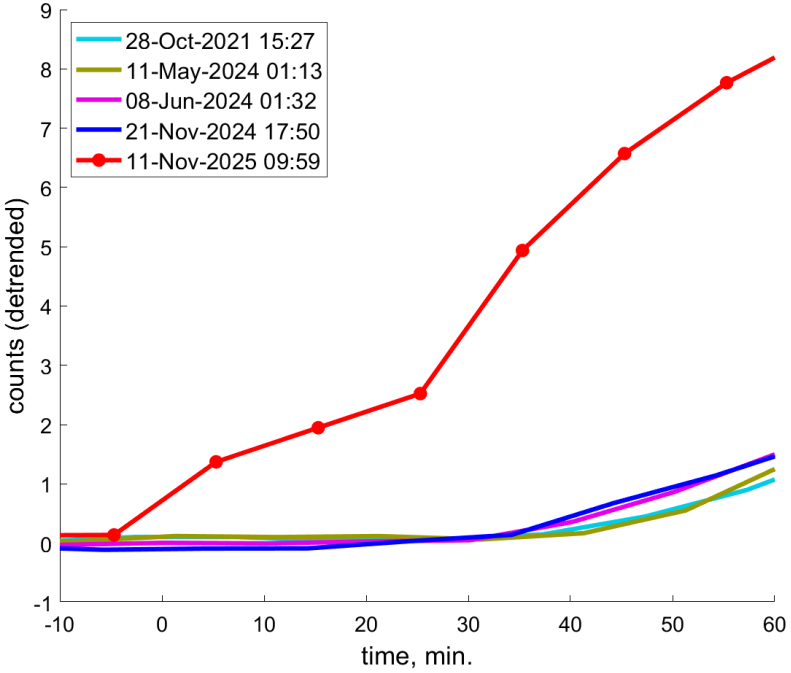
ПЯТЬ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ GLE-СОБЫТИЙ 25-ГО ЦИКЛА ПО ДАННЫМ МОНИТОРА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ART-XC/Спектр РГ

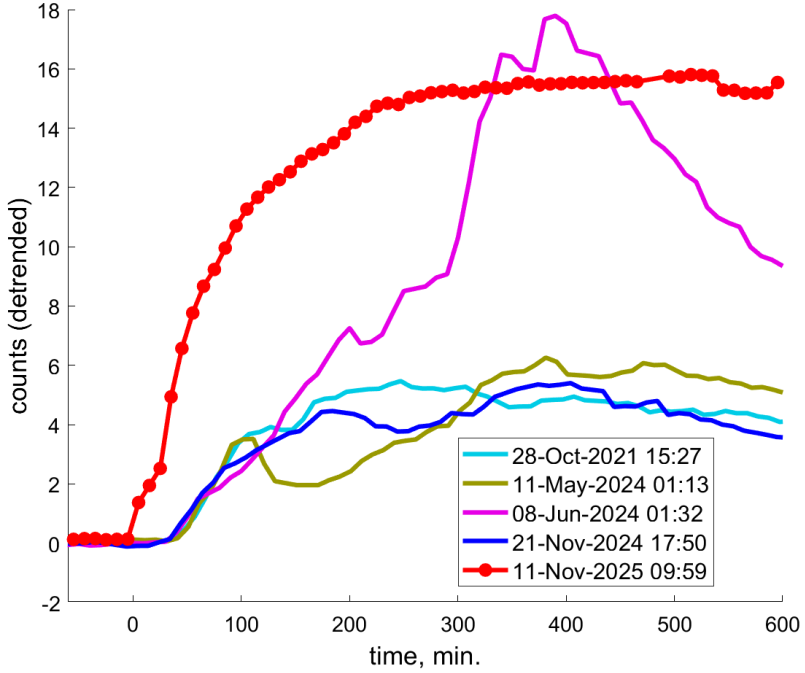
[1]Ожередов В.А., [2]Григорьева И.Ю., [1]Садовский А.М., [1]Струминский А.Б.

