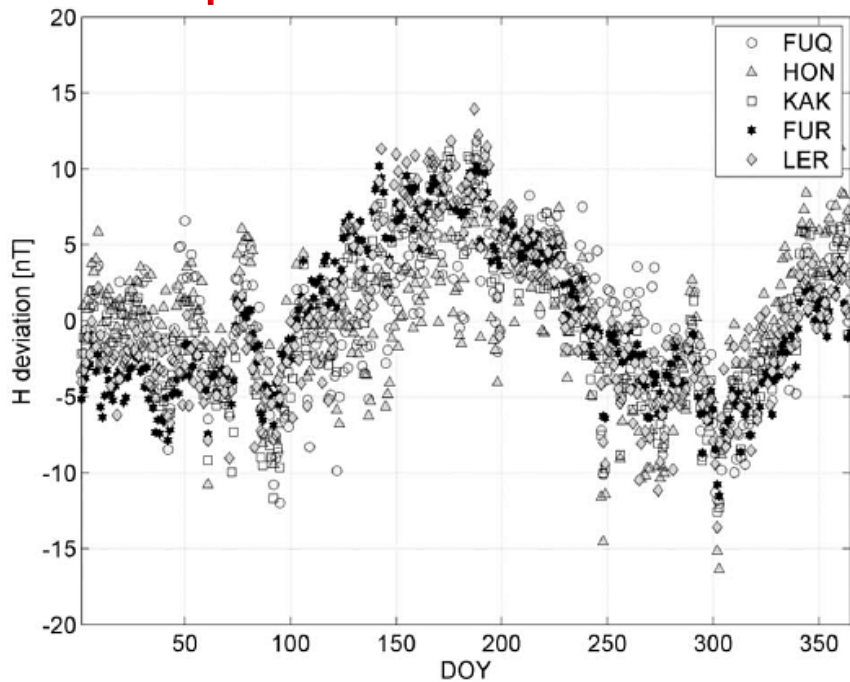


Отечественные абсолютные



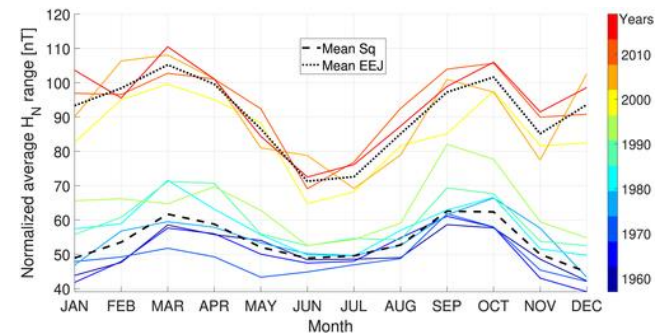
Azpilicueta, F., & Brunini, C. (2011). A new concept regarding the cause of ionosphere semiannual and annual anomalies

Странные полугодовые вариации горизонтальной составляющей магнитного поля (H-составляющей) с межполушарной противофазностью и максимумами в **СОЛНЦЕСТОЯНИЯ**

