

Связь сезонных вариаций высотных
параметров дневных
среднемасштабных **ПИВ** с сезонными
вариациями **склонения**
геомагнитного поля и наклоном
кольцевого тока

Акчурин А.Д.

Kazan Federal University



Двадцатая международная конференция
Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса
ИКИ РАН 14 - 18 ноября 2022 г.



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

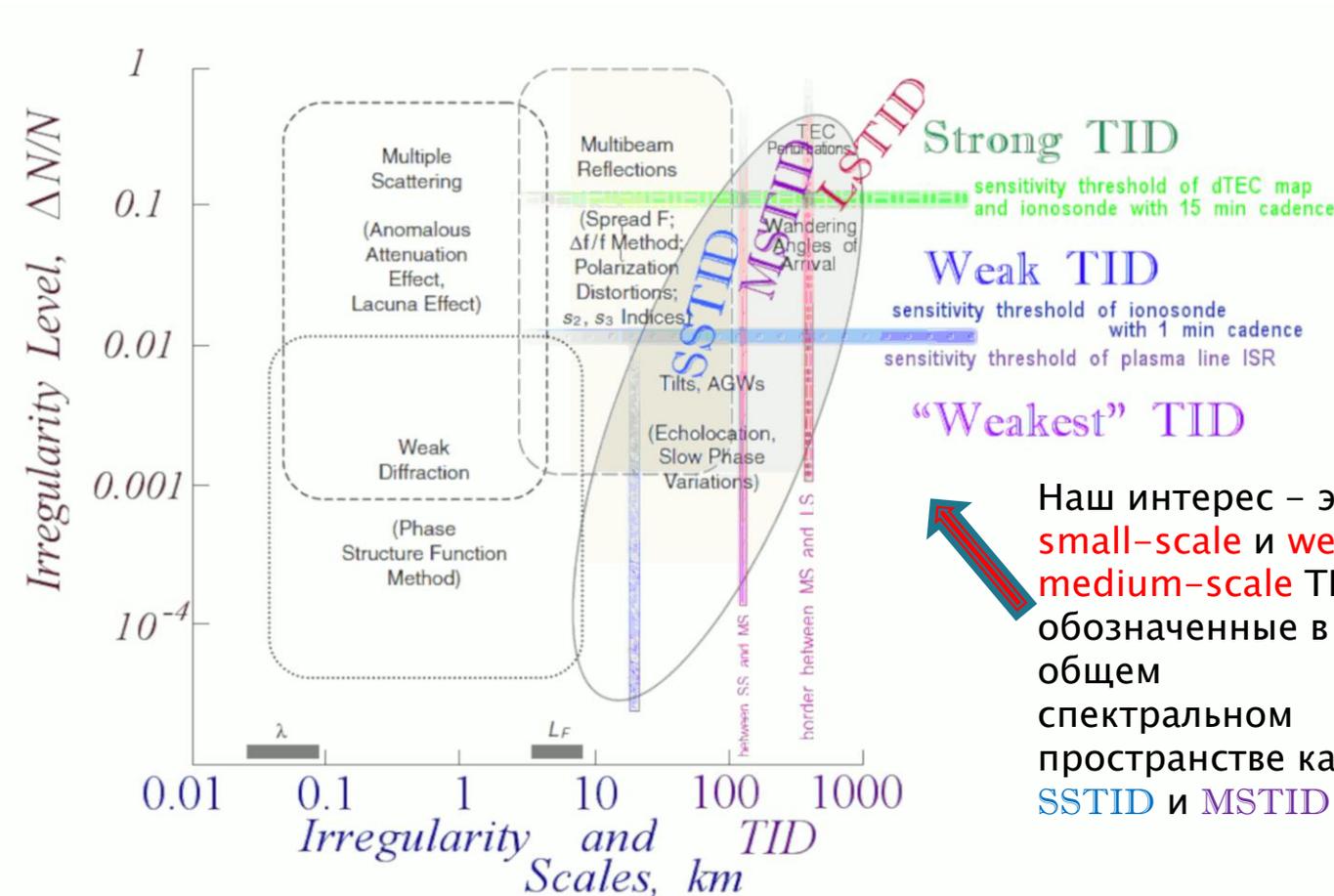
Лишь некоторые из нерешенных вопросов.

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

Как глубоко эти типажи **перекрываются**?

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

Во всем спектре ПИВ мелкомасштабные ММ ПИВ/SSTIDs являются самыми малоисследованными. Как наблюдать SSTIDs на ионограммах? В чем **разница** в проявлениях между SSTIDs и среднимасштабными **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 ПИВ 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 ПИВ/TIDs сделано по значению $\Delta N/N = 10\%$

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

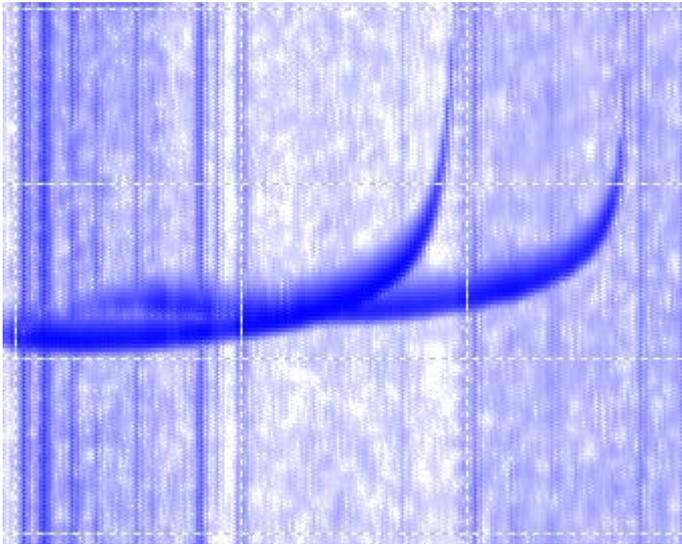
Основные проблемы с объяснением существования дневных среднеширотных ПИБ/TIDs

- ▶ 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.



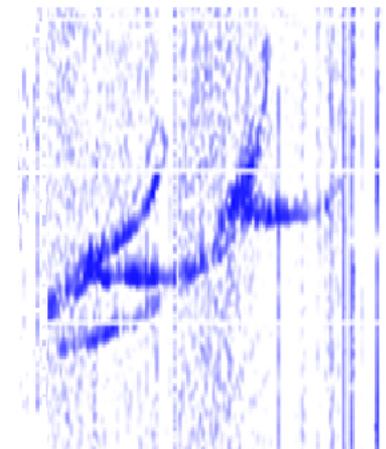
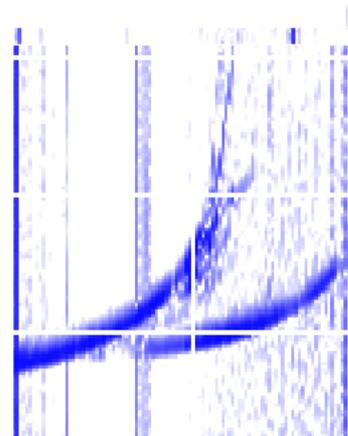
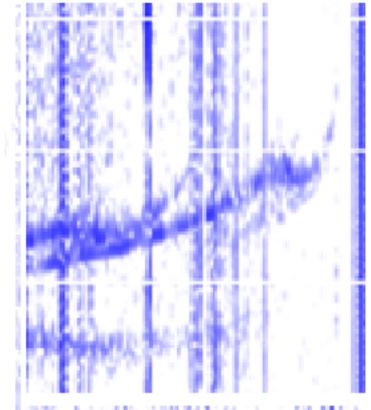
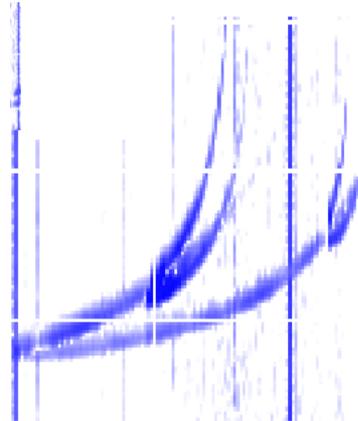
Проявление SSTIDs на ионограммах