[1]ИКИ РАН, [2]ГАО РАН

Постановка задачи

- Цель параметризации спектра – научиться определять характеристики модели ускорения протонов в стохастическом поле, позволяющей получать энергетический спектр частиц, близкий к таковому в конкретных событиях





Пучки исходных сигналов ART-XC в разном временном масштабе с вычтенным фоном. Все GLE кроме 11.11.2025, в первый час похожи друг на друга

Приближение степенной зависимостью, Band-function и Элиссоном-Рамати

$$S = \begin{cases} CE^{\gamma_1}\exp\left(-\frac{E}{E_0}\right), \text{ если } E < (\gamma_1 - \gamma_2)E_0 \\ C\{[(\gamma_1 - \gamma_2)E_0]^{\gamma_1 - \gamma_2}\}\exp\big(-(\gamma_1 - \gamma_2)\big)E^{\gamma_2}, \text{ если } E \geq (\gamma_1 - \gamma_2)E_0 \end{cases}$$

$\ln(S)$ линеаризуется через

$$\varphi_0 = 1,\ \varphi_1 = \begin{cases} \ln E - \frac{E}{E^*},\ E < E^* \\ \ln E^* - 1,\ E \geq E^* \end{cases},\ \varphi_2 = \begin{cases} \frac{E}{E^*},\ E < E^* \\ \ln E - \ln E^* + 1,\ E \geq E^* \end{cases}$$

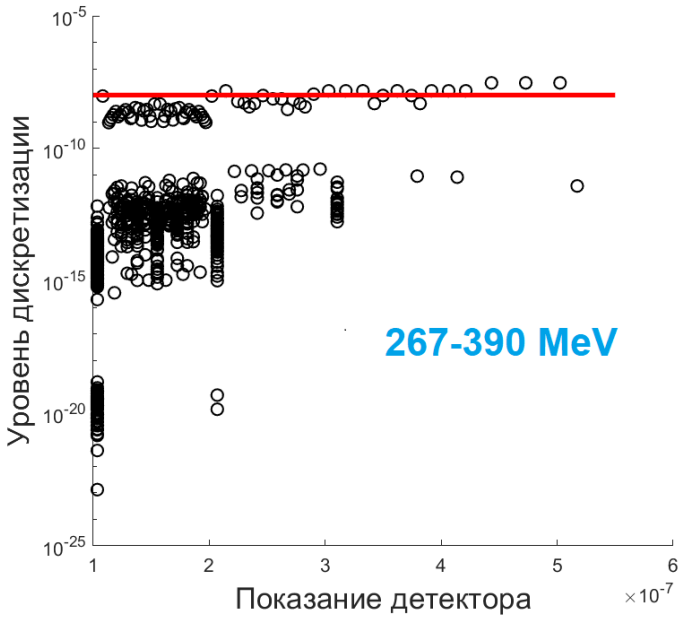
где $E^* = (\gamma_1 - \gamma_2)E_0$ и $\mathrm{A} = [\varphi_0;\ \varphi_1;\ \varphi_2]$;