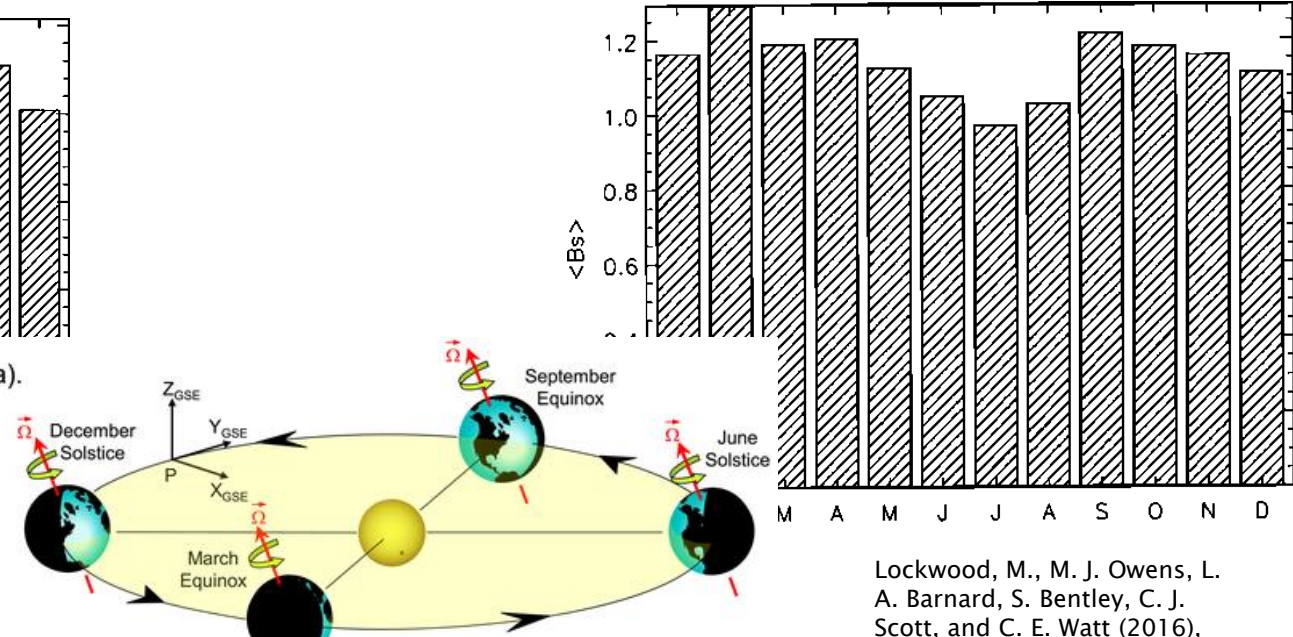
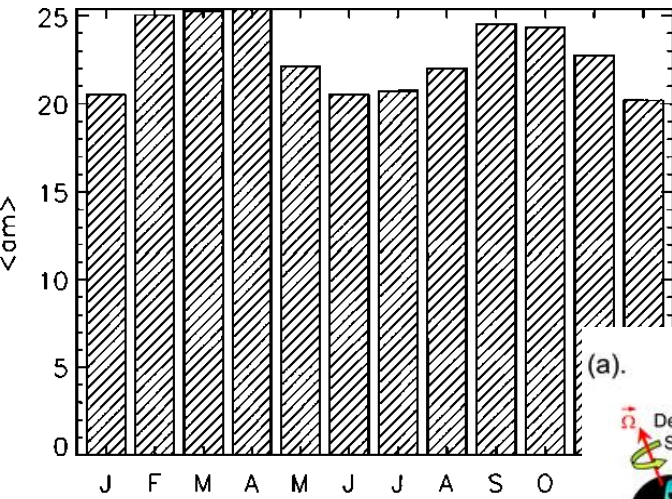


Azpilicueta, F., and C. Brunini (2012), A different interpretation of the annual and semiannual anomalies on the magnetic activity over the Earth

