

Протонные и электронные сияния. Наземные и спутниковые наблюдения

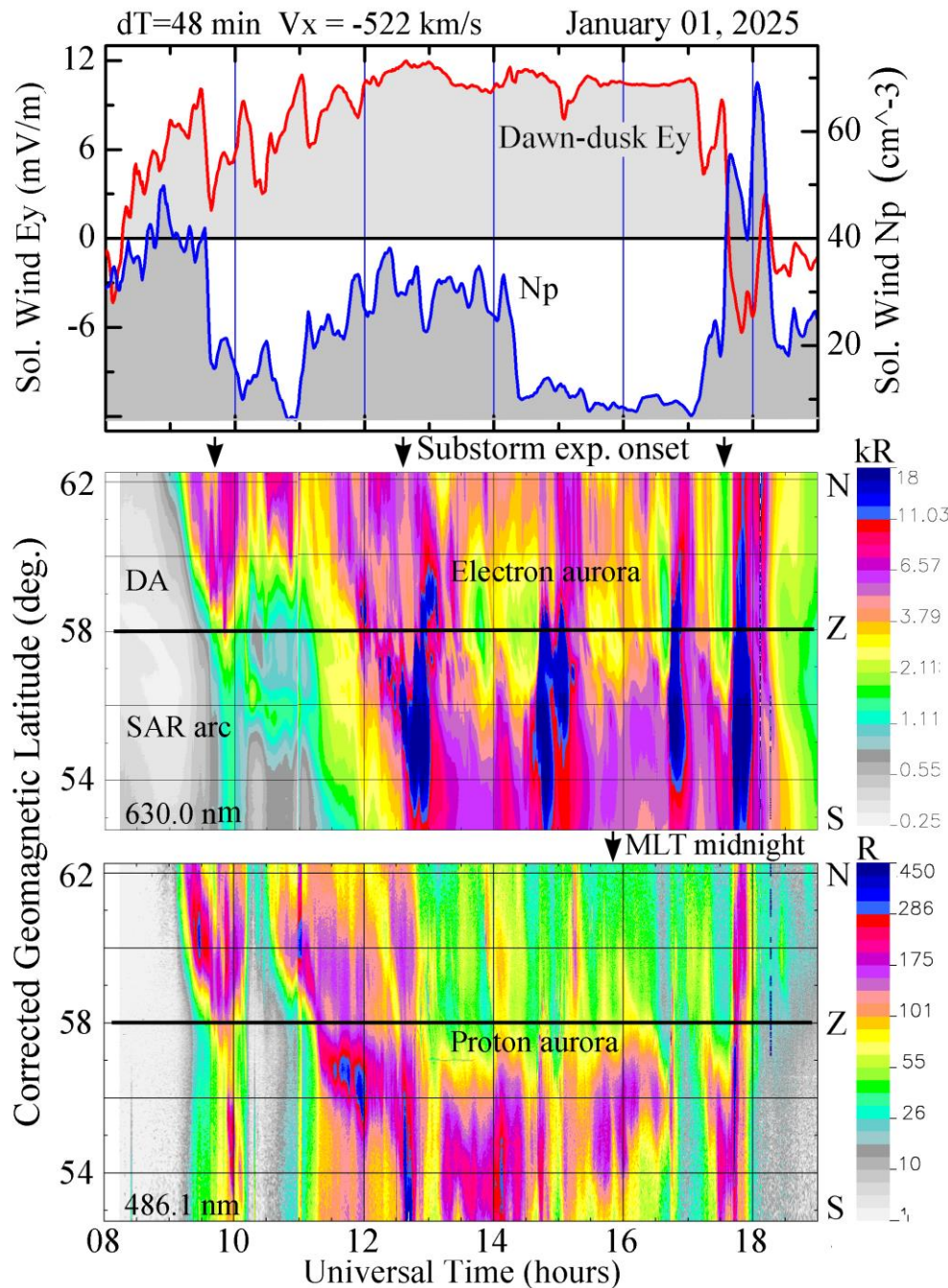
- Иевенко И.Б., Парников С.Г.
 - *ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия, ievenko@ikfia.ysn.ru*
- Протонные сияния в эмиссиях атомарного водорода возникают как результат высыпаний энергичных протонов и их перезарядки на высотах слоя E ионосферы.
- Высыпание протонов происходит из области магнитосферы с изотропным распределением потоков заряженных частиц.
- Изотропизация может быть вызвана питч-угловым рассеянием в токовом слое на магнитном экваторе с большой кривизной силовых линий [Сергеев и Мальков, 1988; 1992].
- Низкоширотная граница изотропных потоков частиц регистрируется низковысотными спутниками с полярной орбитой.
- Во время протонного сияния возможна селективная регистрация высыпаний низкоэнергичных электронов в эмиссии 630.0 нм [OI] на высотах области F2 ионосферы (электронных сияний).