тогда $[\ln C;\ \gamma_1;\ \gamma_2] \approx (A'A)^{-1}A'\ln(S)$

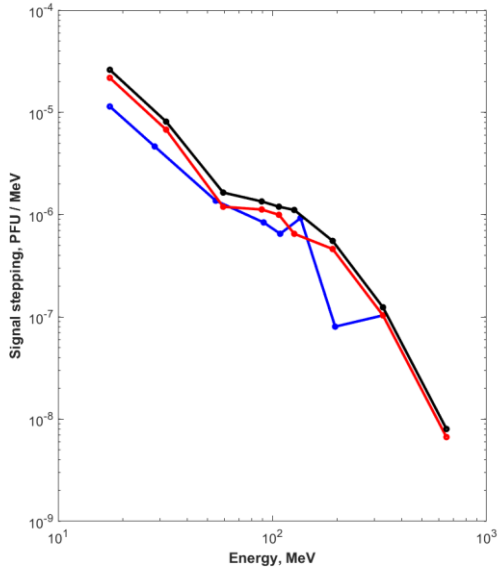
Уровень фона детекторов

- Отсчет дифференциального спектра GOES в канале это произведение числа «пойманных» частиц ***n*** на геометрический фактор канала ***G***
- Отсюда, верхняя граница уровня фона это такое минимальное значение ***nG***, для которого начинает выполняться неравенство

$$\sqrt{n} << n$$



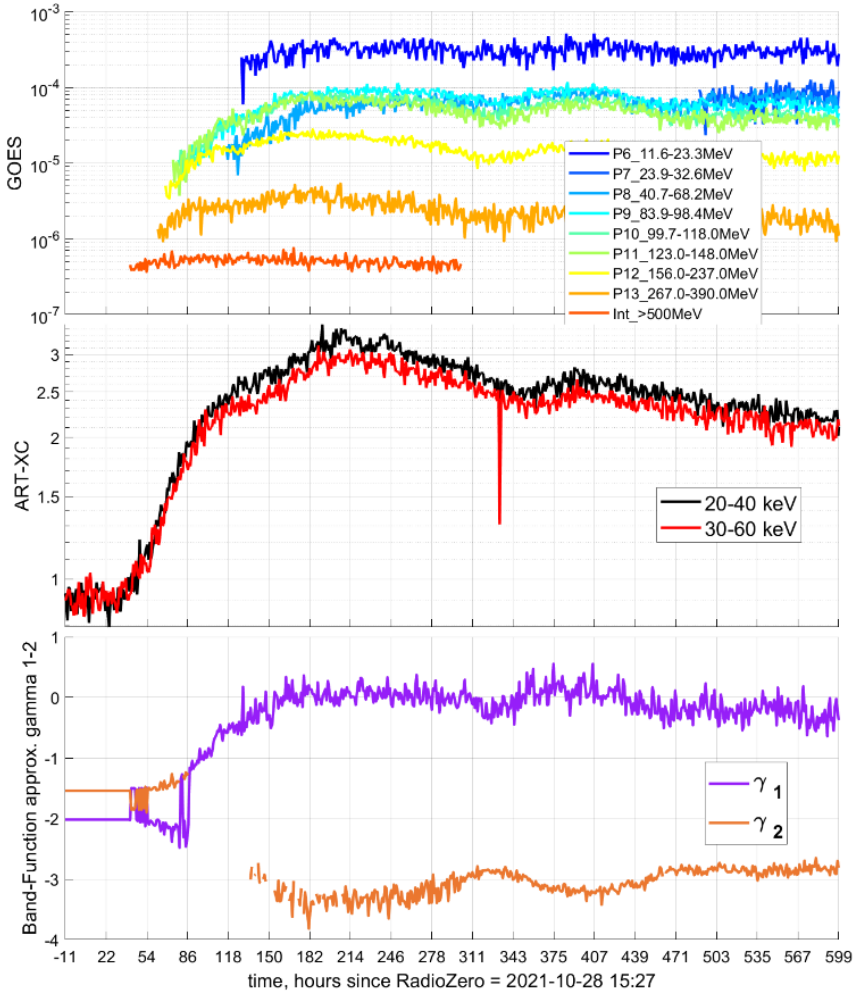
Верхний уровень дискретизации это значение геометрического фактора ***(stepping)***