Нормальная ионограмма
(касповая дуга F слоя) без
дополнительных следов



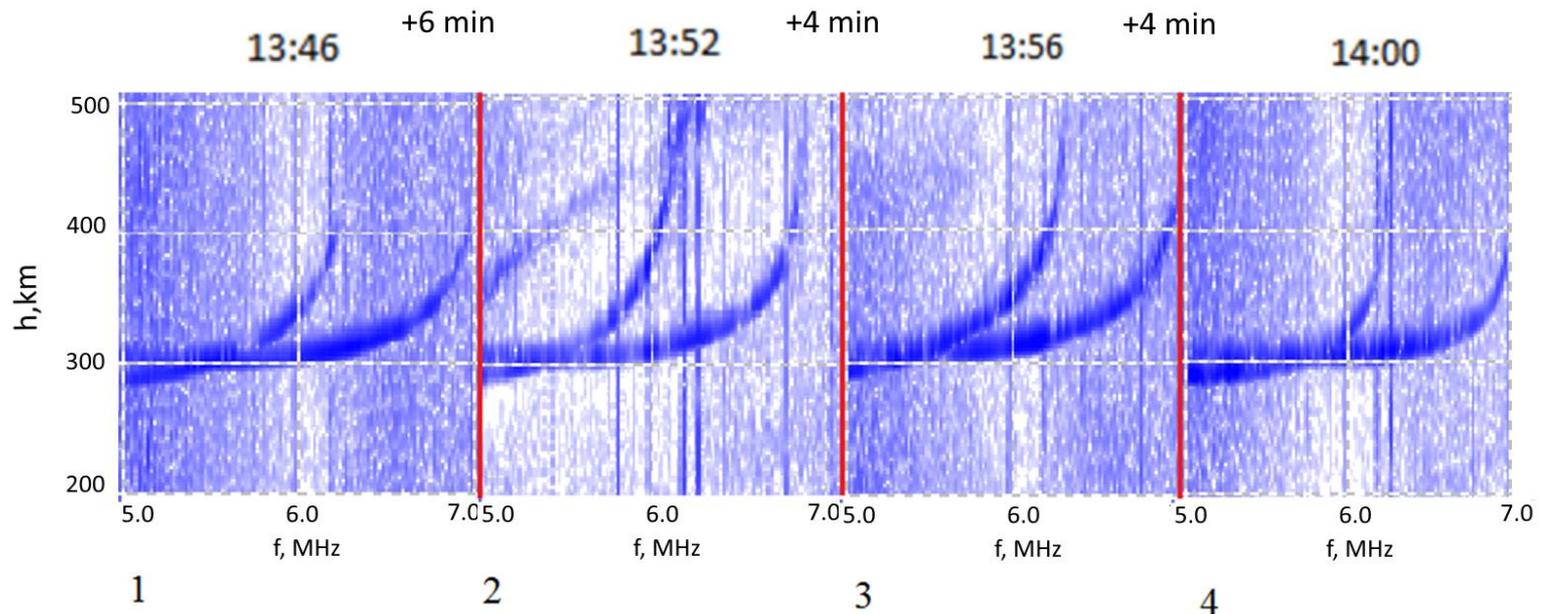
Согласно URSI, среднемасштабные TIDs должны проявляться как наклоны, но они (и особенно, слабые MSTID) часто видны как вариации критической частоты без видимых изменений формы следа слоя F.

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).



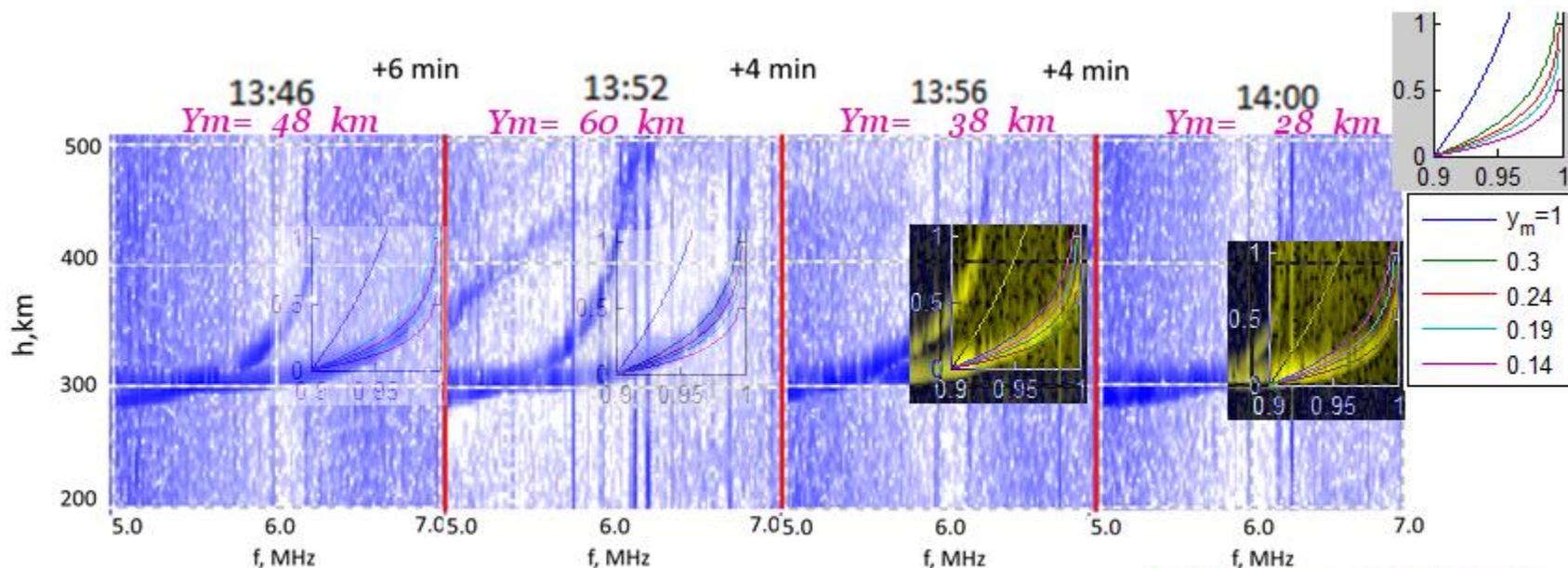
Как обнаружить такие проявления SSTIDs с минимальными компьютерными затратами? Использовать полуширину параб. слоя? Или IRI параметры $V0/V1$?