Третий Симпозиум «ПРОГНОЗ–2026» ИЗМИРАН
г. Троицк, 25-29 мая 2026



All sky imager «Keo-Sentry»

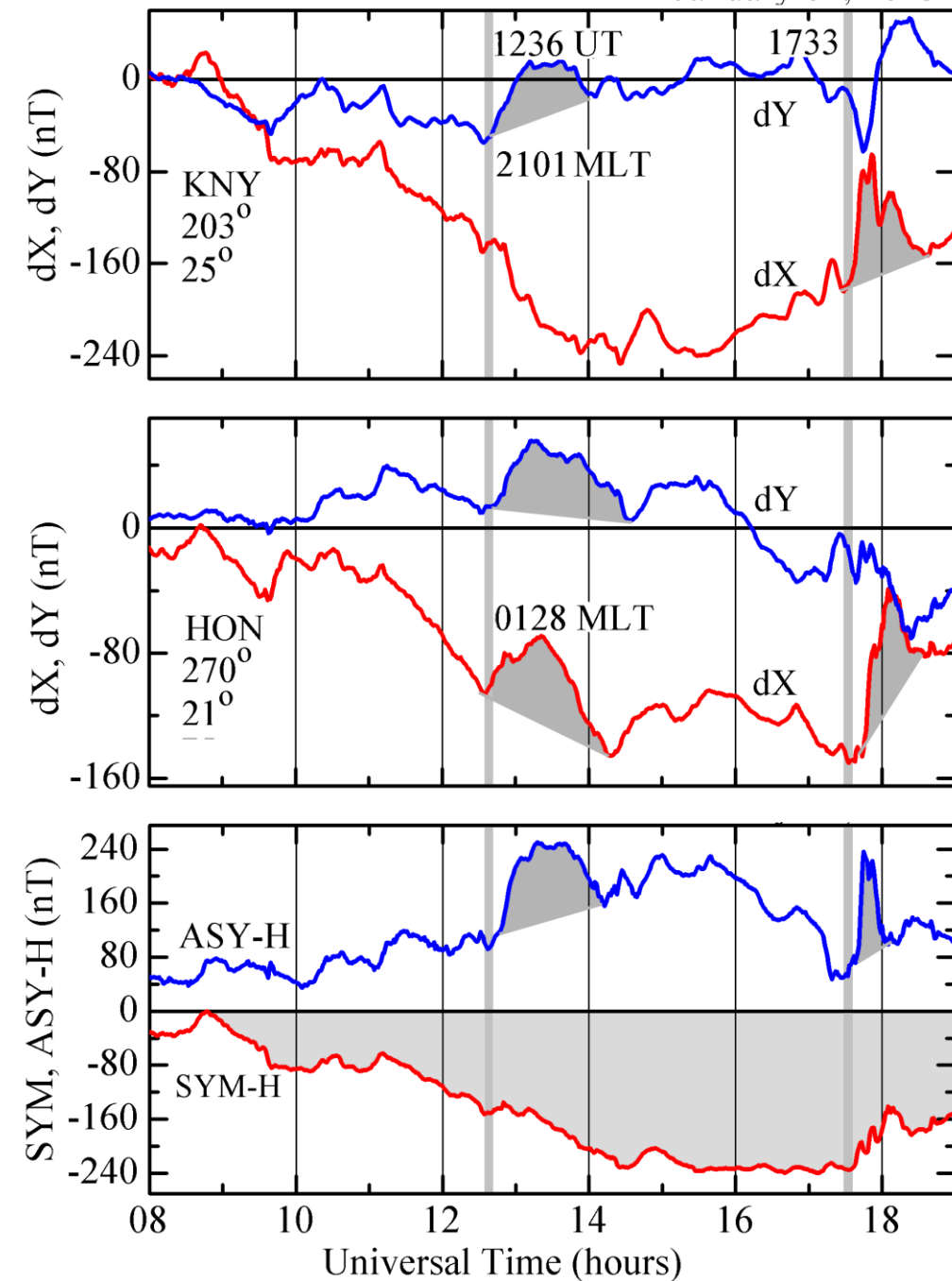
- В этом сообщении представлены результаты анализа наблюдений динамики протонного и электронного сияний на ст. Маймага (СГМС: 58° , 202°) во время магнитной бури с минимумом SYM-H ~ -230 нТл 01 января 2025 г.
- Наземные наблюдения сопоставлены с измерениями положения изотропной границы потоков энергичных протонов и электронов на спутнике NOAA-19.
- С регистрацией субаврорального пика электронной температуры на спутнике Swarm-C.
- С измерениями потоков протонов и электронов на спутнике ERG около магнитного экватора.
- Сияния регистрировались камерой всего неба «Keo-Sentry». Высокая чувствительность CCD камеры с умножителем электронов (ЕМ) позволяет исследовать динамику формирования SAR-дуг, а также электронных и протонных сияний.



Динамика сияний в эмиссиях 630.0 и 486.1 нм, обусловленная вариациями параметров солнечного ветра 1 января 2025 г.

- Увеличение электрического поля E_y до ~ 12 мВ/м при высокой плотности солнечного ветра (N_p) вызвало:
- Расширение диффузного сияния (DA) в эмиссии 630 нм к экватору в вечернем секторе MLT. Активизацию сияний в двух эмиссиях с быстрым смещением до зенита станции и возникновение SAR-дуги на границе DA.
- Вторая активизация после резкого роста N_p проявилась в движении полосы в эмиссии 486.1 нм от северного горизонта через зенит станции, а затем, и в эмиссии 630 нм со скоростью ~ 180 м/с.
- Далее, протонное сияние наблюдалось на экваториальной границе расширенной зоны сияний в красной эмиссии на геомагнитных широтах 52-62°.

