ВОЗМОЖЕН ЛИ ПРОГНОЗ АВРОРАЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ РАДИОВОЛН НА ОСНОВЕ ГЕОМАГНИТНЫХ ВАРИАЦИЙ?

Шухтина[1] М.А., Сергеев[1] В.А., Рогов[2] Д.Д., Степанов[1,2] Н.А., Николаев[2] А.В.

1. СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

2. ААНИИ, Санкт-Петербург, Россия

Министерство науки и высшего образования РФ

(грант № 075-15-2021-583).

Введение

Авроральное поглощение радиоволн (**АП**) Appleton, 1933г ; 1959- изобретения риометра (LittleLeinbach, 1959). Один из видов АП- поглощение во время суббури, его и будем рассматривать.

Дриацкий, В.М., Геомагнетизм и аэрономия 6, 828–834, 1966.

Pudovkin, M. I., et al. , Planet. Space Sci. 16, 881,1968

Hargreaves, J. K., Proc. of the IEEE, 57, 1348-1373, 1969.

Berkey, F. T., et al. (1974). Planet. Space Sci., 22(2), 255–307

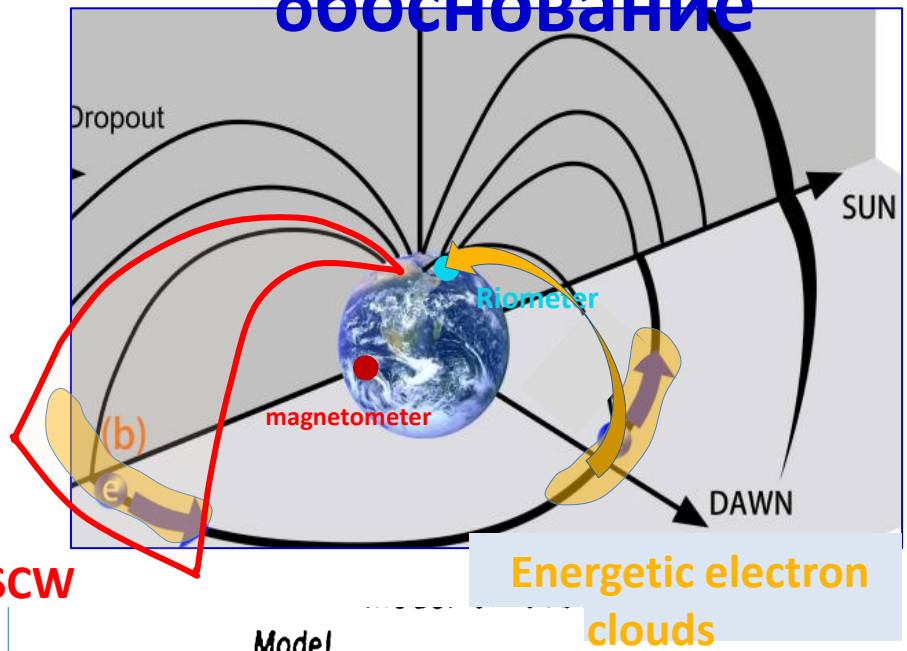
Вызывается вторгающимися электронами (E ~ 30-300 кэВ), которые нарушают КВ связь на Земле, в авиации и в космосе(Knipp et al., Space Weather,2016), влияют на содержание озона и климат (Rozanov et al., Surv. in Geophys., 2012, Seppala et al., Geophys.Res.Lett.,2015), т.е. на Космическую погоду→важность моделирования и прогноза.

Модель: электроны должны быть 1) ускорены; 2) доставлены в область наблюдения; 3) рассеяны в конус потерь

St Petersburg University

Физическое обоснование

ПРОГНОЗ -2023 ИЗМИРАН
МОСКВА 31 Мая 2023

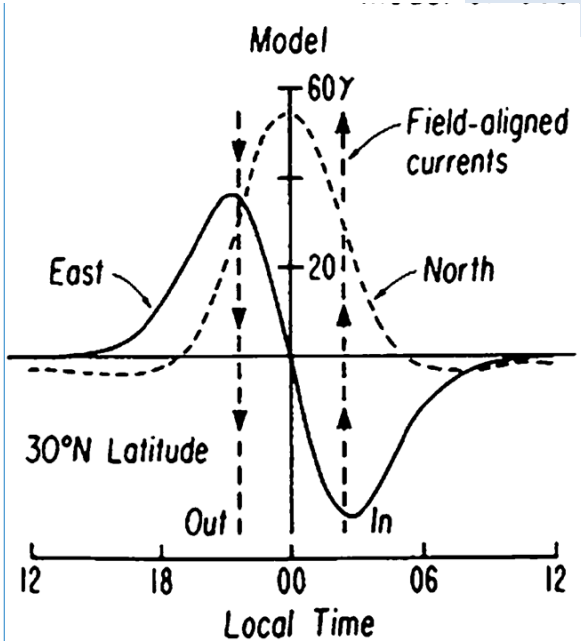


Предположения:

- энергизация бетатронным ускорением при диполизации
- магнитный дрейф на восток
- питч-угловое рассеяние вистлерами

инжекция=диполизация

Как измерить инжекцию?



McPherron et al., 1973

MPB index of substorm activity

McPherron&Chu,Space Sci Rev.,2017, 206:91-122,DOI 10.1007/s11214-016-0316-6

$MPB(nT^2)=\Delta X^2 + \Delta Y^2$

Δ относительно спокойного уровня

амплитуда диполизации~ΔT,

$\Delta T \equiv \Delta(MPB)^{1/2} \rightarrow A(db) \sim \Delta T(nT)$

Метод

- Величина АП = линейная суперпозиция откликов на диполизации ΔT в течение 4 h после t_0 &1h до. Если **ΔT<0, ΔT≡0**
- Используется техника линейных фильтров (LPF,напр. Bargatze et al., J. Geophys. Res., V.90, 6387, 1985) для каждого сектора MLT.

$\Delta T(t)=MPB^{1/2}(t+1) - MPB^{1/2}(t)$

$\Delta T1k$, k=1,60 $=\Delta T(i)$, i=1,60

$\Delta T2k$, k=1,60 $=\Delta T(i)$, i=2,61

.....

.....

.....

.....

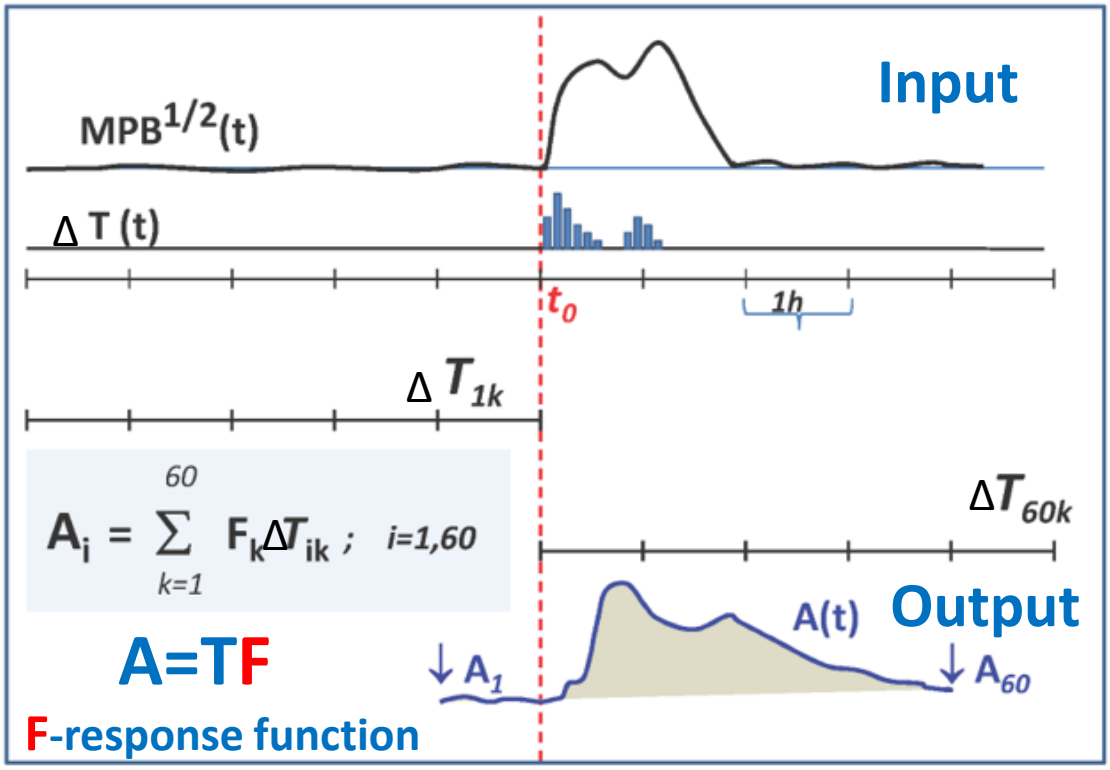
.....