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)



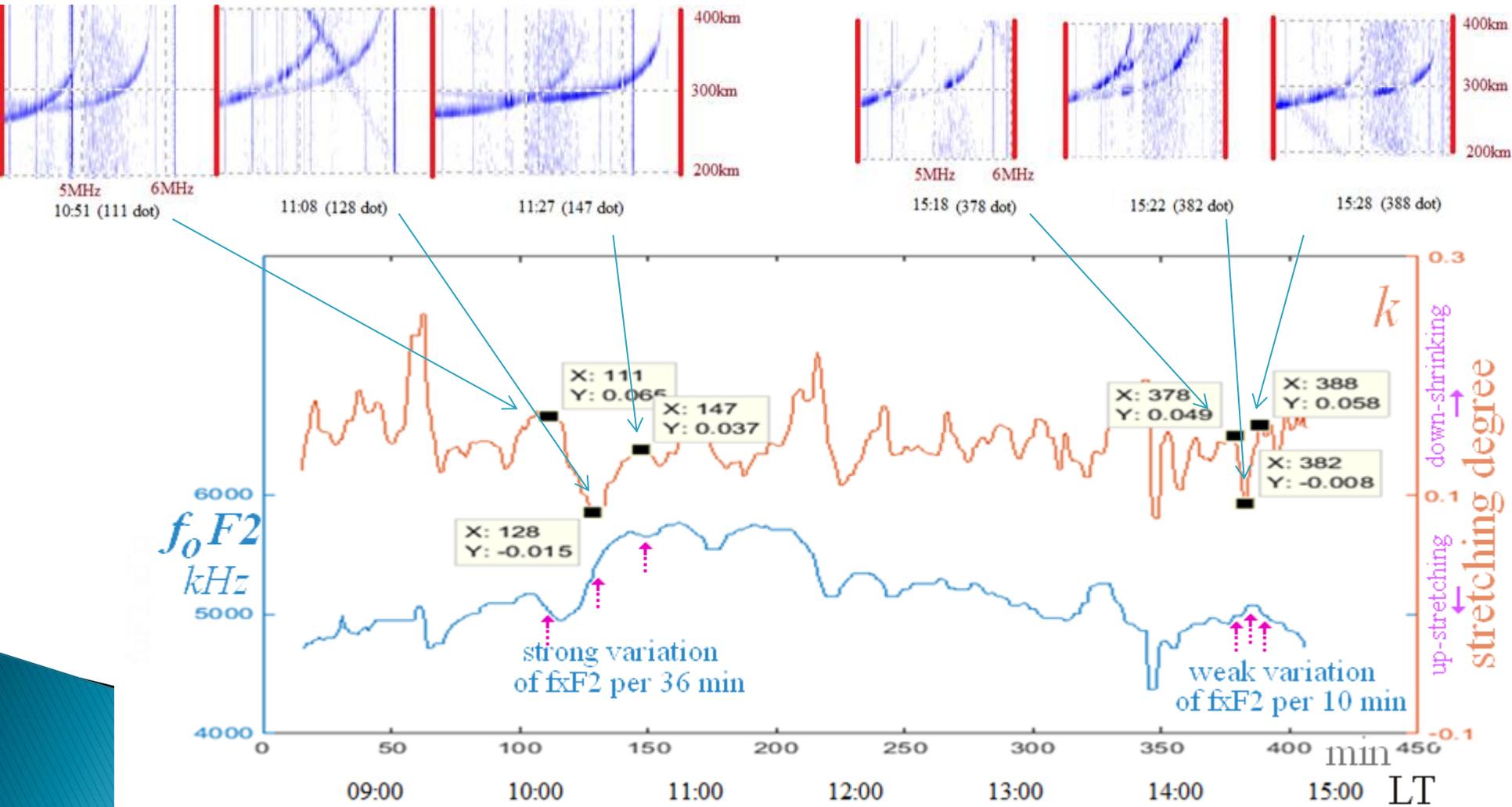
$$h'(x) = y_m \cdot x \cdot \ln \frac{1+x}{1-x} \quad y_m = 0.14 \div 0.3$$

$$4 \quad Y_m = \text{slope} = 200 \text{ km} \cdot y_m$$

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

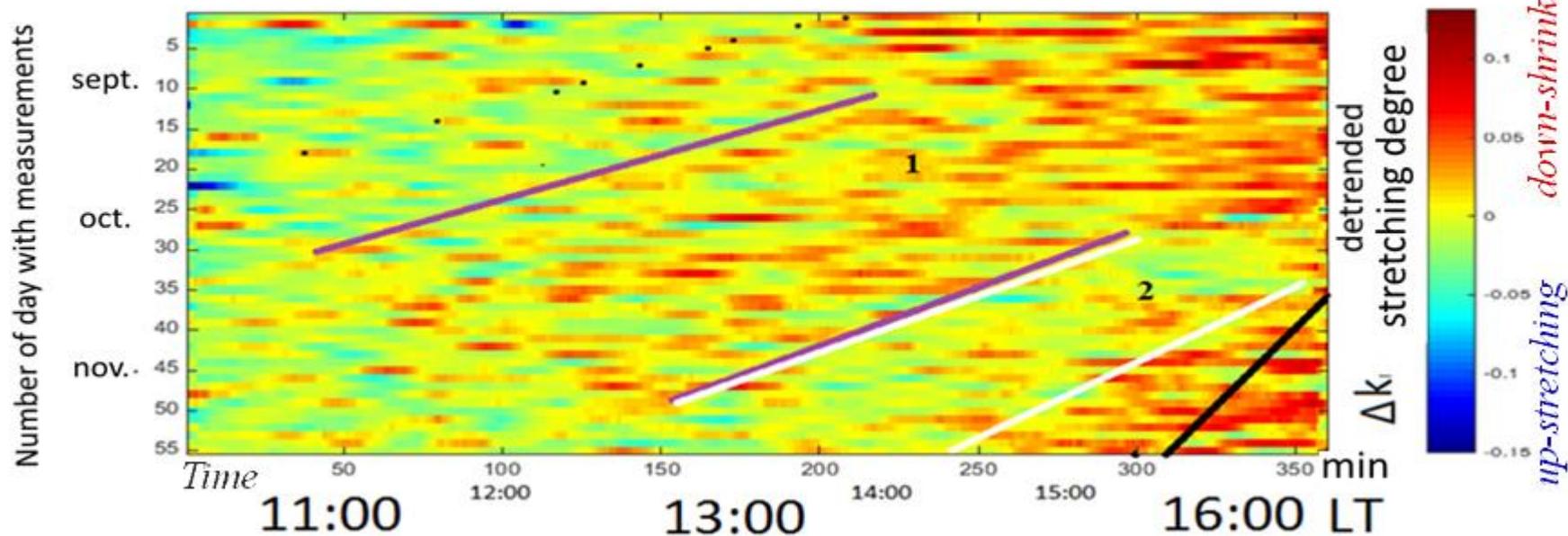
Временные вариации степени сжатия (**shrinking degree**) k следа во время прохода SSTID