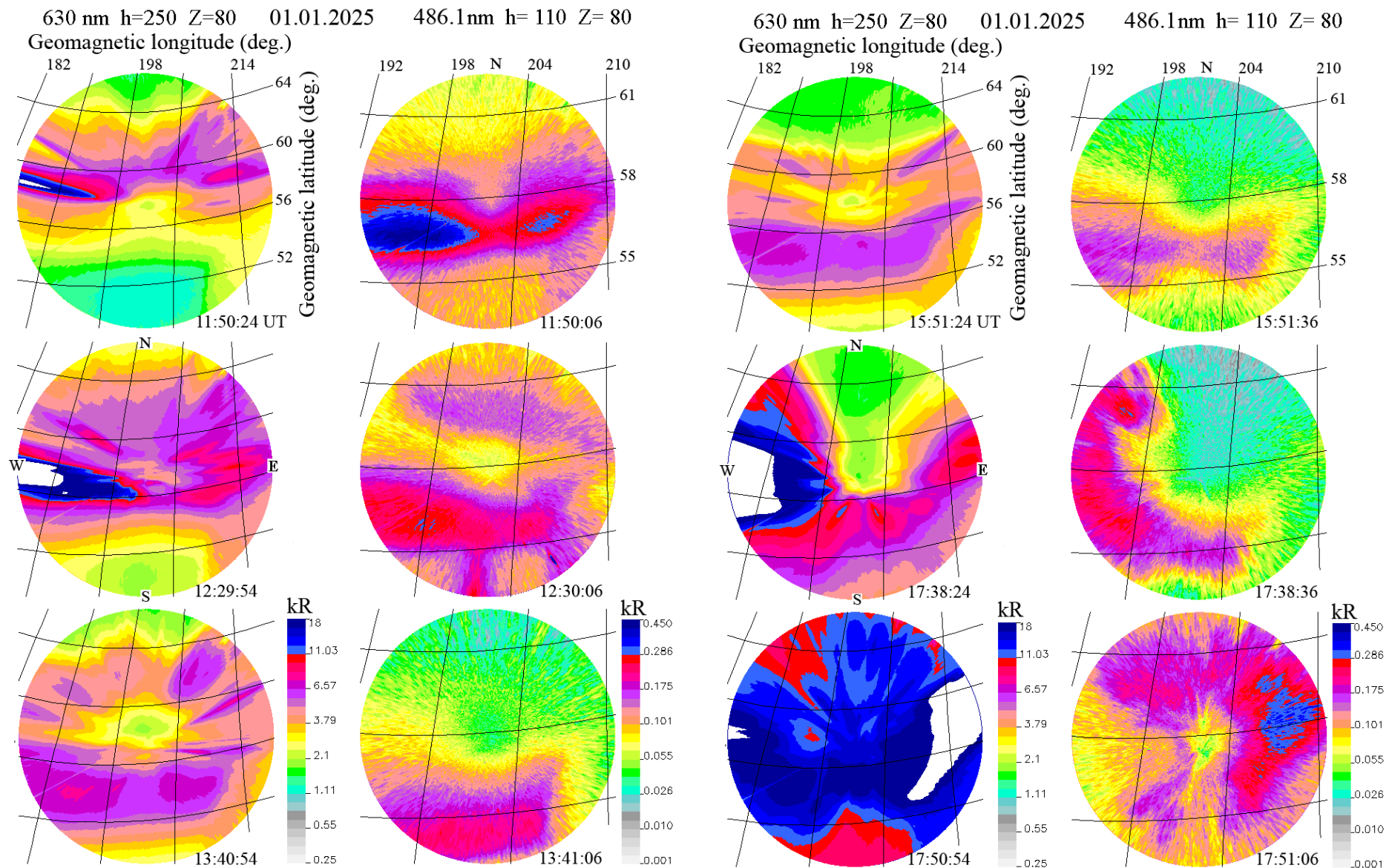
January 01, 2025



Низкоширотные магнитные вариации во время наблюдений сияний 1 января 2025 г.

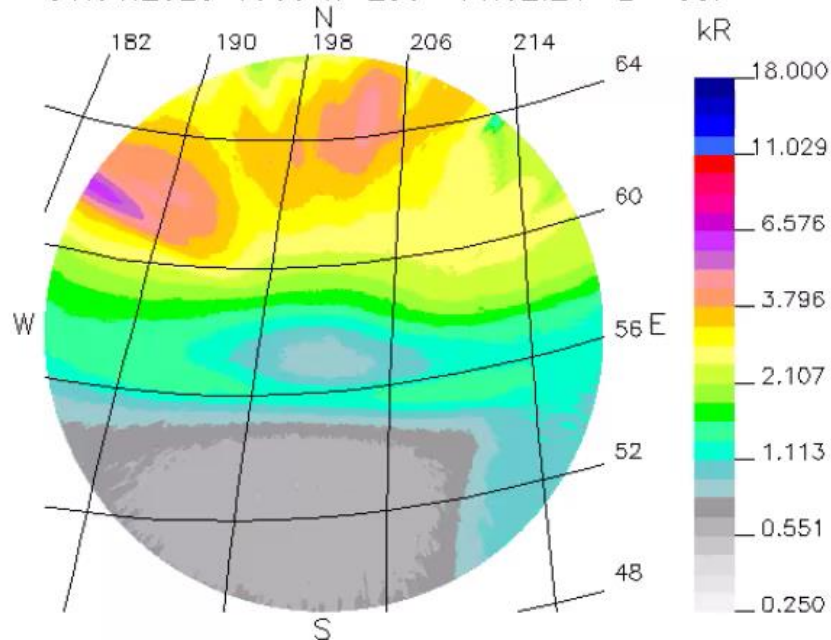
- Уменьшение X-компоненты магнитного поля в ночном секторе MLT и индекса SYM-H началось через ~30 минут после начала роста E_u утром-вечер.
- Это указывает на связь начала главной фазы бури с магнитным эффектом магнитосферных токов на ночной стороне в результате усиления конвекции.
- На магнитограммах выделены интервалы времени двух интенсивных суббурь.