Со схожими откликами в Sq и EEJ

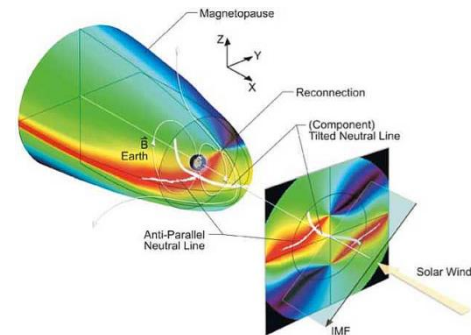
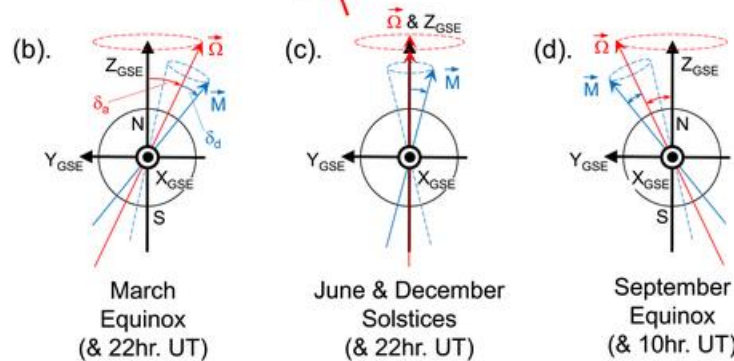
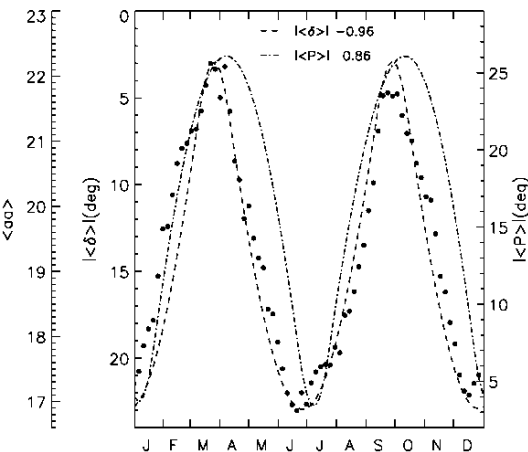


Давно наблюдаемые полугодовые вариации геомагнитных индексов максимума в равноденствия



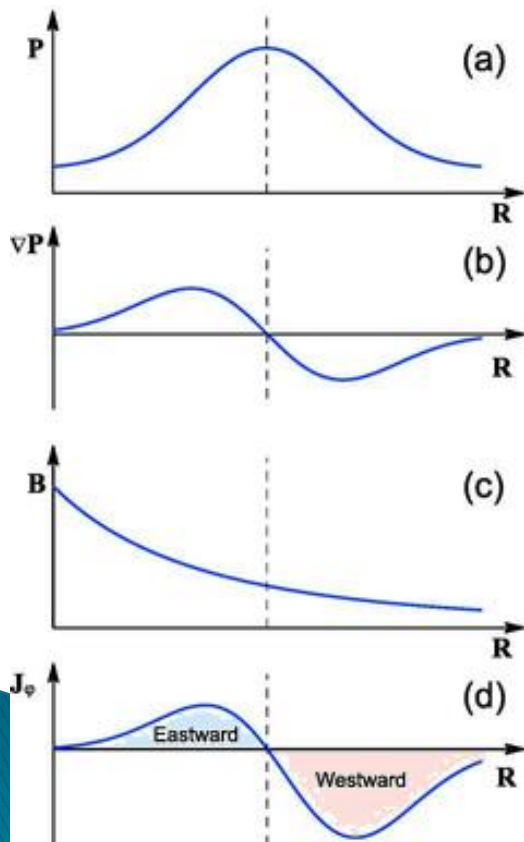
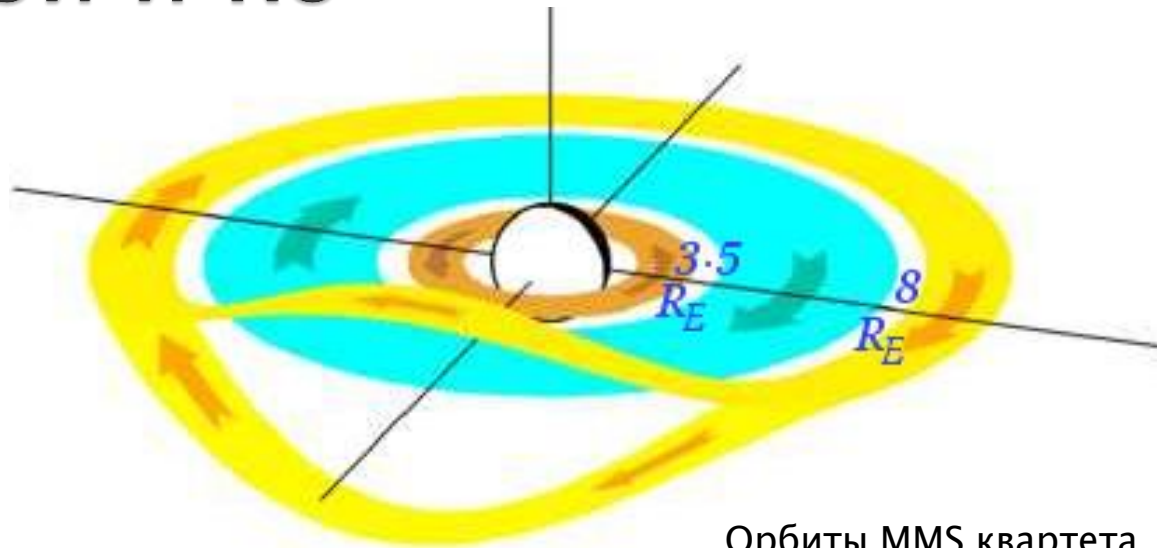
Cliver, E.W., Y. Kamide, and A.G. Ling (2000), Mountains versus valleys: The semiannual variation of geomagnetic activity