- ▶ Два примера с сильной вариацией foF2 со слабой вариацией

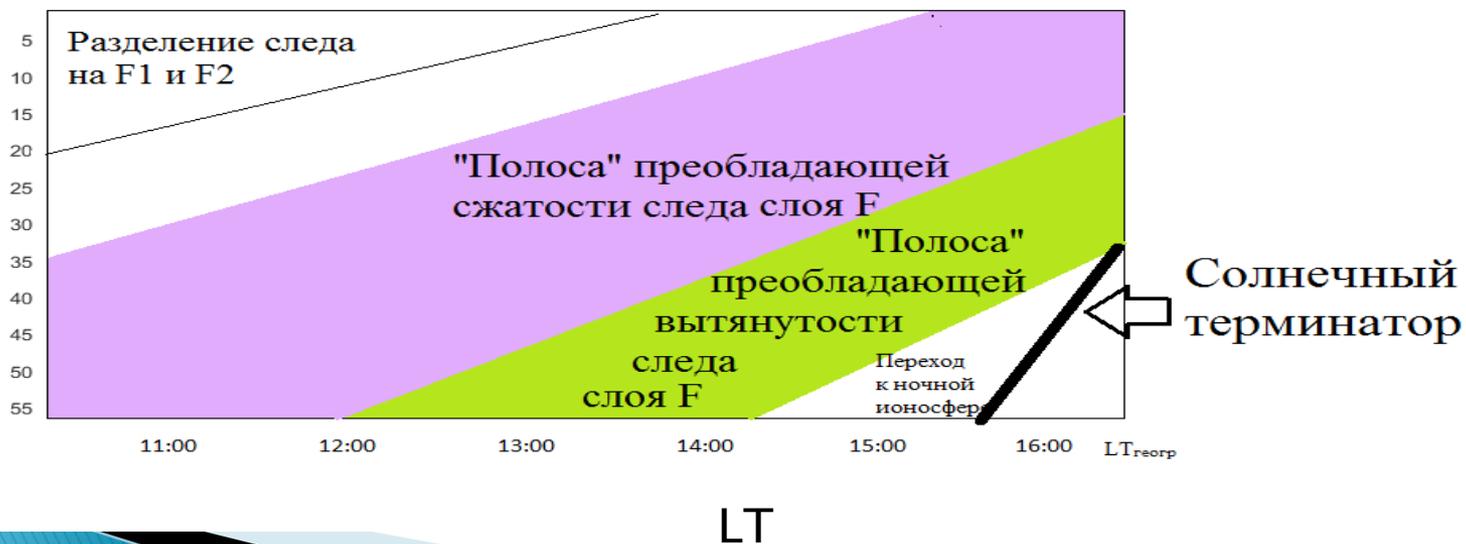


Осенняя картина сжатости хвостовой части касповой дуги слоя F днём

Pattern of Daily seasonal variations of stretching degree

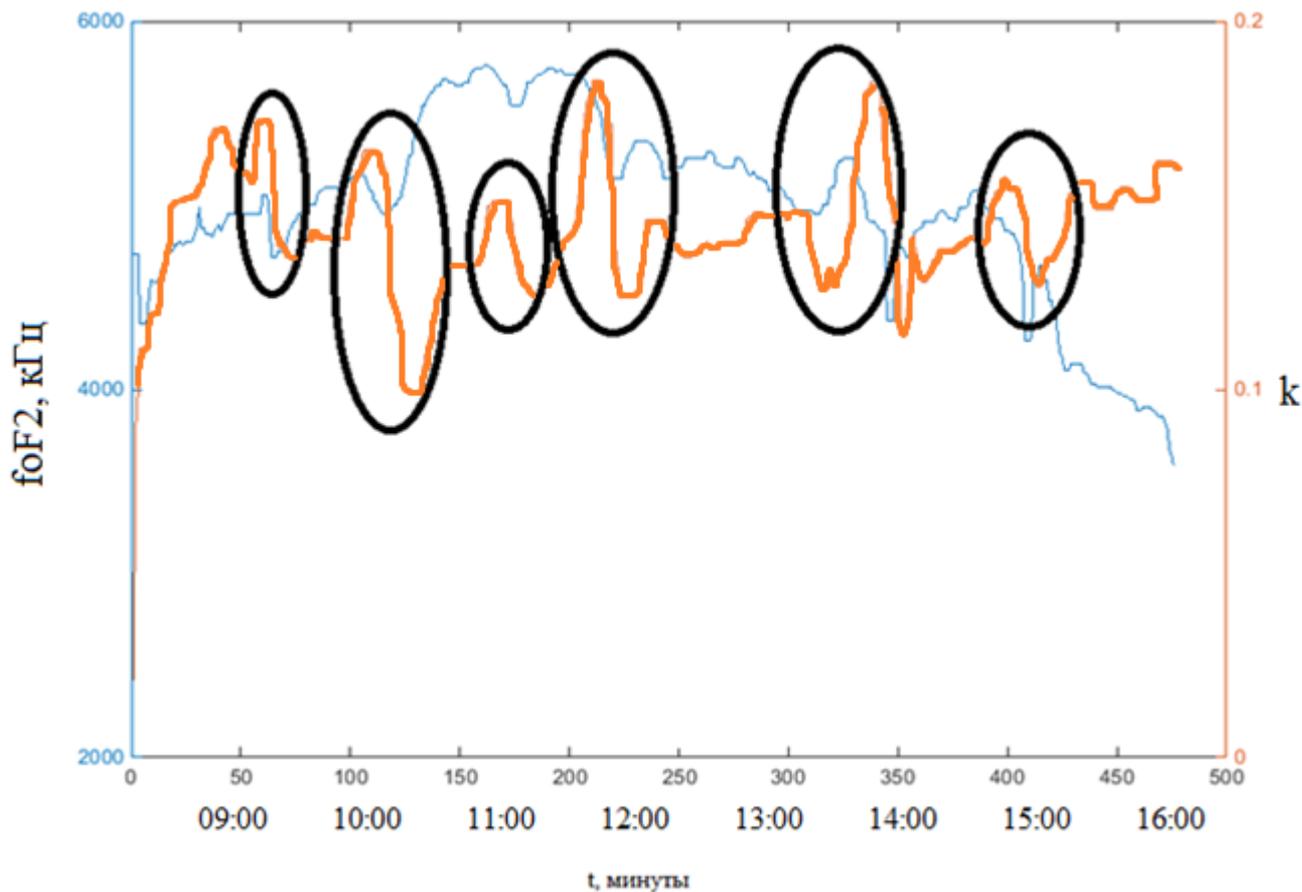
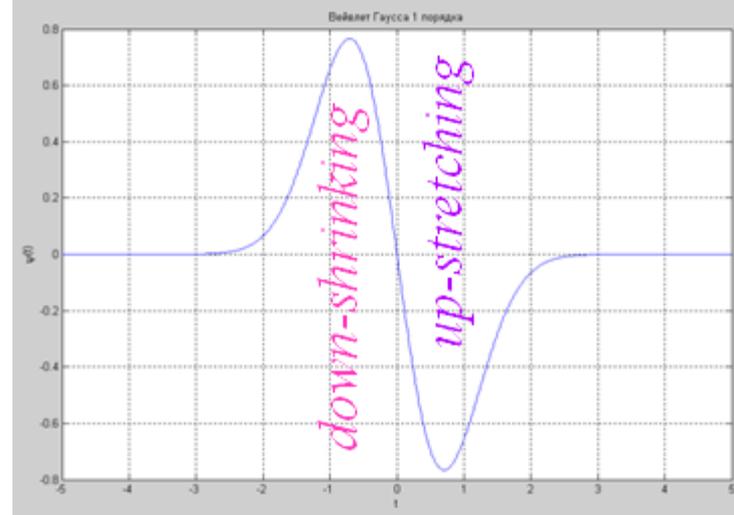


б)