Изображения всего неба в эмиссиях 630 [OI] и 486.1 (H β) нм во время наблюдений протонного и электронного сияний 1 января 2025 г

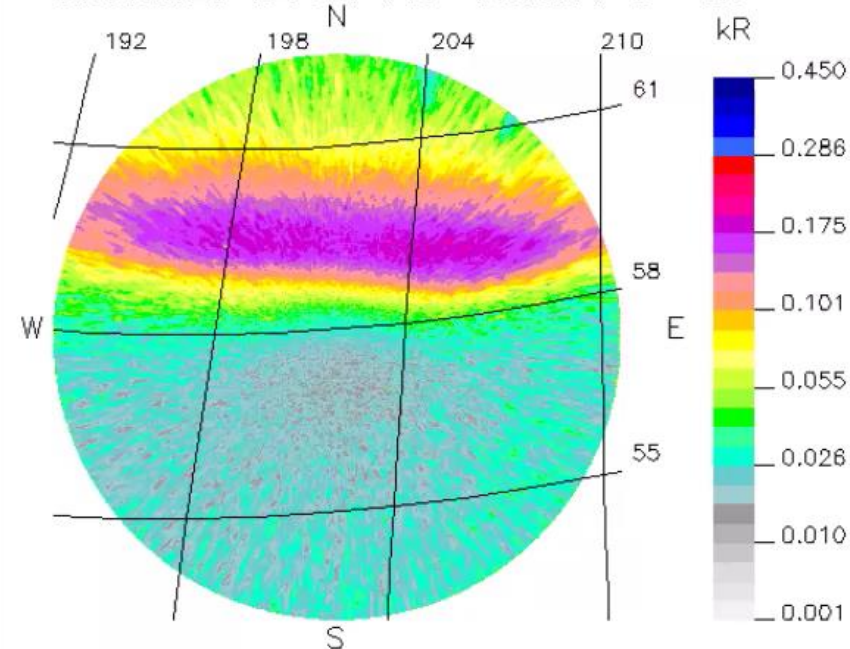


•Приведены изображения в эмиссиях 630 и 486.1 нм в проекции на поверхность Земли в геомагнитных координатах для шести моментов времени.

01.01.2025 6300 h=250 11:02:24 z= 80.

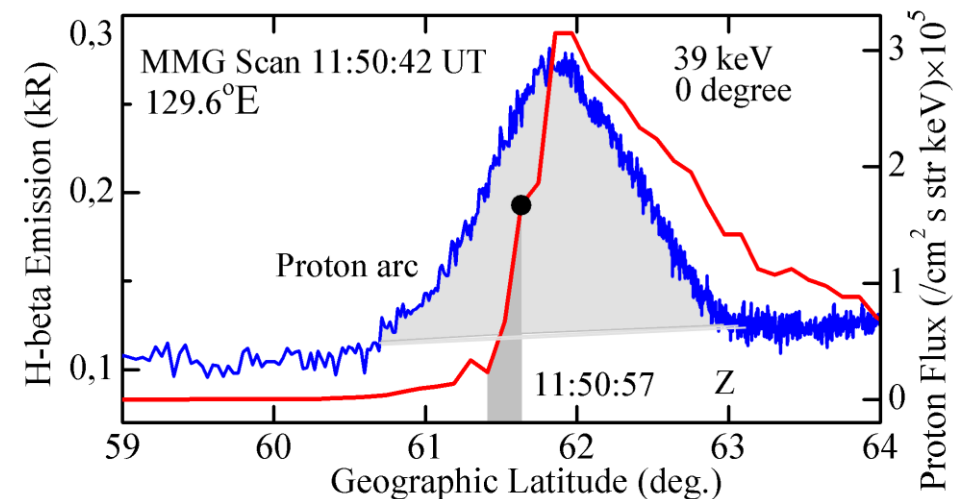
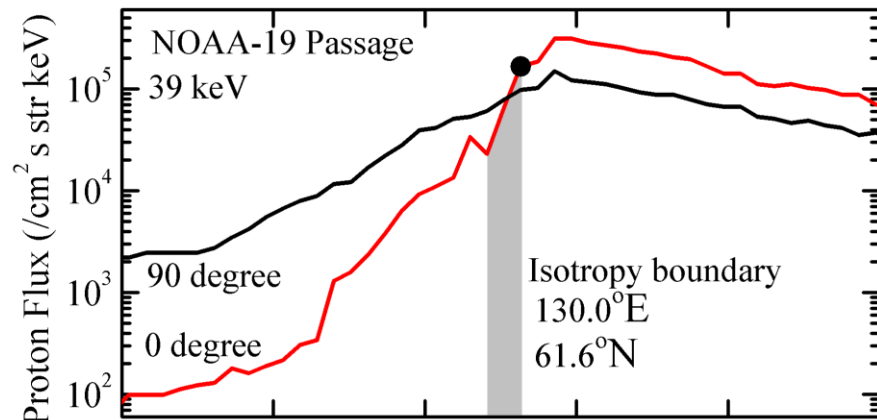
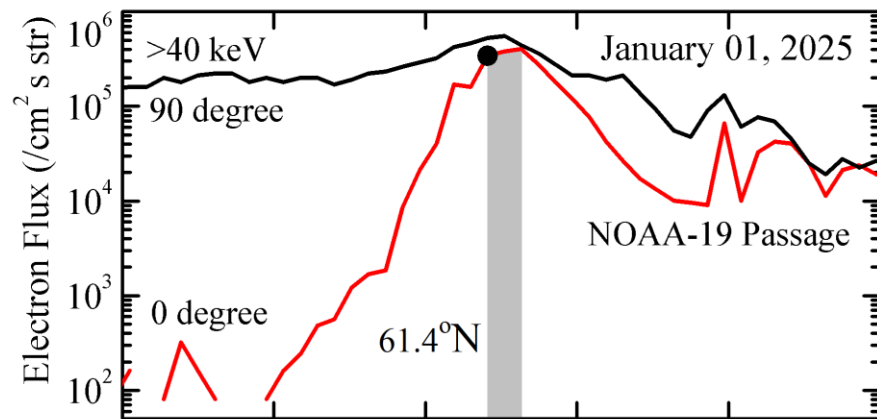