Lockwood, M., M. J. Owens, L. A. Barnard, S. Bentley, C. J. Scott, and C. E. Watt (2016), On the origins and timescales of geoeffective IMF

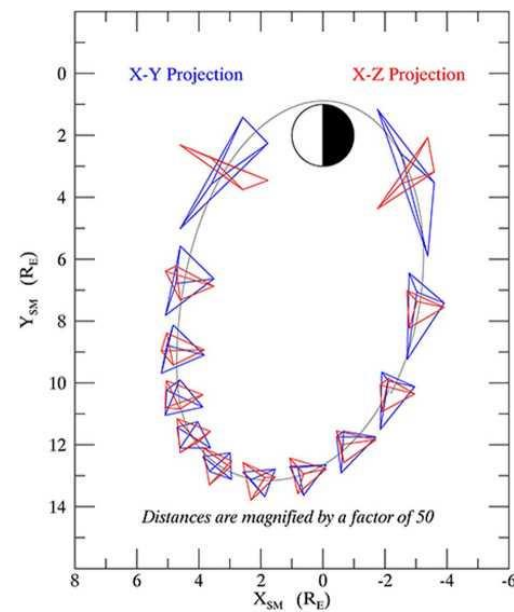
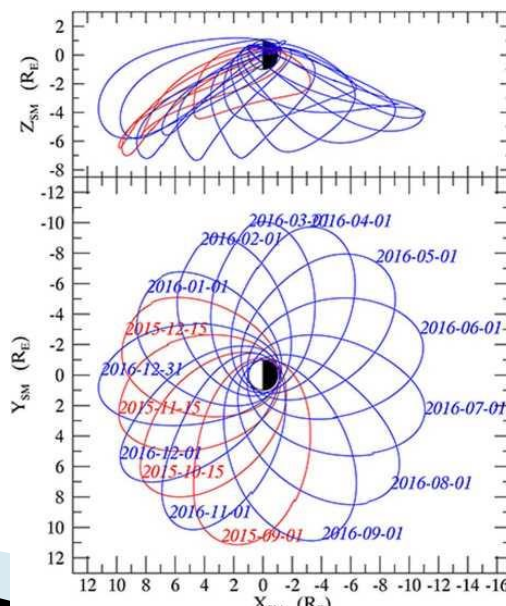