ДНИ ↓

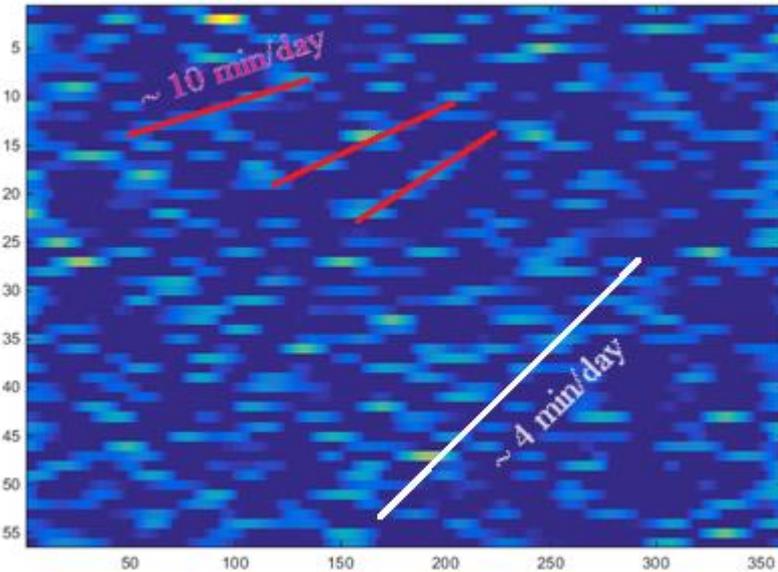
Использование непрерывного вейвлет преобразования к детальному выделению мелкомасштабных TIDs и слабых среднемасштабных TIDs



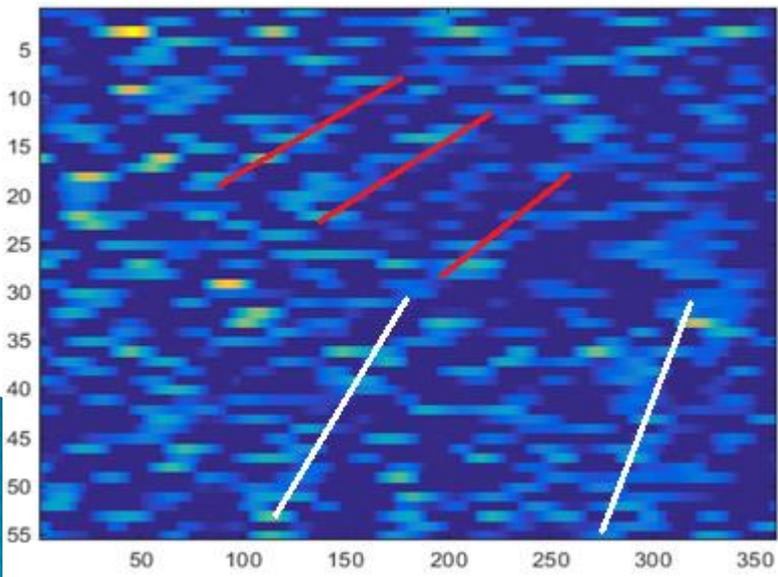
Осень 2018

Модуль вейвлет-картины вариаций коэффициента сжатия/**shrinking degree** k и высоты центра поворота/высоты хвоста h_{tail}

stretching degree, k



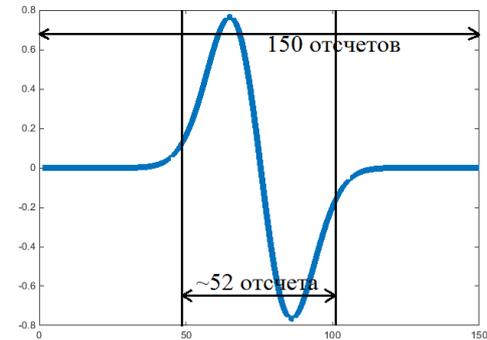
h_{tail}



Whose effect on daytime MS/SS TIDs is more important: super-rotation (superrotation) or IMF?

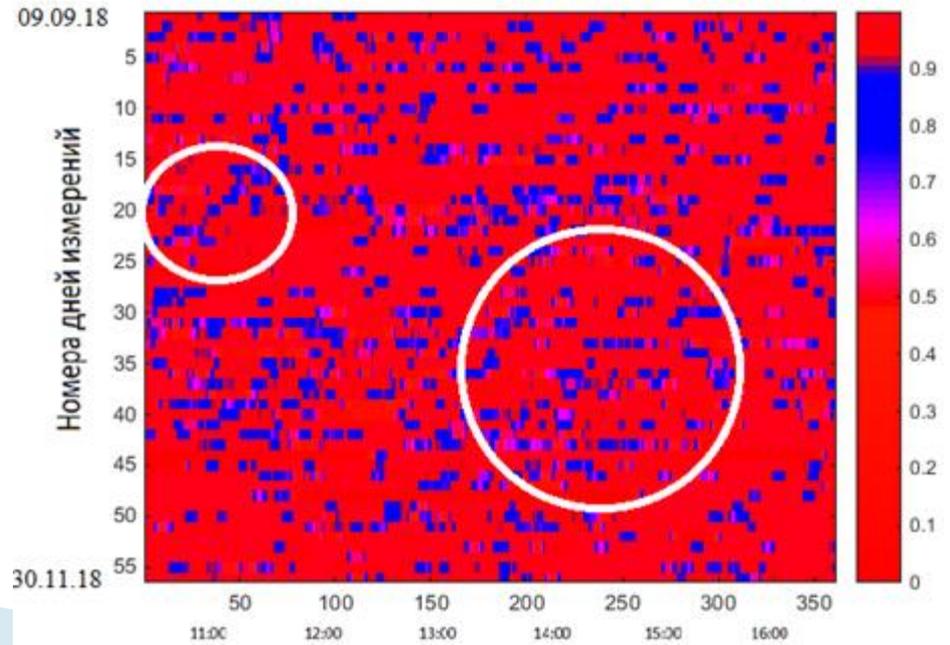
$$T_{total} = 150 \text{ min.}$$

$$T_{oscill.part} = 52 \text{ min.}$$



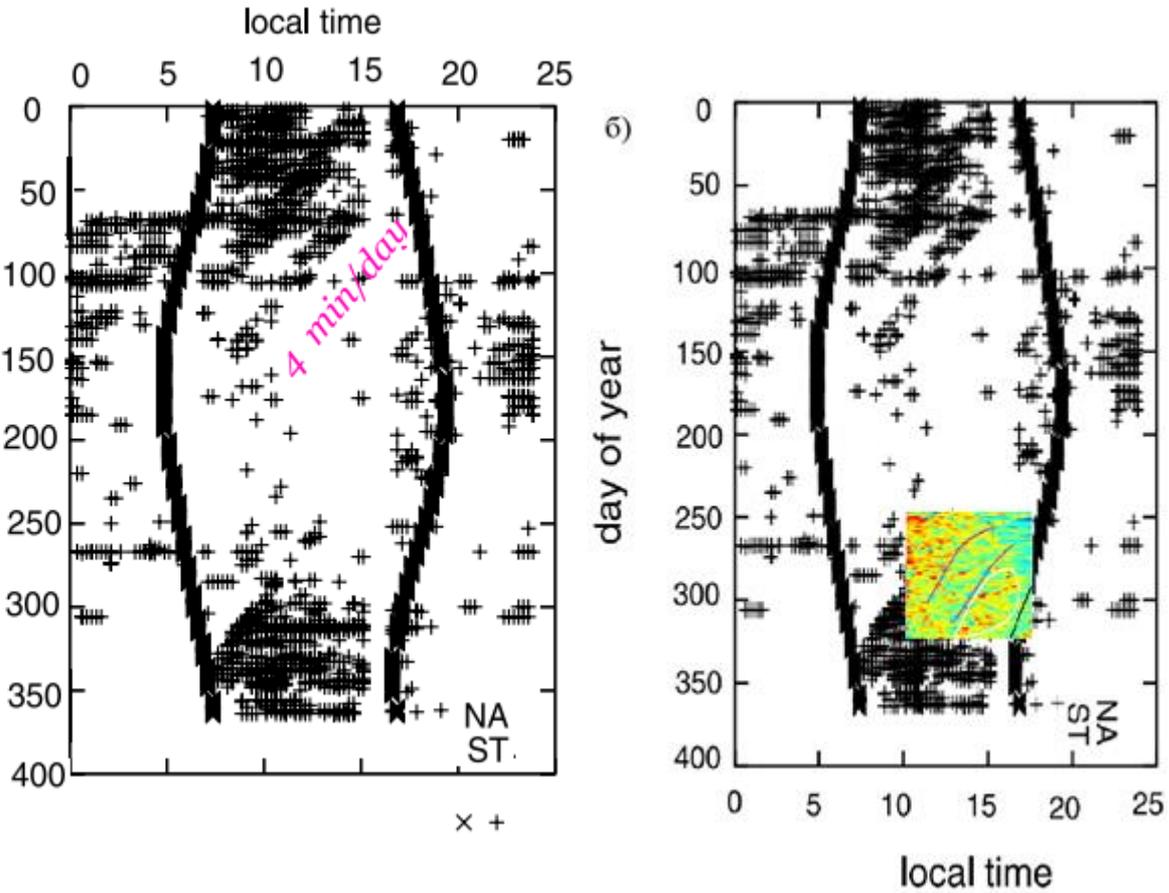
IMF displacement vector according to ACE/WIND satellite data with 8-minute averaging of 1-minute data (slopes of the IMF phase front)