01.01.2025 4861 h=110 11:02:36 z= 80.



Динамика протонного и электронного сияний во время магнитной бури 01.01.2025 в интервале 1102-1330 UT с ускорением в 600 раз (Фильм)

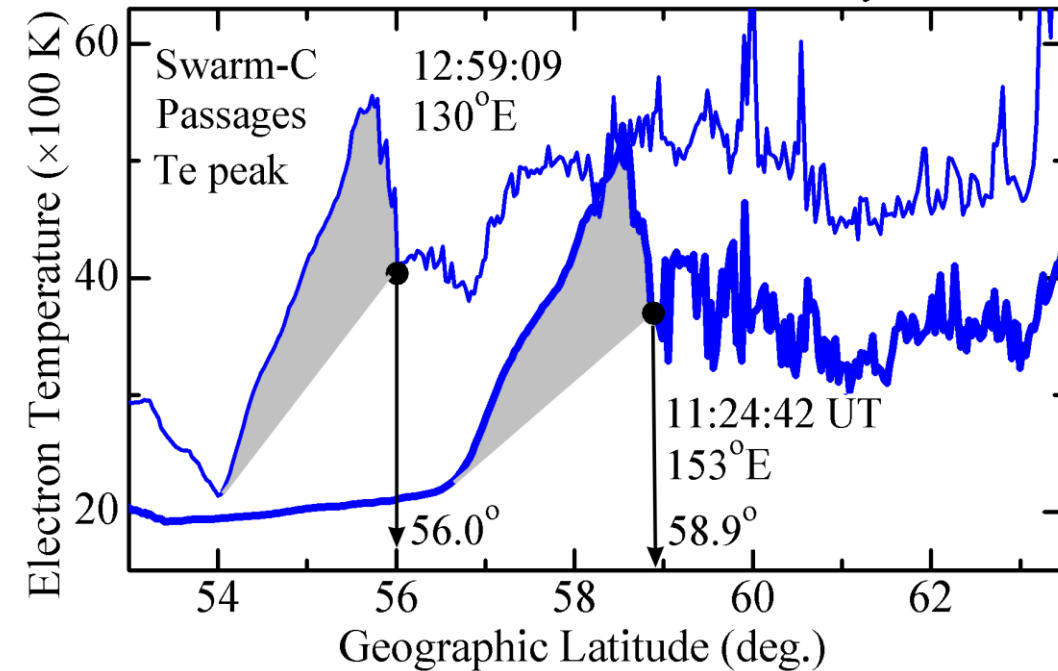
- Вторая активизация после резкого роста N_p проявилась в движении полосы в эмиссии H-beta от северного горизонта через зенит станции, а затем, и в эмиссии 630 нм со скоростью ~ 180 м/с.
- После ~ 12 UT наблюдалось повторное возникновение и движение к экватору полосы в H-beta.
- Далее, протонное сияние регистрировалось на экваториальной границе расширенной зоны сияний, наблюдаемой в красной эмиссии на геомагнитных широтах $52-64^\circ$ (электронных сияний).



Сопоставление изотропной границы потоков энергичных частиц с положением протонной дуги в событии 01 января 2025 г.

- Спутник NOAA-19 зарегистрировал изотропную границу потоков энергичных протонов и электронов в ~1151 UT на географической широте ~61.6° и ~61.4°, соответственно, вблизи меридиана станции наблюдений.
- Широтное распределение потока высыпаящихся протонов в линейном масштабе соответствует положению протонного сияния в это время.