.....

.....

.....

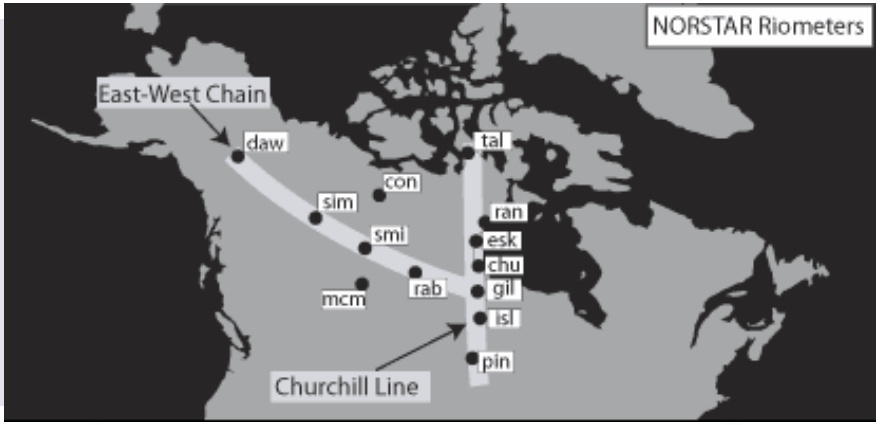
$\Delta T60k$, k=1,60 = $\Delta T(i)$, i=541,600

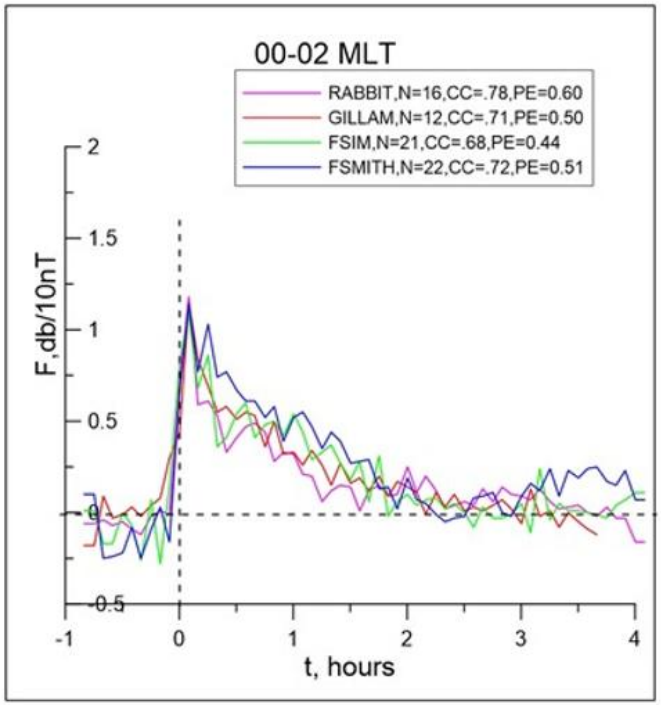


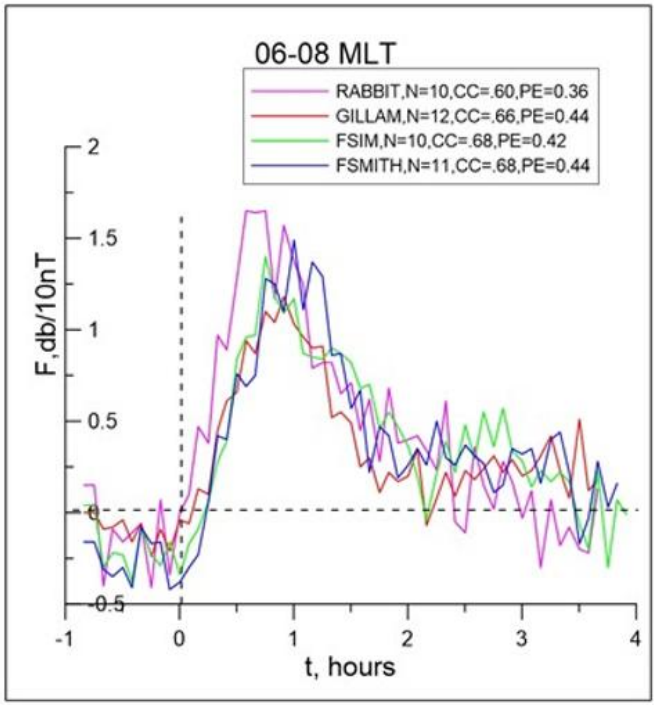
$$A_i = \sum_{k=1}^{60} F_k \Delta T_{ik}\ ; \quad i=1,60$$

Данные

- 5 Канадских риометров~ **на 67º CGMLat** (*E-W chain*)
- изолированные суббури по AL и MPB (*>3-4h спокойный фон*);
- ~220 суббурь в 2007-2012;
- Данные АП и ΔT с **5**мин. разрешением