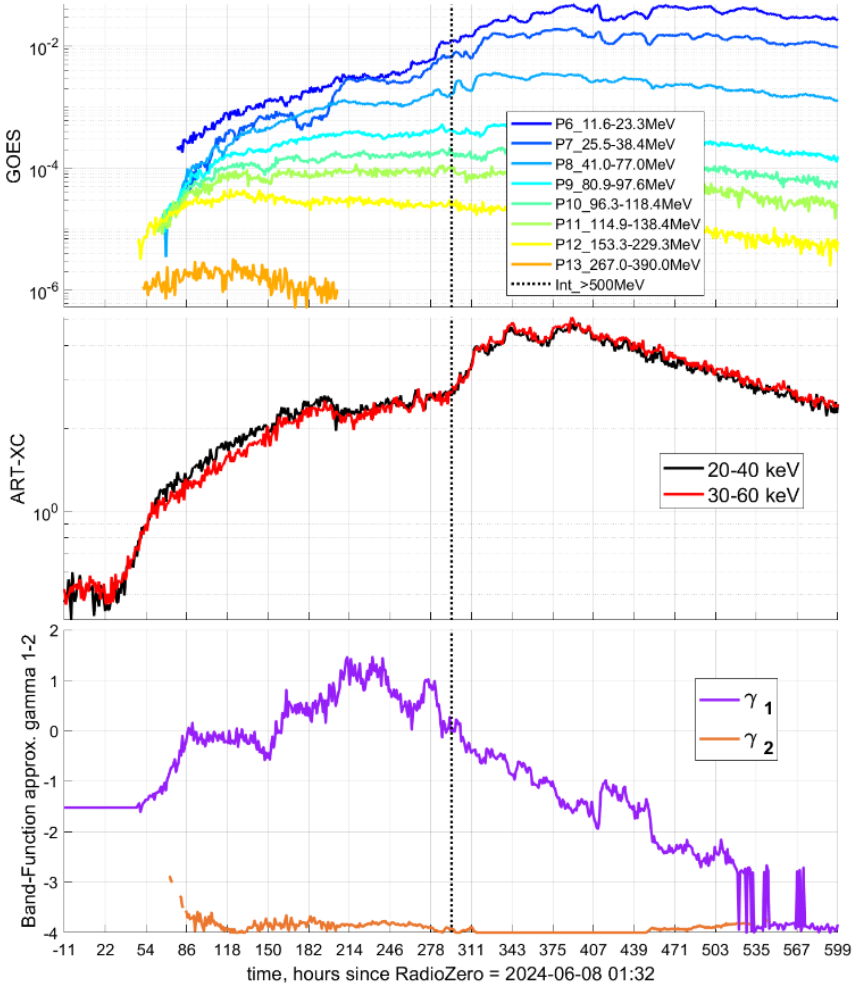
Зависимость ***G*** от энергии канала в период сильной и слабой солнечной активности (черная кривая - максимум)

Сравнение динамики спектров «жесткого» и «мягкого» GLE-события на 10-часовом интервале