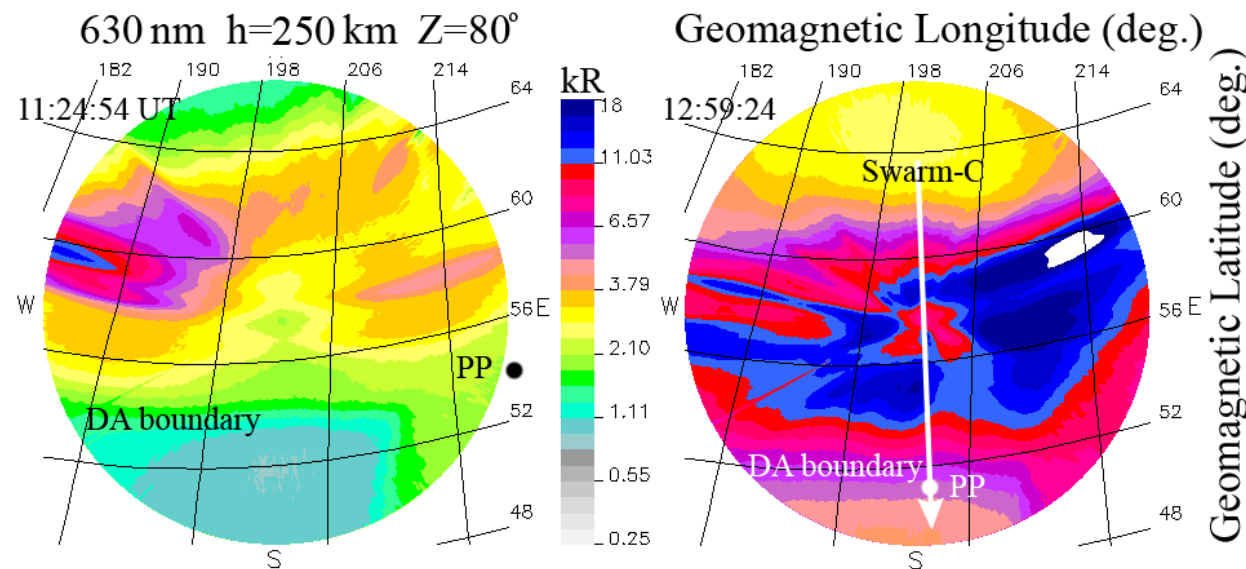
January 01, 2025



Динамика положения плазмопаузы по измерениям T_e пика на спутнике Swarm-C 1 января 2025 г.

- Два прохода спутника Swarm-C в ~1125 и ~1259 UT показали быстрое смещение к экватору T_e пика.
- Полярный край T_e пика отображал изменение положения проекции плазмопаузы во время главной фазы магнитной бури.
- Изотропная граница в ~1151 UT находилась на $\sim 1.5^\circ$ поларнее широты проекции плазмопаузы.