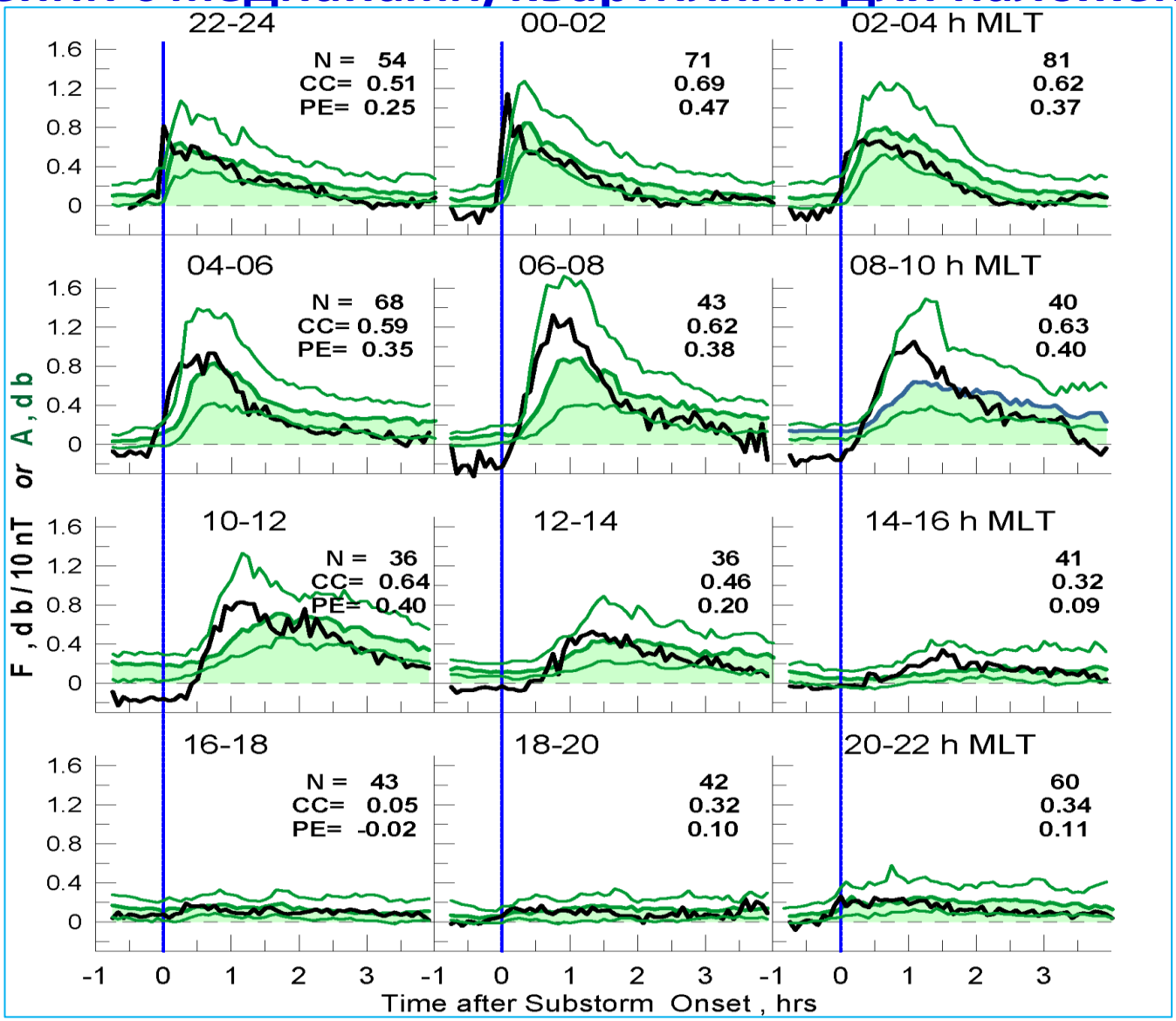






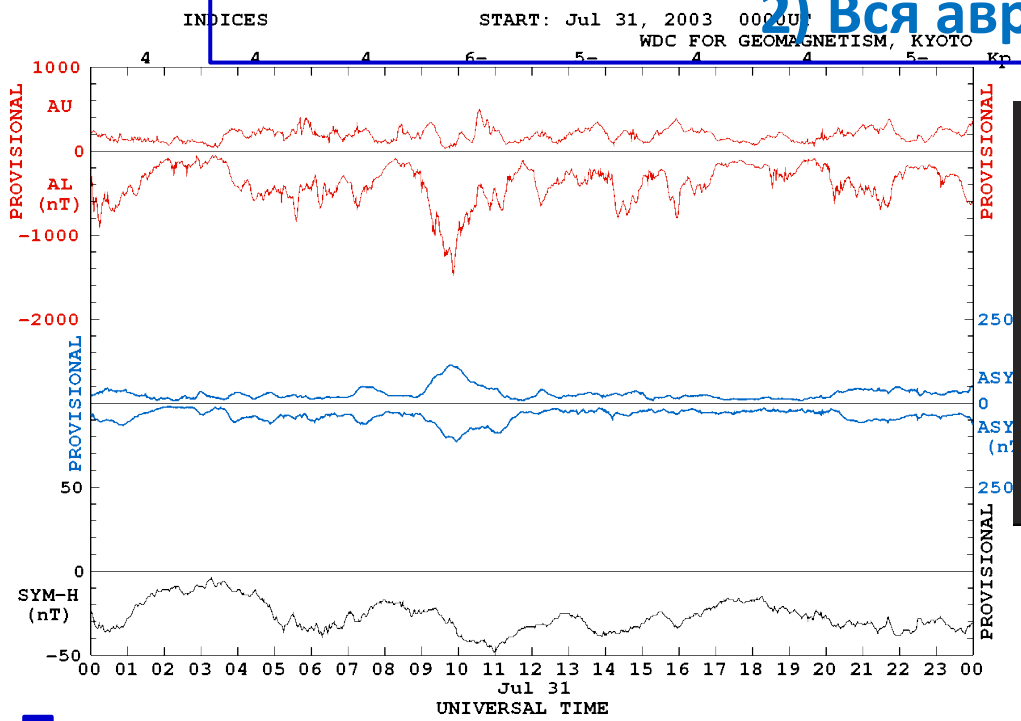
Данные различных риометров в одном секторе MLT согласуются → берутся совместно

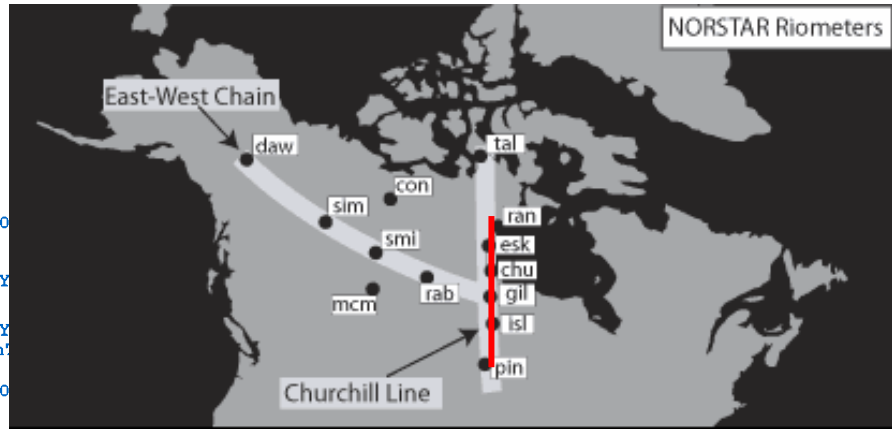
Функции отклика для изолированных суббурь на 66-67^0 CGL в сравнении с медианами/квартилями для наложения эпох