Measurement day numbers



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

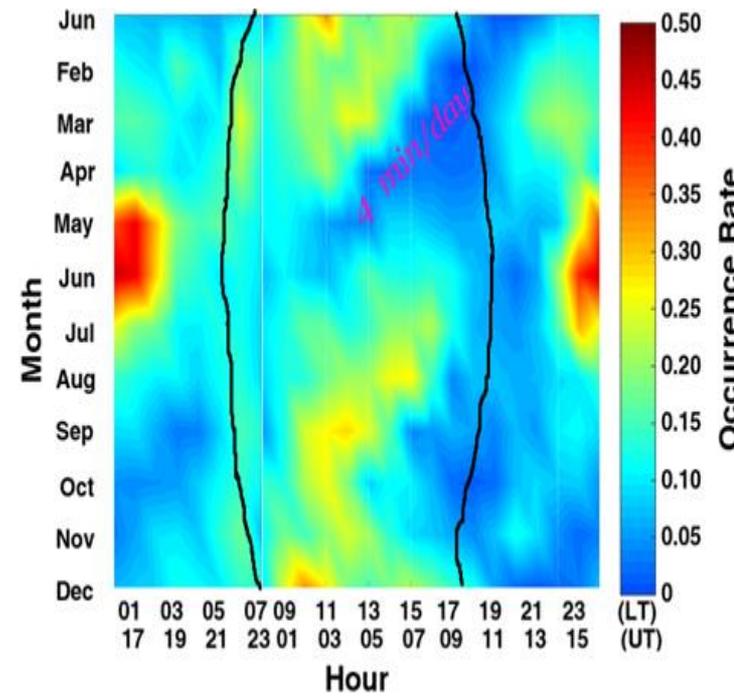
Неужели GPS группировка «мутит воду» в нашей спокойной ионосфере?



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

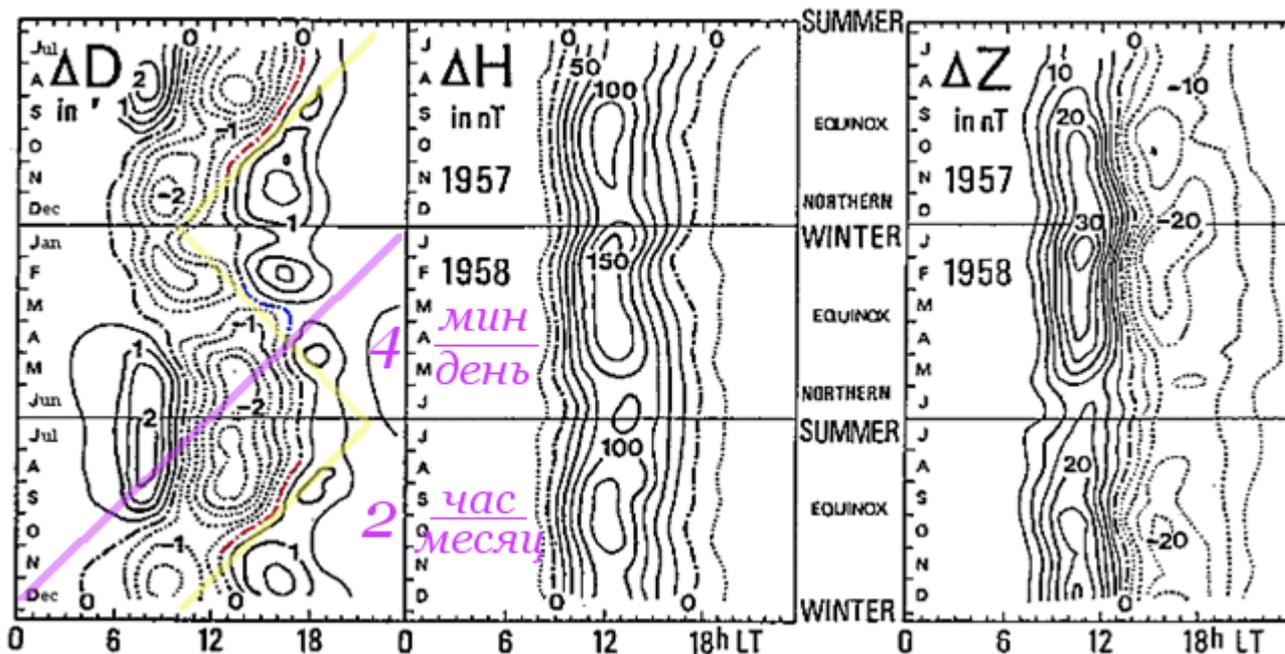
Данные о GPS ПЭС над Гонконгом



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

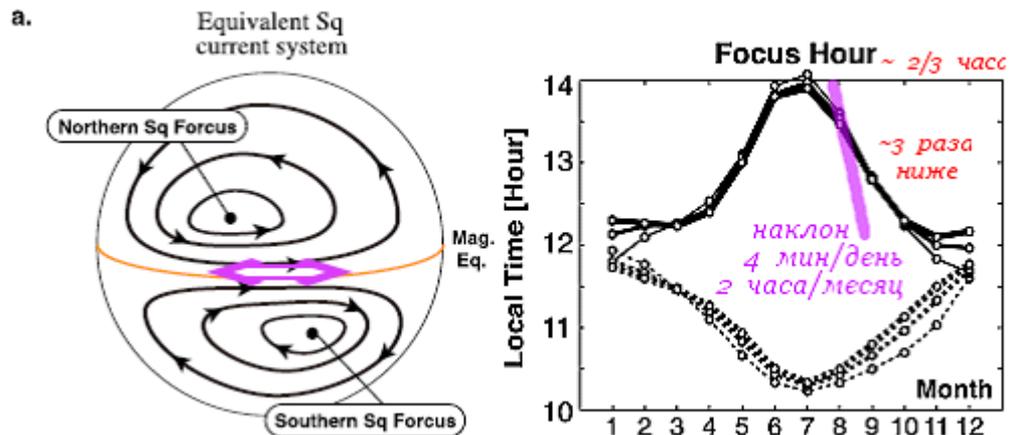
СКЛОНЕНИЯ

(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 «аэрономия» от Генерального секретаря IAGA в 1975–1983 гг