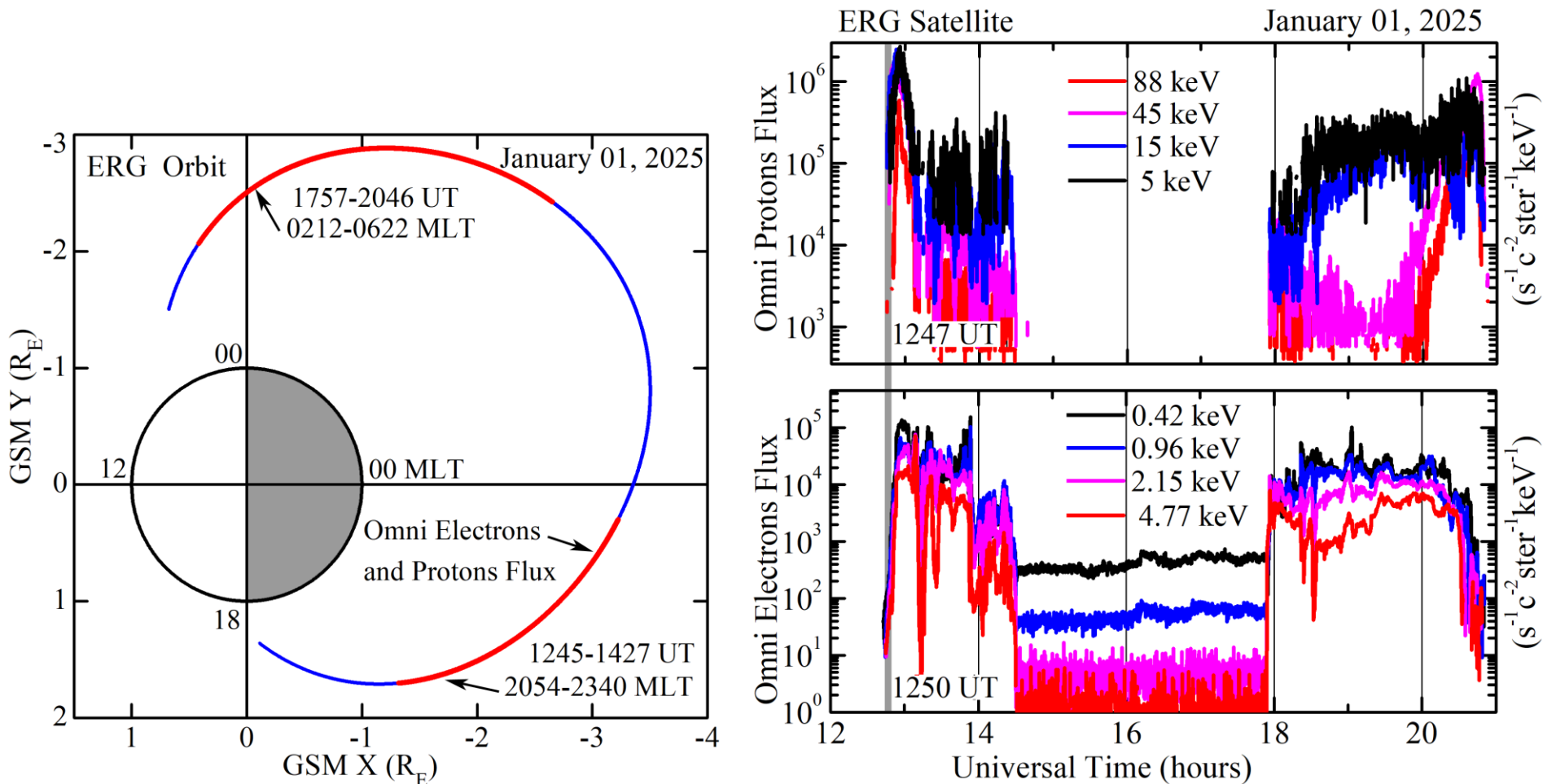
January 01, 2025



- На изображениях в эмиссии 630 нм показано положение плазмопаузы (полярного края T_e пика) для двух проходов спутника Swarm-C.

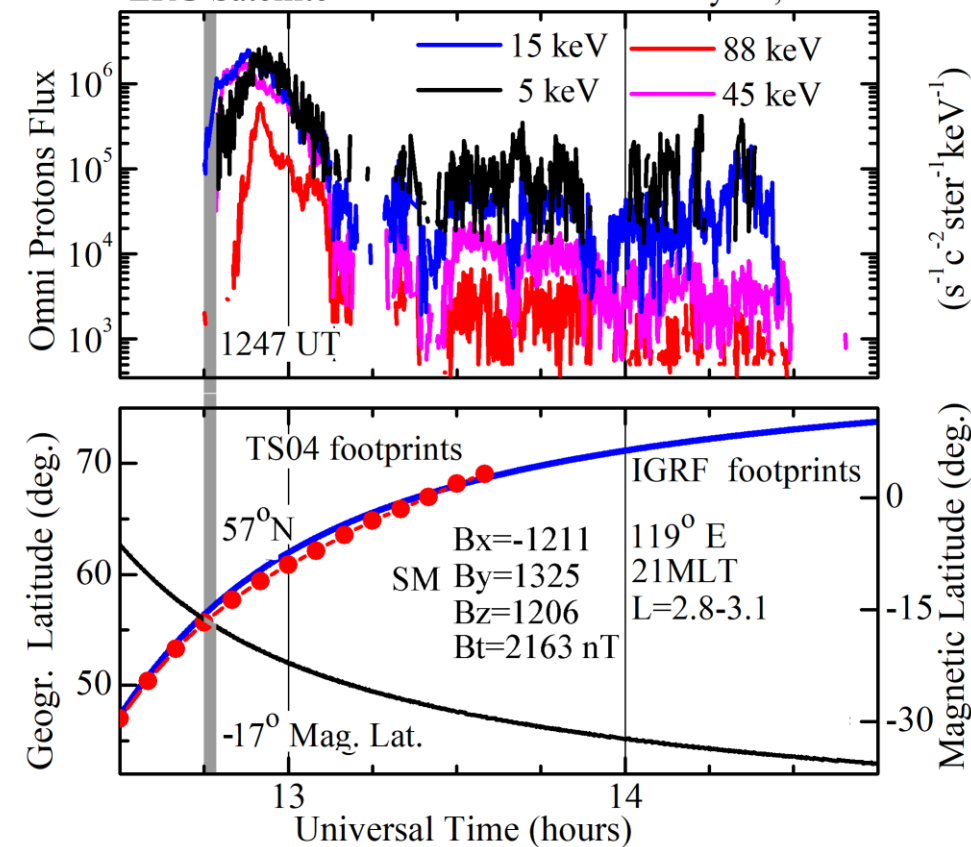
Измерения потоков энергичных частиц на спутнике ERG во время наблюдений сияний 1 января 2025 г.

• На орбите спутника ERG в GSM координатах показаны интервалы с регистрацией потоков протонов и электронов, усредненных по питч углам. • Внутренняя граница потоков была зарегистрирована в вечернем и утреннем секторах MLT. • Интенсивность потоков частиц для ряда энергий приведена на диаграмме справа. • Высыпания электронов с энергиями 0.4-2 кэВ вызывают сияния в эмиссии 630.0 нм.