Ограничения: 1) Изолированные суббури
2) Центр авроральной зоны

Следующий шаг : 1) Возмущенные периоды
2) Вся авроральная зона



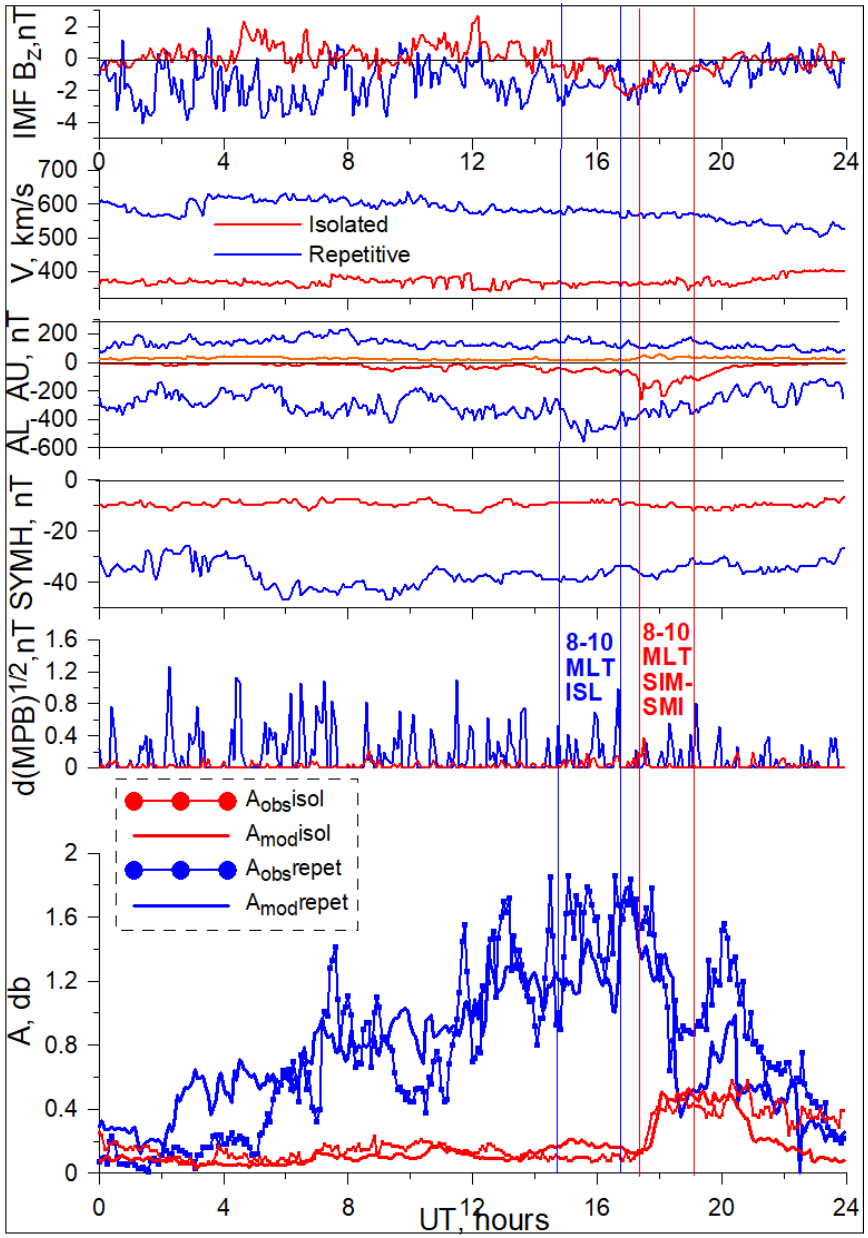


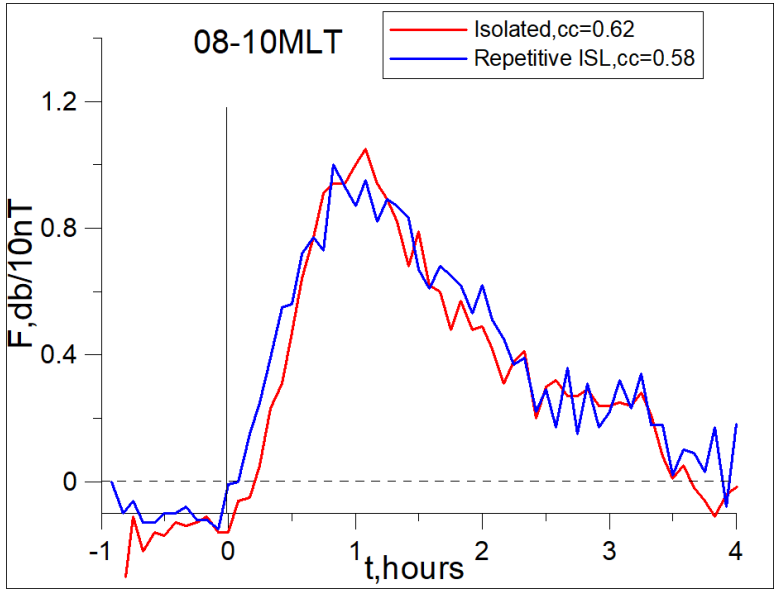
Пример возмущенного интервала

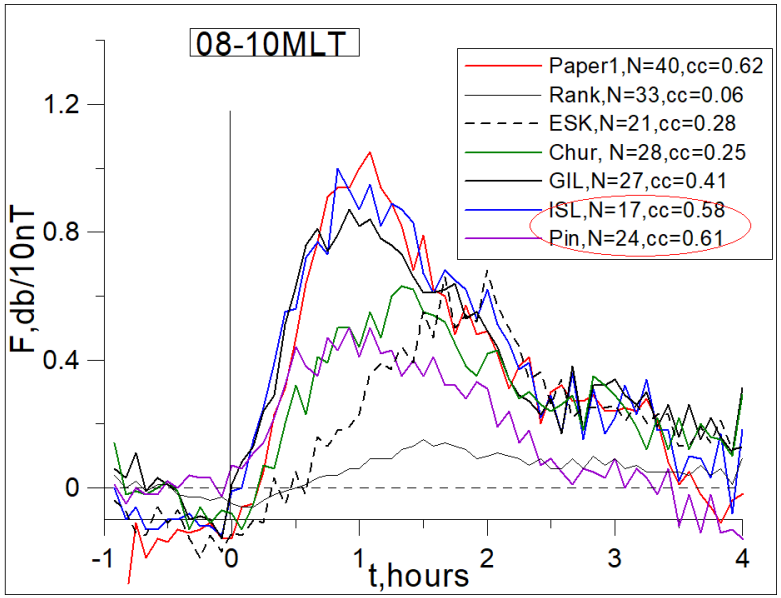
$$A_i = \sum_{k=1}^{60} F_k \ \Delta T_j, \ j = i+k-12$$

name	Φ’	L	UT/0MLT
Rank	72.18	10.69	6.51
ESKI	70.49	8.97	6.69
Chu	68.28	7.30	6.66
GILL	66.00	6.04	6.69
ISLL	63.58	5.05	6.68
Pina	59.93	3.98	6.79