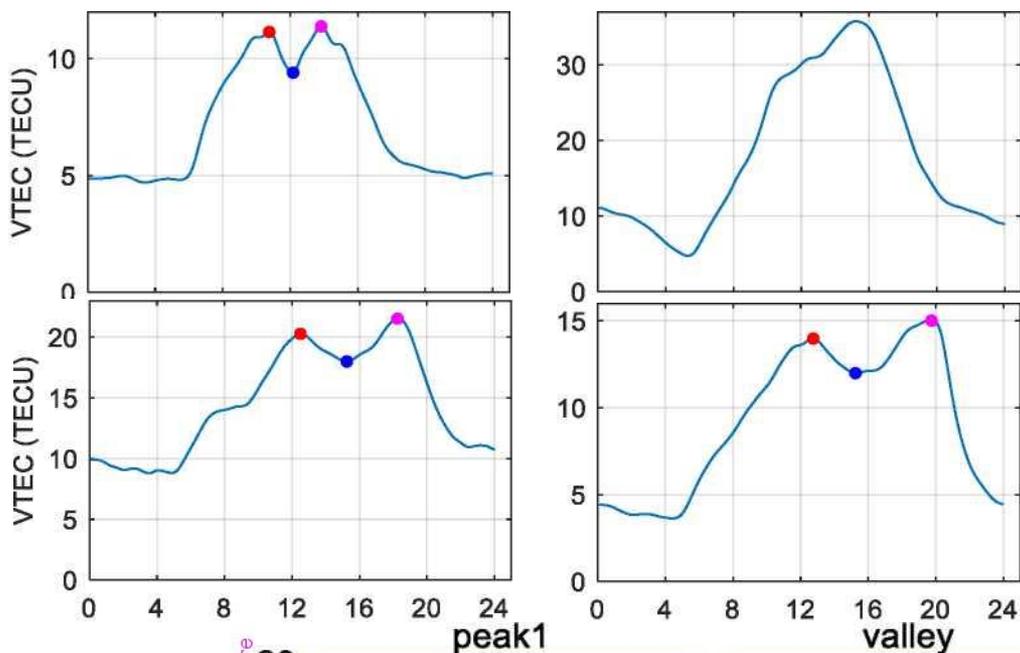
Движение фокусов Sq токовых вихрей более медленное



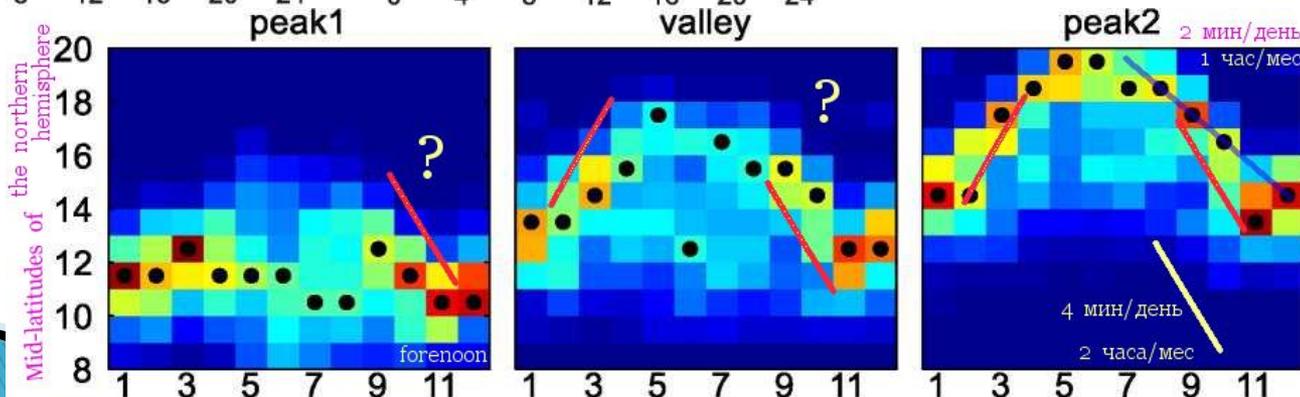
Yamazaki, Y., Yumoto, K., Cardinal, M.G., Fraser, B.J., Hattori, P., Kakinami, Y., Liu, J.Y., Lynn, K.J.W., Marshall, R., McNamara, D., Nagatsuma, T., Nikiforov, V.M., Otadoy, R.E., Ruhimat, M., Shevtsov, B.M., Shiokawa, K., Abe, S., Uozumi, T., Yoshikawa, A. An empirical model of the quiet daily geomagnetic 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

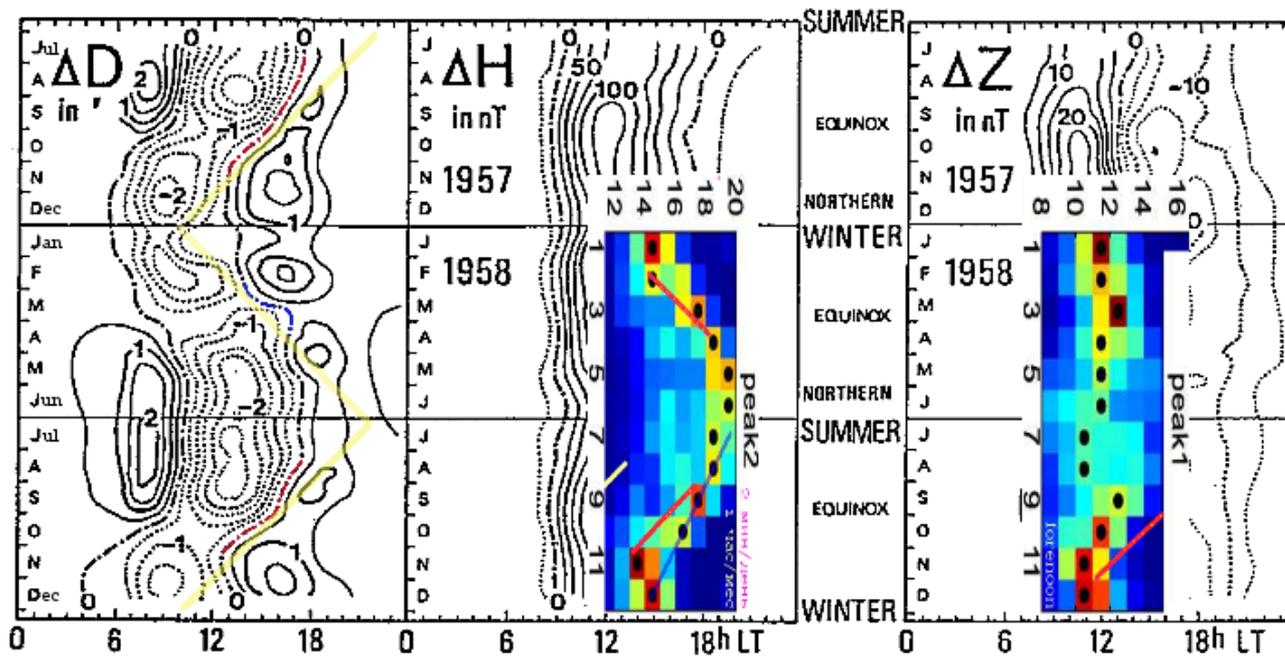


Wang, R., Chen, P., Yao, Y., An, Z., Wang, Z. (2022), Research on the ionospheric diurnal Double-Maxima patterns in Asia-Australian area based on the VTEC observations of BDS geostationary satellites, Advances in Space Research, 69 (10), pp. 3705–3716. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.02.041>