ERG Satellite

January 01, 2025



Сопоставление внутренней границы потоков энергичных частиц в магнитосфере с экваториальным краем сияний

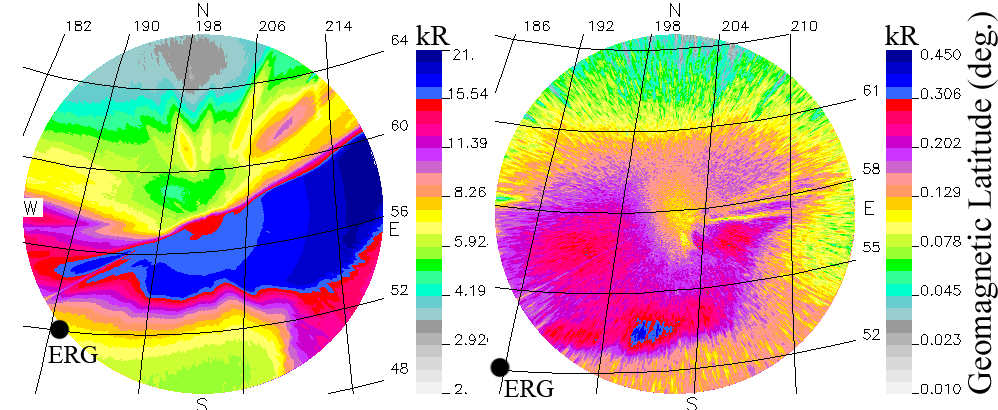
- Околоземная граница потока протонов была измерена в 1247 UT (~ 21 MLT) на дипольной широте -17° , в окрестности геомагнитного экватора.
- Согласно моделям IGRF и TS04 проекция этой границы вдоль магнитного поля находилась на географической широте $\sim 57^\circ$.
- Магнитные измерения показывают, что граница потока частиц была в области квази-дипольного магнитного поля на $L \sim 2.8-3.1$.
- На изображениях сияний, внизу, показано положение проекции околоземной границы потока протонов. Видно, что граница потока примерно совпадает с экваториальным краем протонного и электронного сияний.

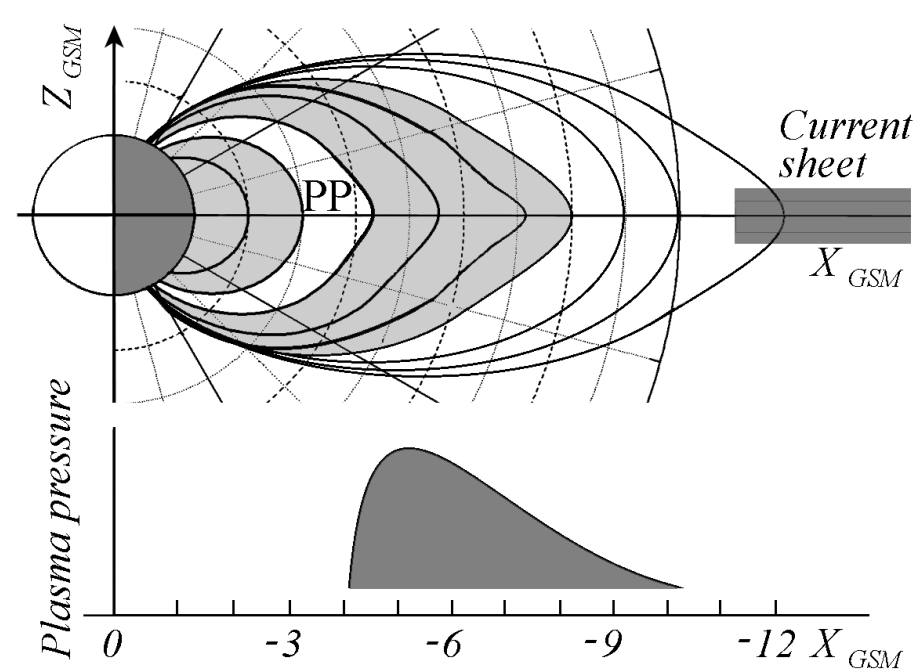
January 01, 2025

6300 h=250 12:47:24 z= 80.

Geomagnetic Longitude (deg.)

4861 h=120 12:45:06 z= 84.





Заключение

- Интенсивные сияния в событии 01.01.2025 возникли как следствие роста электрического поля E_y утро-вечер и плотности солнечного ветра.
- Быстрое движение дискретных сияний от северного горизонта к экватору на широтах ДА сначала наблюдалось в эмиссии H-beta, а затем, 630 нм [OI].
- Далее, протонное сияние располагалось на экваториальной границе расширенной зоны электронных сияний в эмиссии 630.0 нм.

- На спутниках NOAA-19 и Swarm-C было определено положение изотропной границы и плазмопаузы во время наблюдения сияний.
- Измерения на спутнике ERG показали, что внутренняя граница потоков протонов и электронов была в области квази-дипольного магнитного поля на $L \sim 2.8-3.1$. Проекция границы была на $1-1.5^\circ$ полярнее положения плазмопаузы и примерно совпадала с экваториальным краем сияний.
- Мы полагаем, что изотропизация потоков энергичных протонов в этом событии была вызвана увеличением радиального градиента ионного давления на экваториальной границе зоны сияний и, соответственно, ростом поперечного тока во внутренней магнитосфере (смотреть схему).