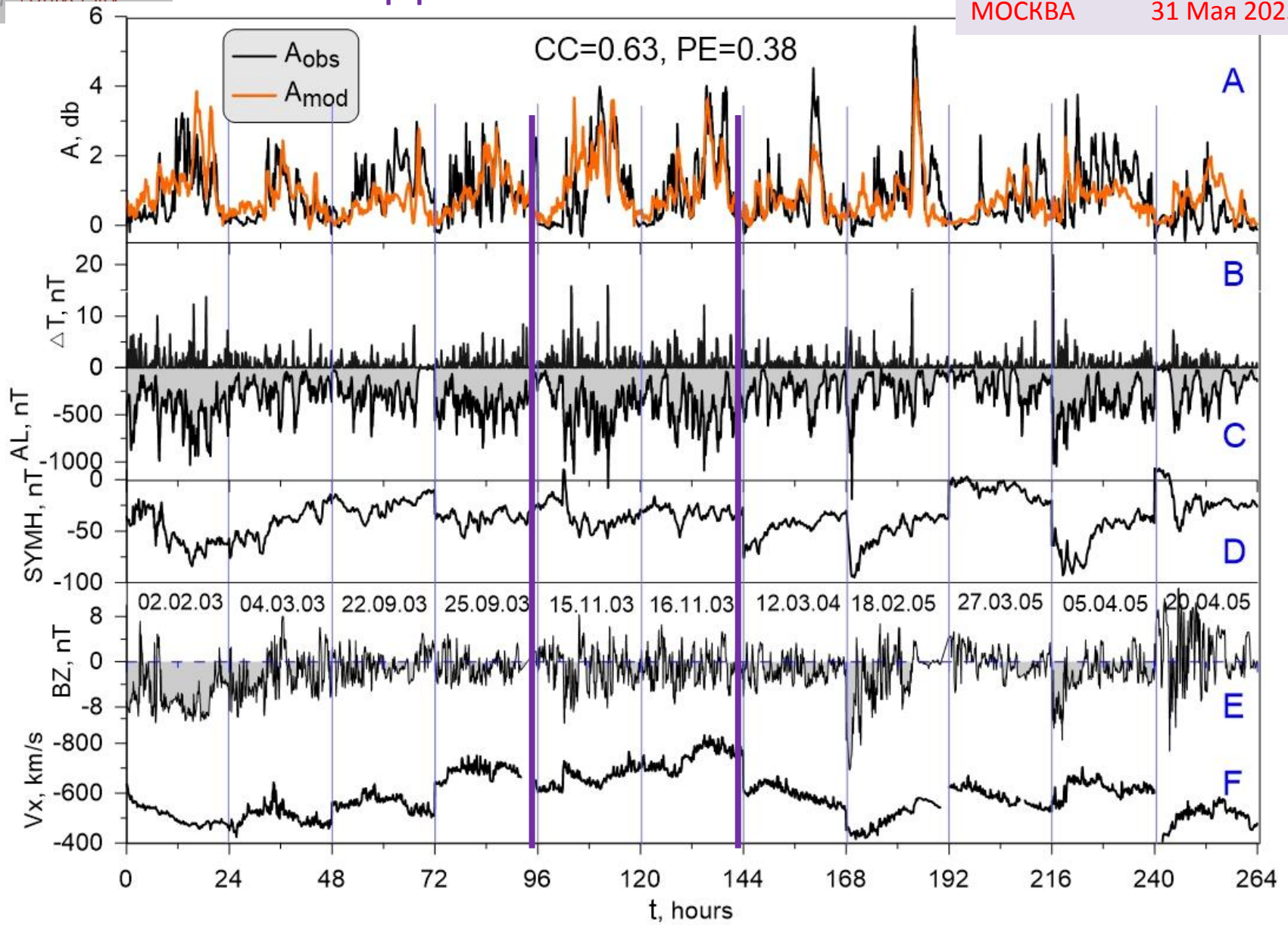
Сравнение 2-х типов суббурь





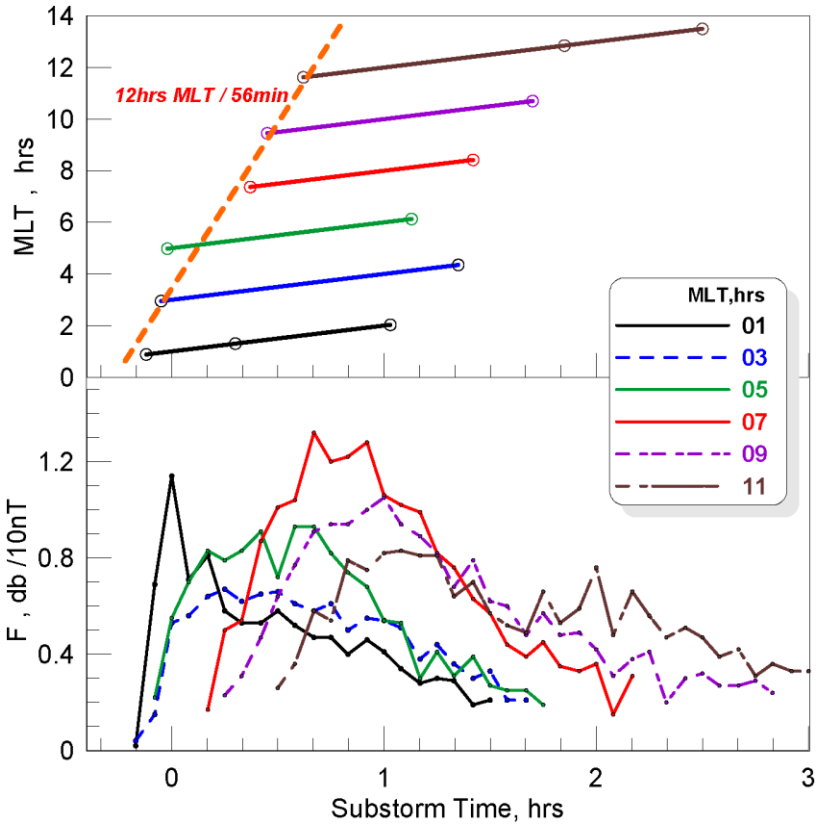


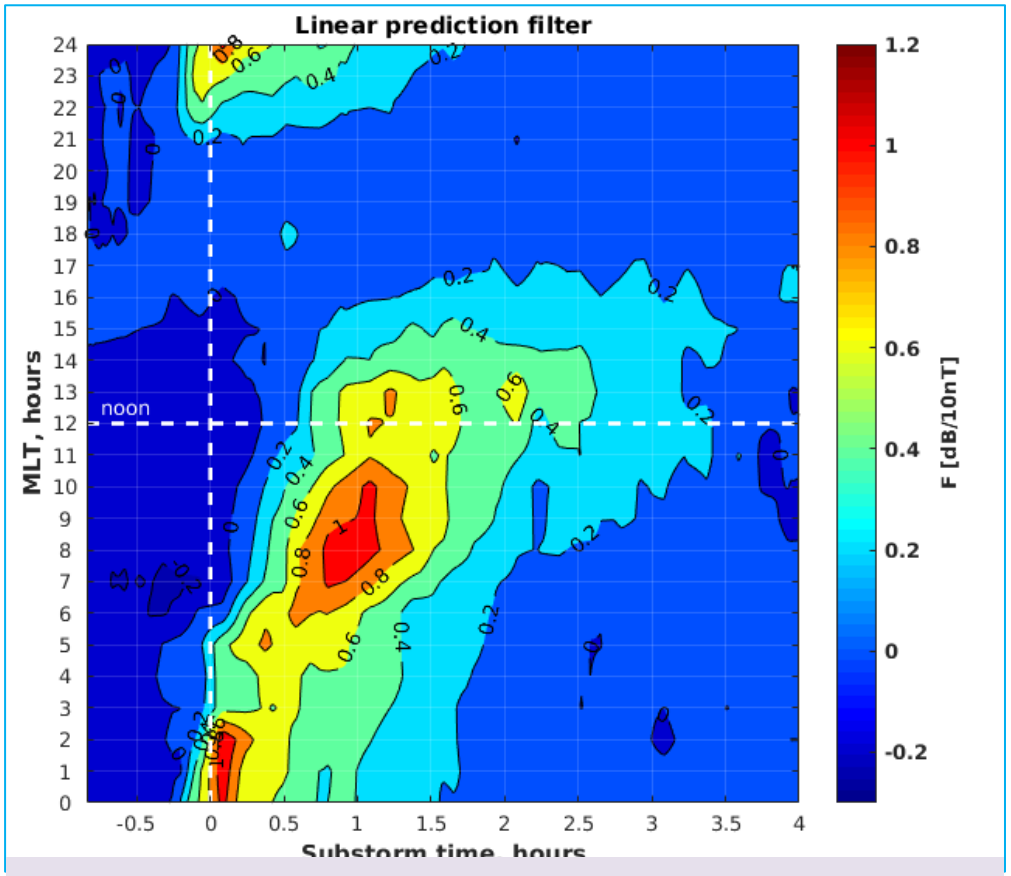
Длинная память?



Claudepierre et al., 2020, Partamies et al., 2021, Stepanov et al., 2021a… – память до нескольких суток

Отклик авроральных поглощения на единичную инжекцию в центре авроральной зоны

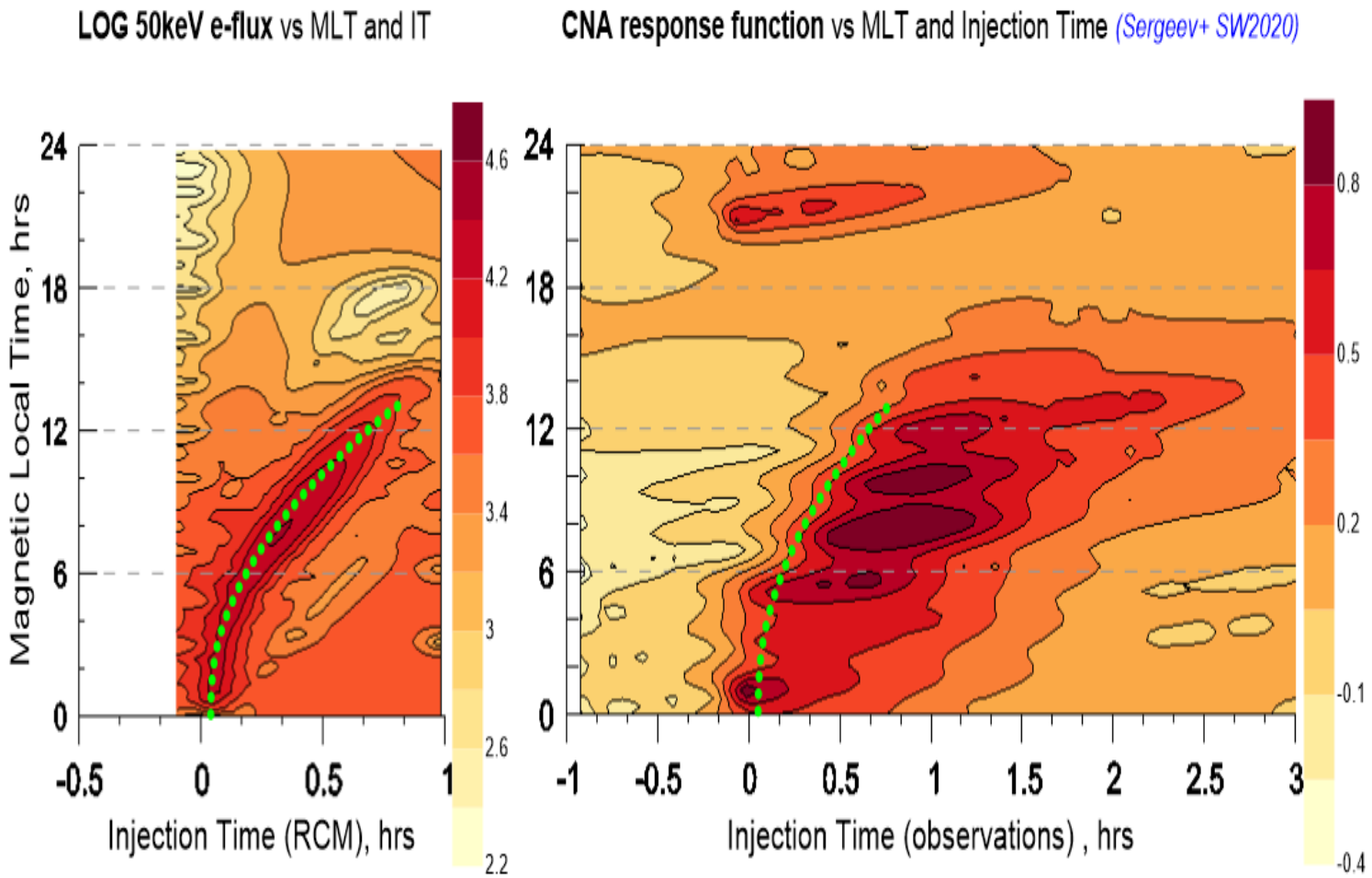




Эволюция LPF в процессе дрейфа дает оценку скорости дрейфа частиц:
12h MLT/56 min соответствует дрейфу **~50keV электронов на L ~ 7.5** .