Кольцевой ток в иллюстрациях Ганюшкиной и Ко

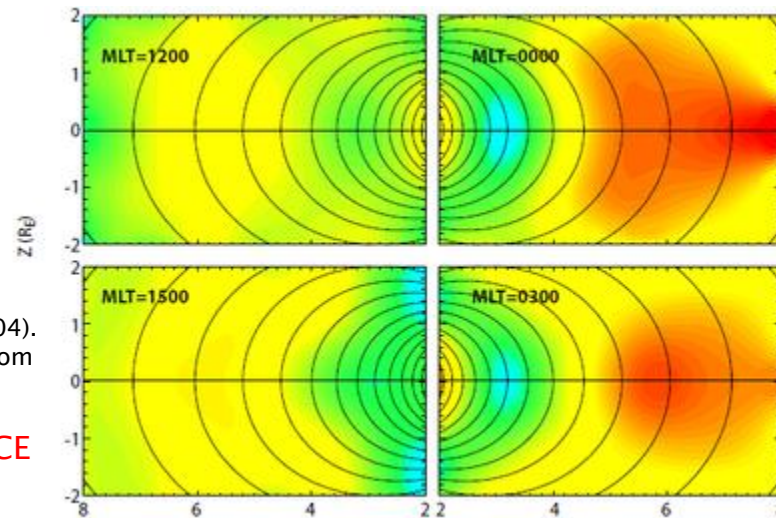
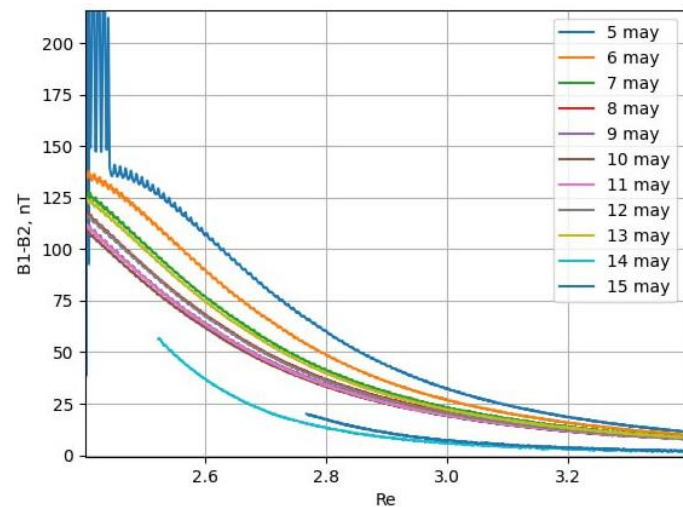
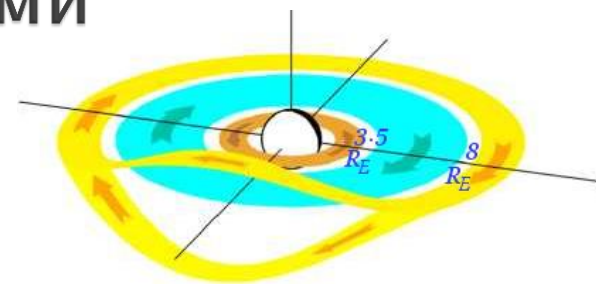
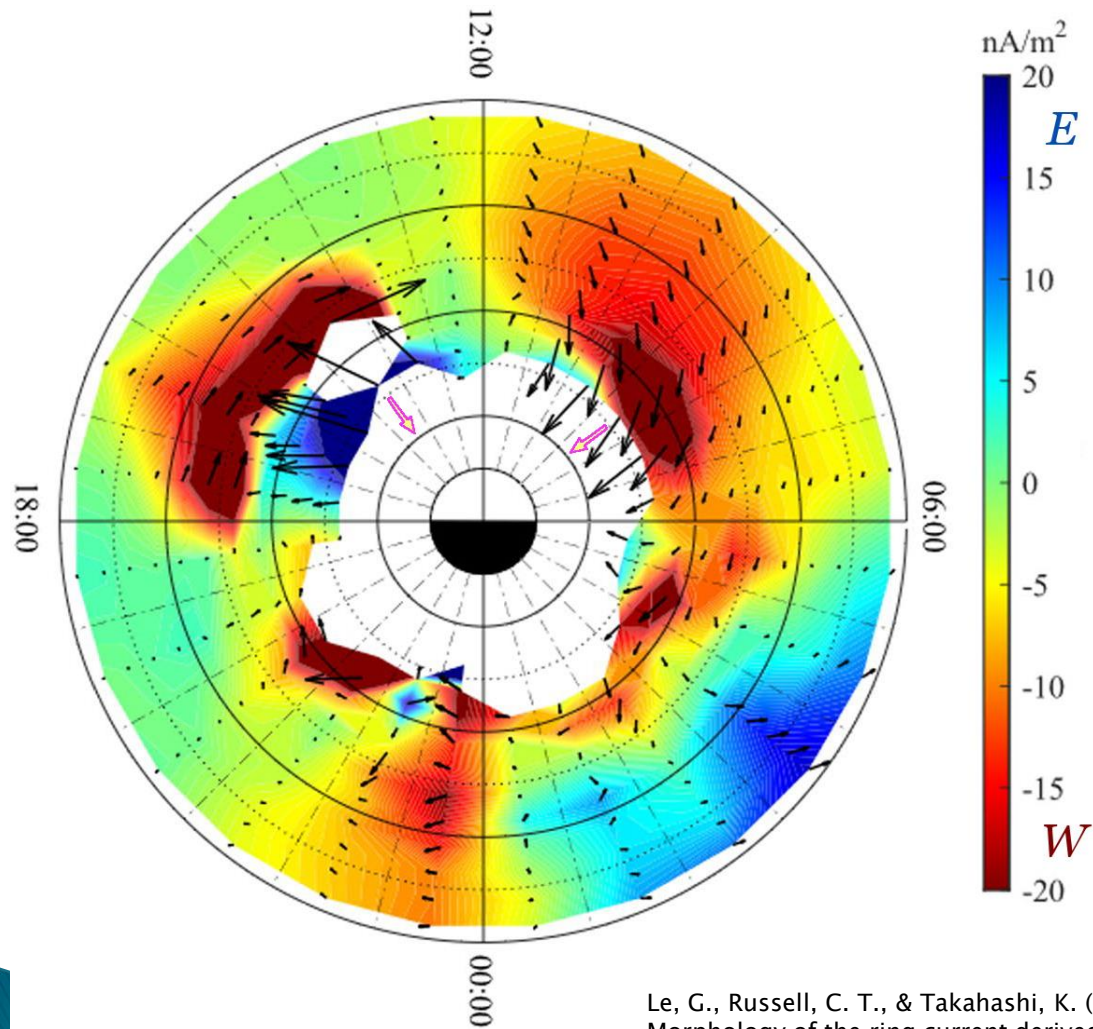
Ganushkina, N. Y., Liemohn, M. W., & Dubyagin, S. (2018). Current systems in the Earth's magnetosphere



Орбиты MMS квартета



Кольцевой ток глазами и катушками магнетометров MMS



Le, G., Russell, C. T., & Takahashi, K. (2004). Morphology of the ring current derived from magnetic field observations

Tan, X., Dunlop, M. W., Dong, X.-C., et al. (2023). Ring current morphology from MMS observations

from ISEE, AMPTE/CCE and Polar missions

Выводы

- ▶ 1. Высотные параметры дневных среднеширотных СМ ПИВ (отражающих сжатие хвостовой части следа слоя F) осенью находятся в тесной связи с вариациями склонения и выкусов в тропиках.
- ▶ 2. Полугодовые вариации горизонтальной составляющей геомагнитного поля H определяются поведением внутреннего кольцевого тока к востоку
- ▶ 3. Полугодовые вариации геомагнитных индексов aa , Dst определяются инжекцией во внешний кольцевой ток к западу.
- ▶ 4. Сезонное поведение внебуравной среднеширотной ионосферы определяется поведением внутреннего кольцевого тока к востоку. (Гипотеза близкая к достоверности)
- ▶ 5. Нужны усилия всего ионосферного сообщества для выдвижения в авангард научного поиска.

Спасибо за
внимание!