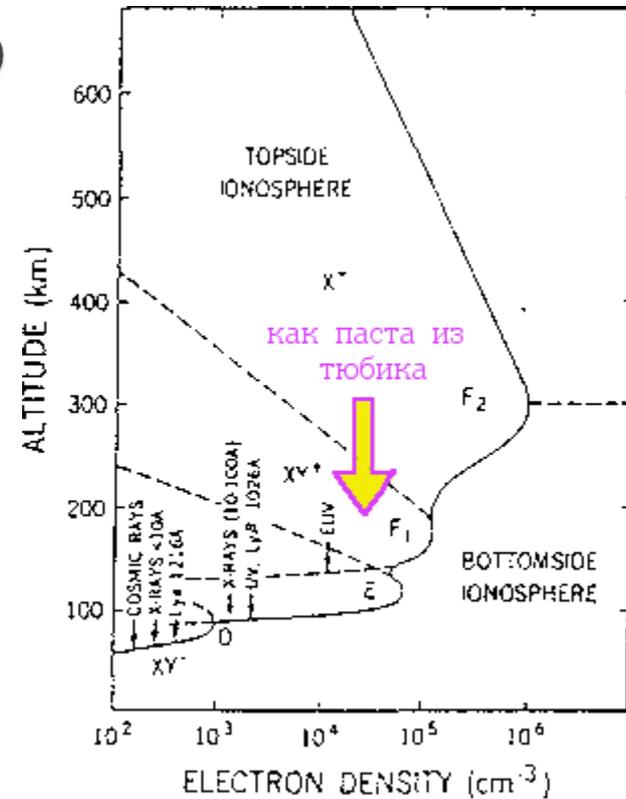
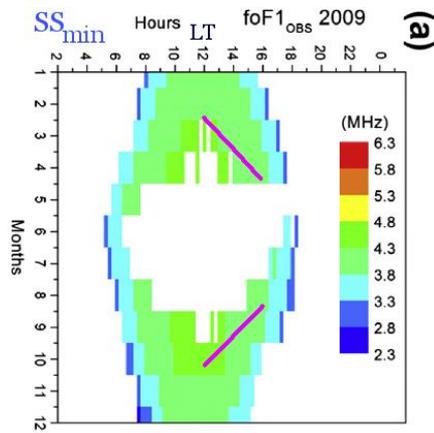
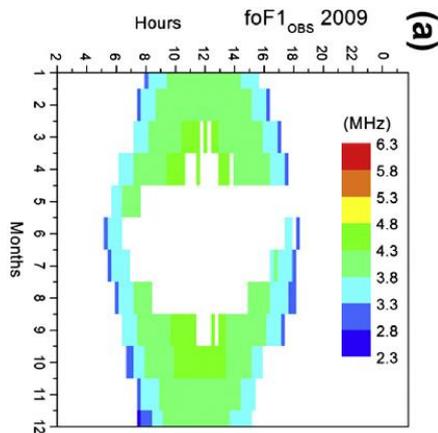


Склонение и выкус – братья на век?

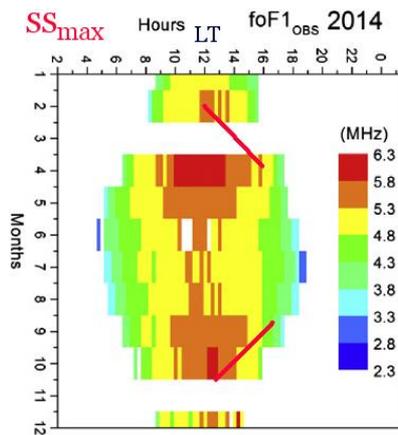
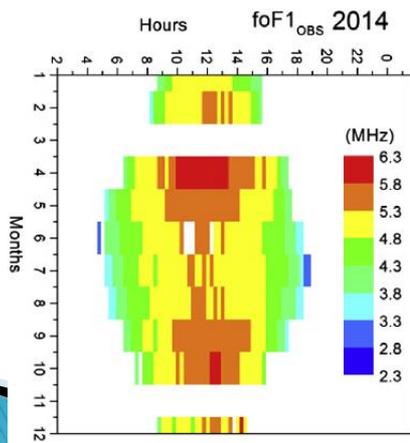
► Где
логика ?



На всех ли хватает второго подбородка ионосферы – F1?



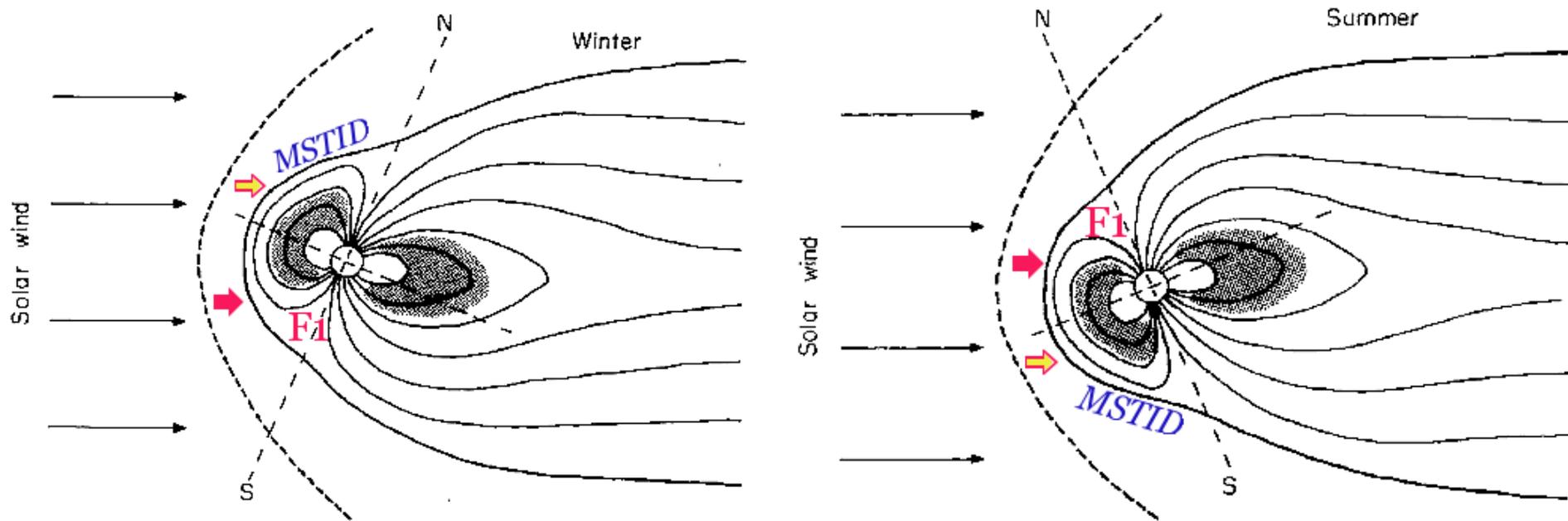
Есть ли в Никосии F1 летом? Только в солнечном максимуме?



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 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?

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. Летнее «блуждание» F1 между средними и тропическим широтами – вторичное проявление этих связей
- ▶ 3. Давление кольцевого тока – связующий элемент этих явлений.
- ▶ 4. В основе всех (полу)годовых зависимостей лежит годовое изменение наклона кольцевого тока. (Гипотеза)
- ▶ 5. Нужны усилия всего ионосферного сообщества для выдвижения в авангард научного поиска.



Да здравствует
среднеширотная ионосфера,
сдерживающая давление
токового кольца!

**Спасибо за
внимание!**