- Узкая область источника в 22- 02 MLT
- Широкий **утренний пик** (max в 7-8 h MLT)
- Вечерний минимум (*эффект E поля конвекции, как и утр. максимум*)

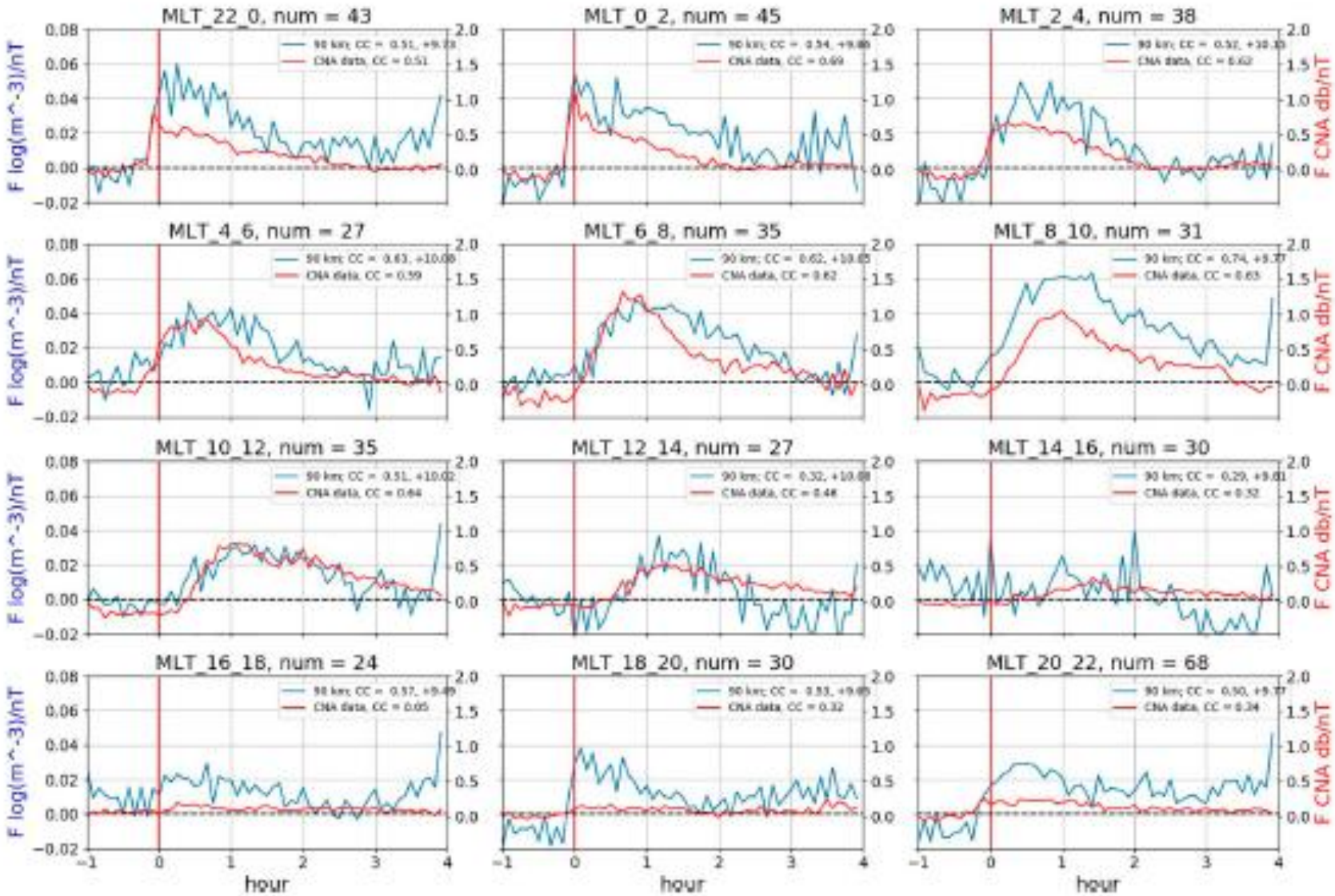
Сравнение с RCM моделированием (Sergeev et al., 2023, в печати)



зависимость максимального потока электронов с энергией 50-75 кэВ от Δt после инжекции для разных MLT по результатам симуляции(а); функции отклика АП для разных MLT (б).

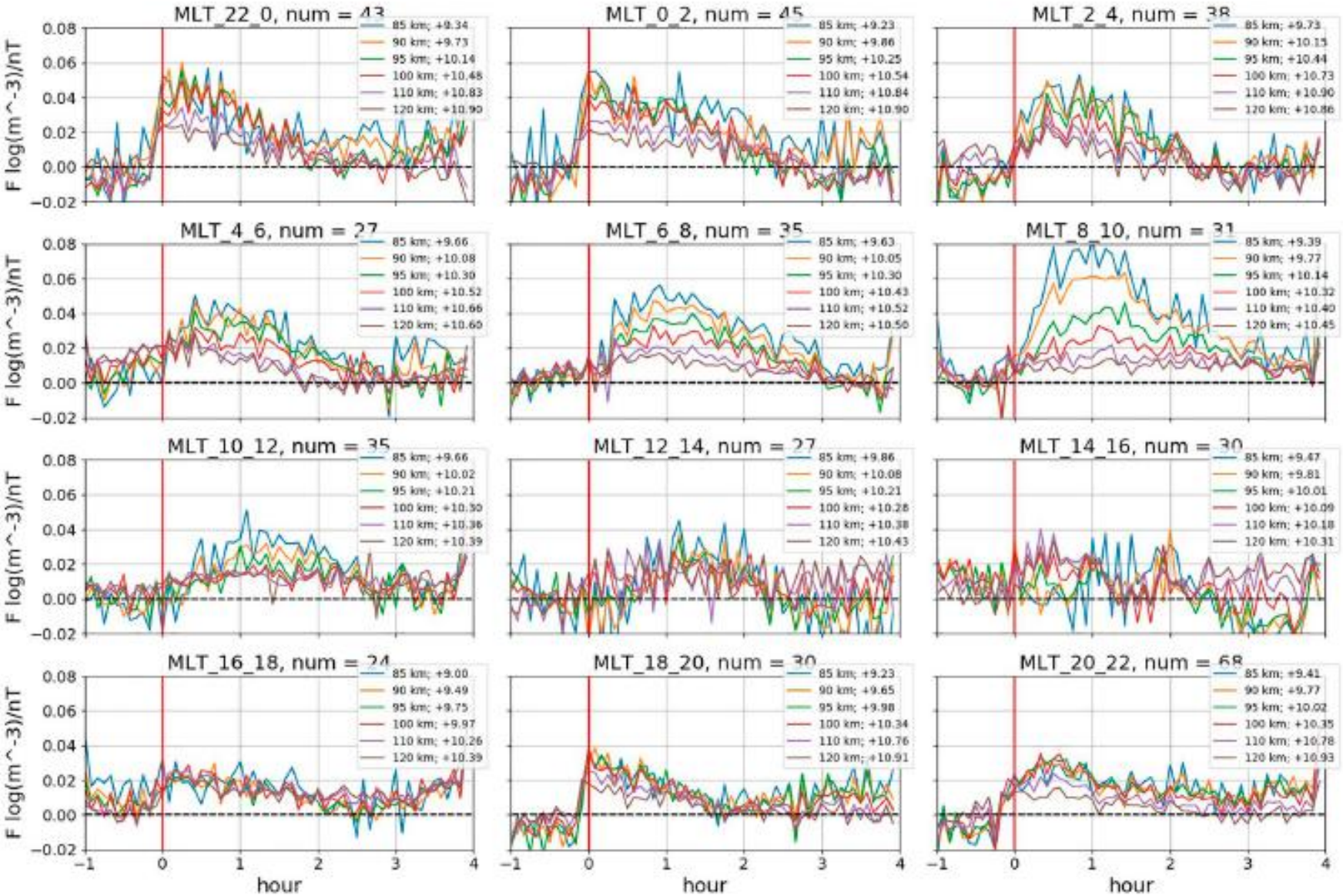
Сравнение с измерениями EISCAT

- - $A=0.46\int(N\vartheta dh/(\vartheta^2+(\omega\pm\omega_H)^2)$

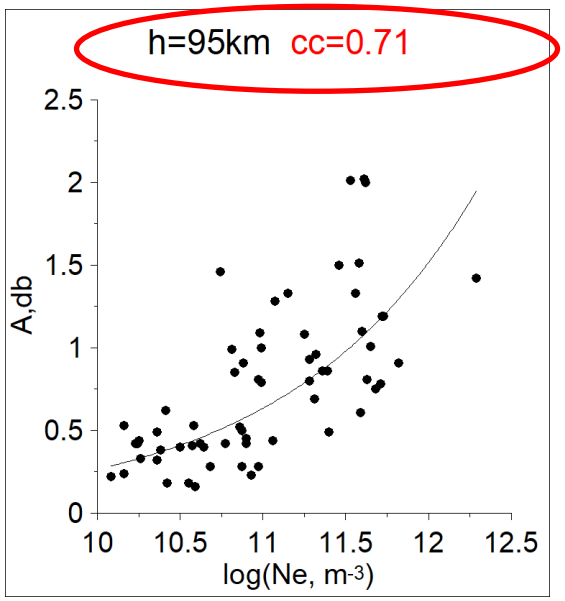


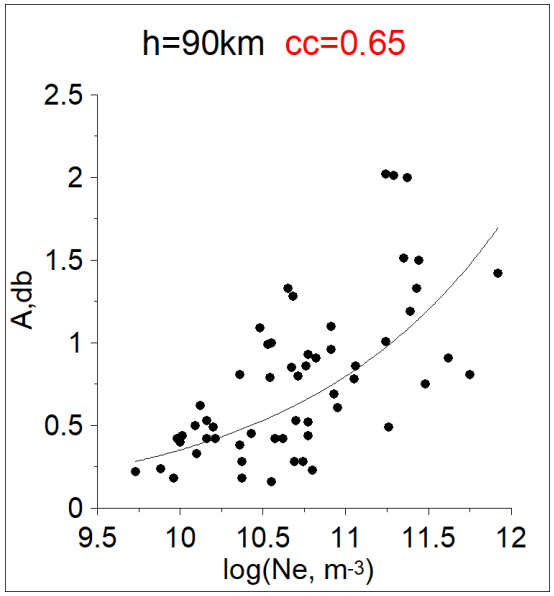
Сравнение фильтров АП с фильтрами Ne на 90 км

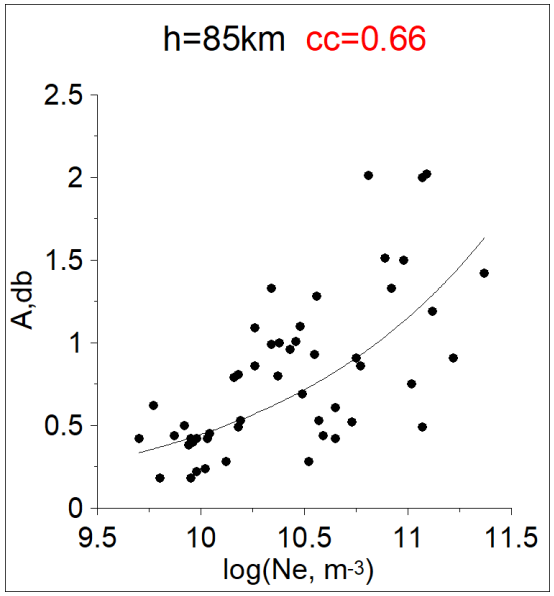
Фильтры Ne для различных высот

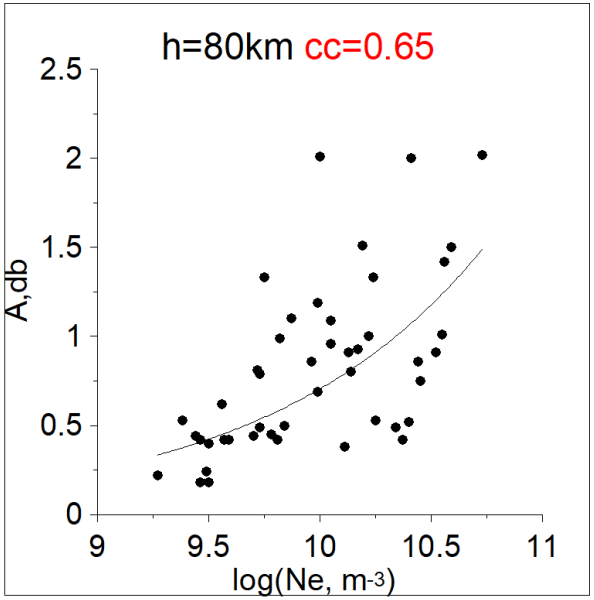


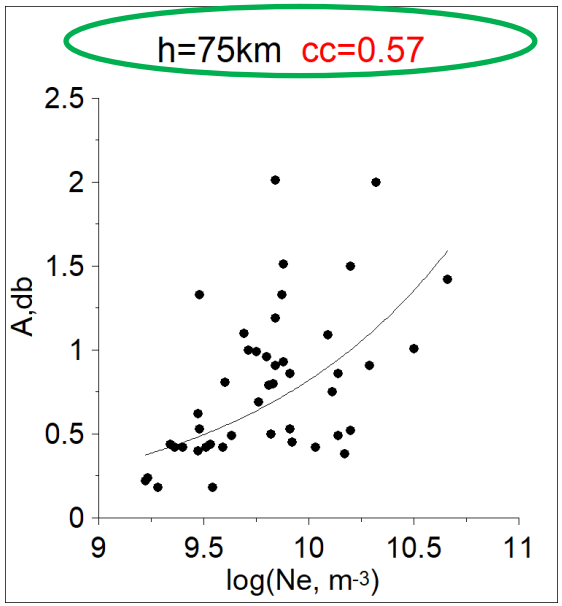
Сравнение модельных значений АП с измерениями EISCAT, 20-22MLT







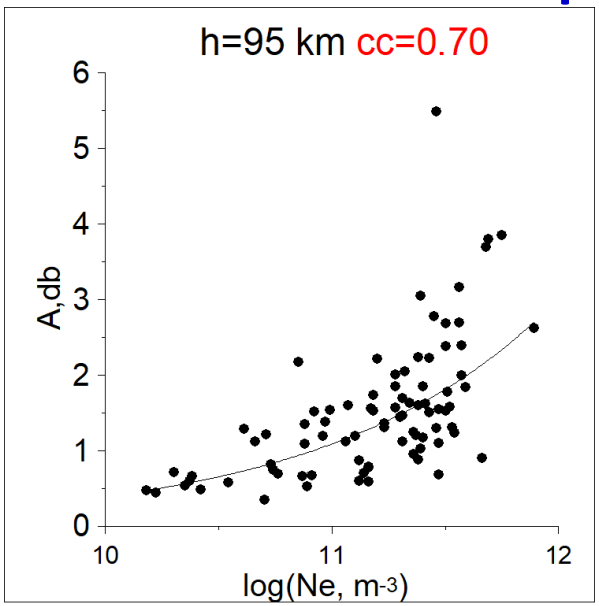


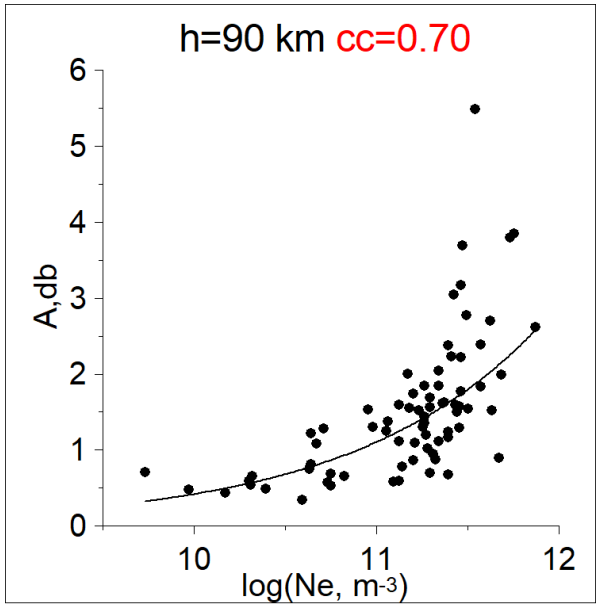


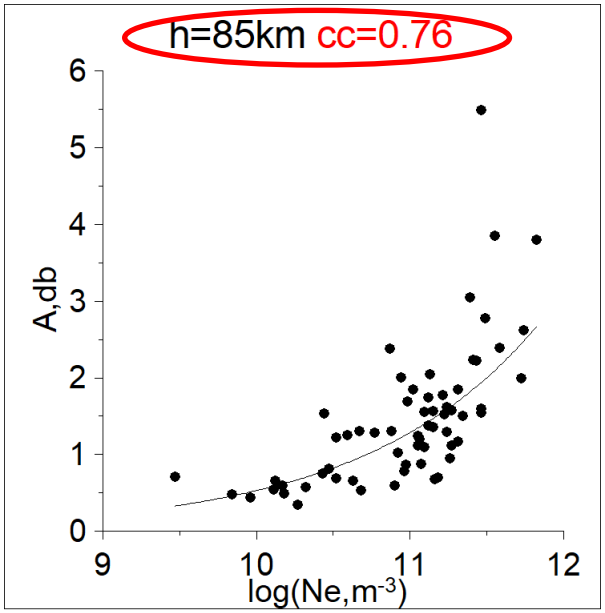
Max cc (.71) на 95 km

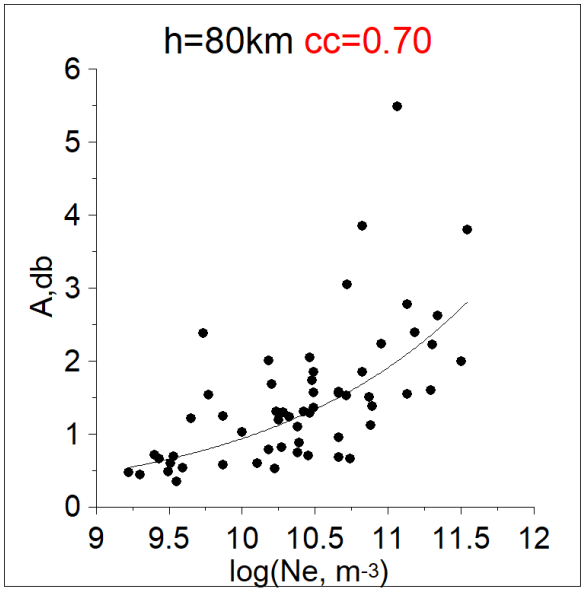
Min cc (.57) на 75km

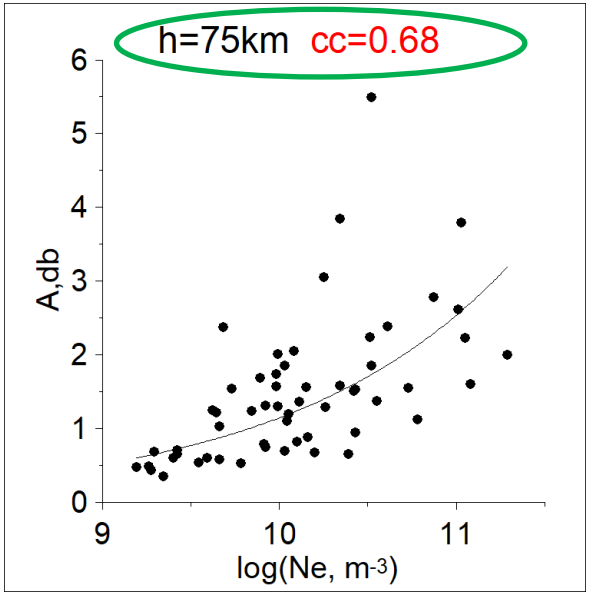
Сравнение модельных значений АП с измерениями EISCAT, 04-10MLT











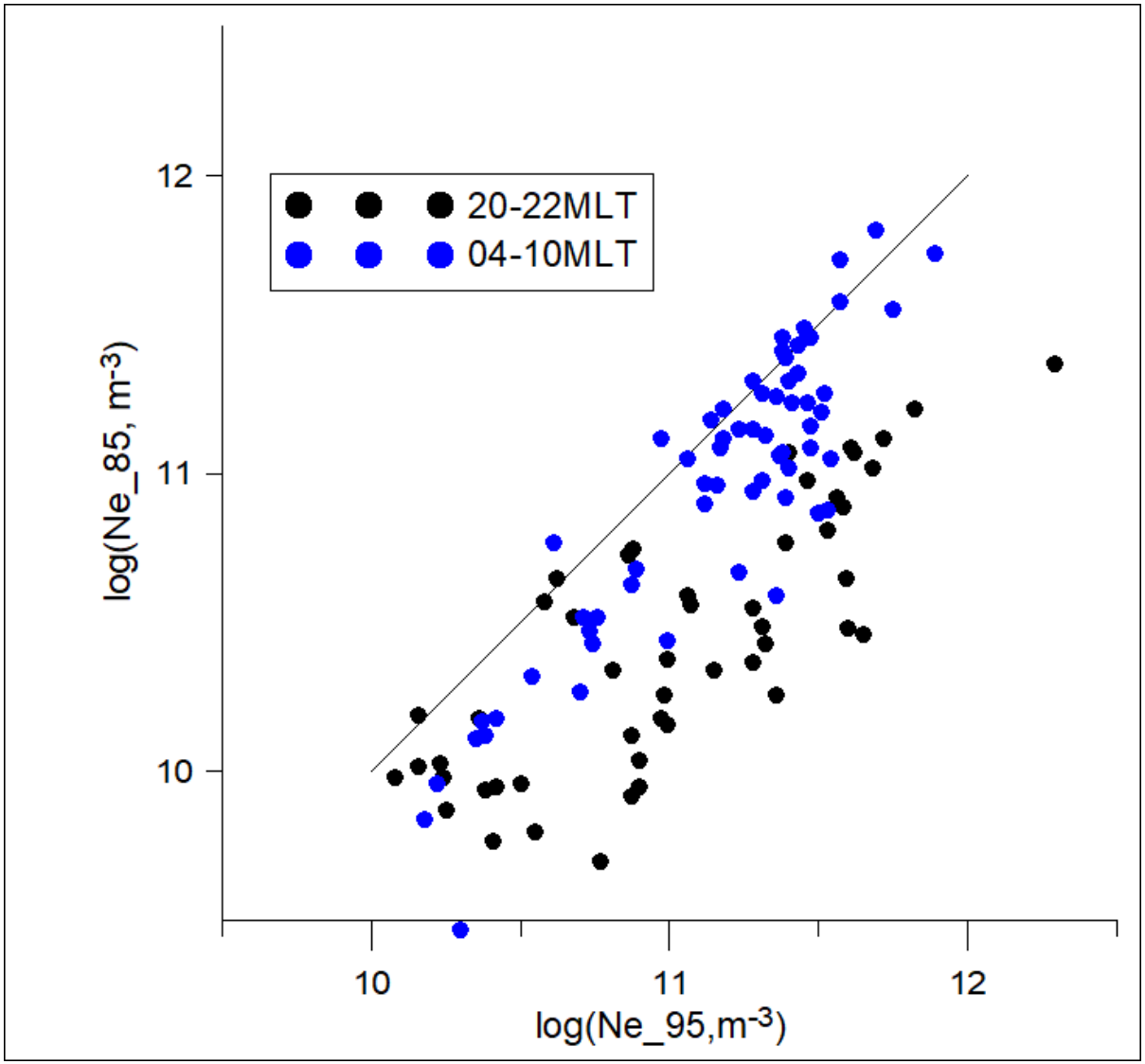
Везде высокие cc (≥0.7)

Max cc (.76) на 85 км

Довольно высокие cc(.68) на 75 km

Более жесткий спектр, чем в 20-22 MLT

Comparison of EISCAT observations at different MLTs



Более жесткий спектр в утреннем секторе в соответствии с (Stepanov et al., 2021; Hosokawa and Ogawa, 2015, Tesema et al., 2020…)

Заключение

- Предложена методика мониторинга АП для изолированных и кластерных суббурь
- Результаты согласуются с наблюдениями, что подтверждает наш подход к механизму инжекций. Динамика АП, получаемая из модели (первоначальный размер и положение области инжекции, восточный дрейф и асимметрия утро-вечер), соответствует наблюдениям, предшествующим результатам и RCM – моделированию.
- Метод позволяет оценивать профиль Ne и, на его основе, спектр вторгающихся электронов.
- Подход перспективен для задач **Космической Погоды** (диагностика и краткосрочный прогноз КВ связи на Земле, в авиации и космосе; вариации озона, климатические изменения; энергия вторгающихся электронов, профиль электронной концентрации)