GLE-73

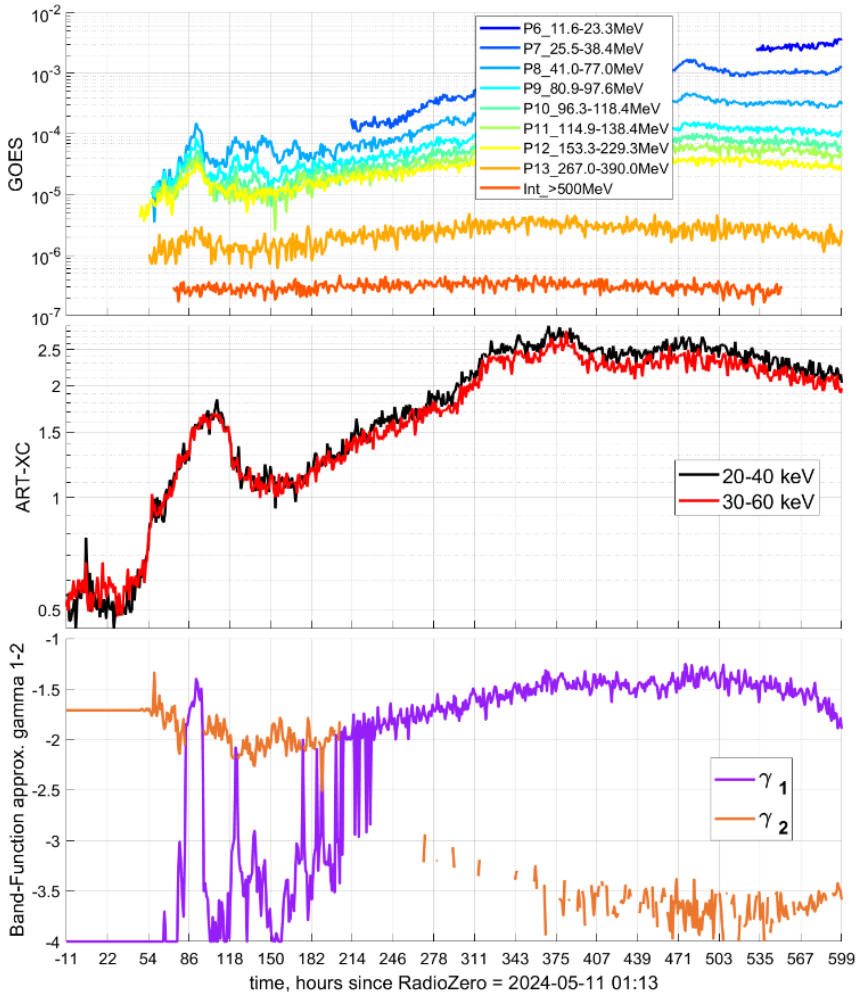


GLE-75

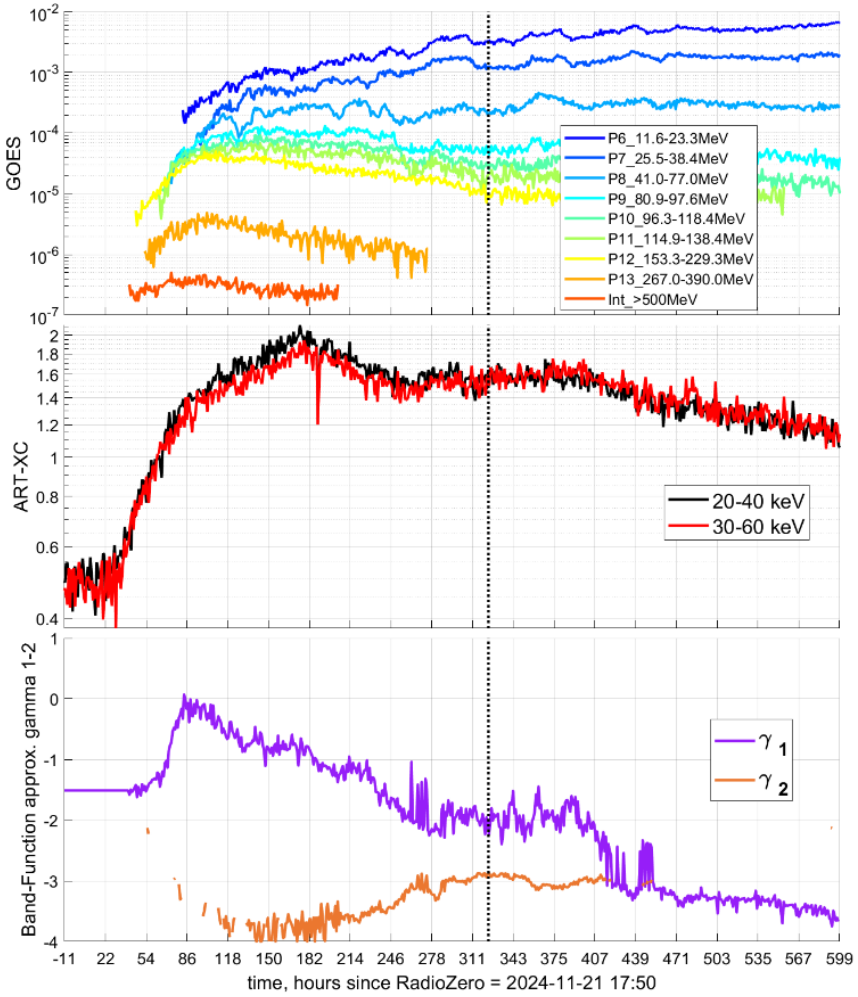


Сравнение динамики спектров «жесткого» и «мягкого» GLE-события на 10-часовом интервале - 2

GLE-74

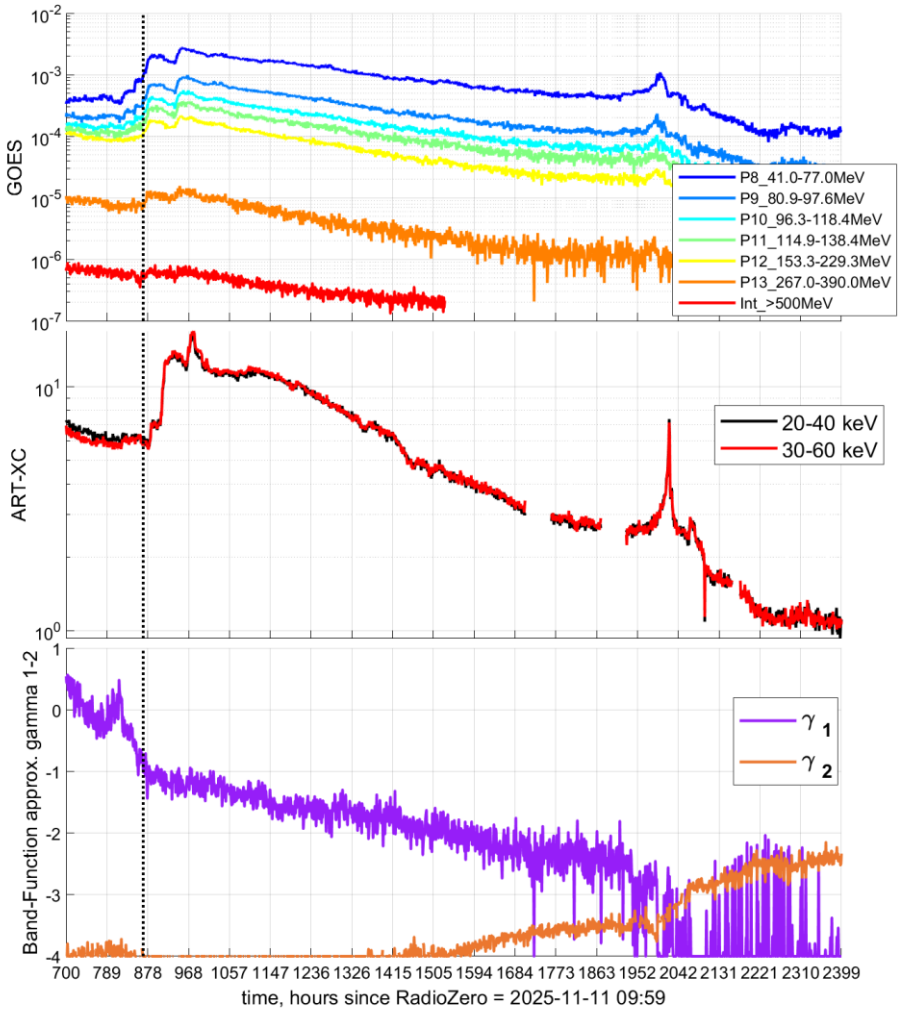


GLE-76

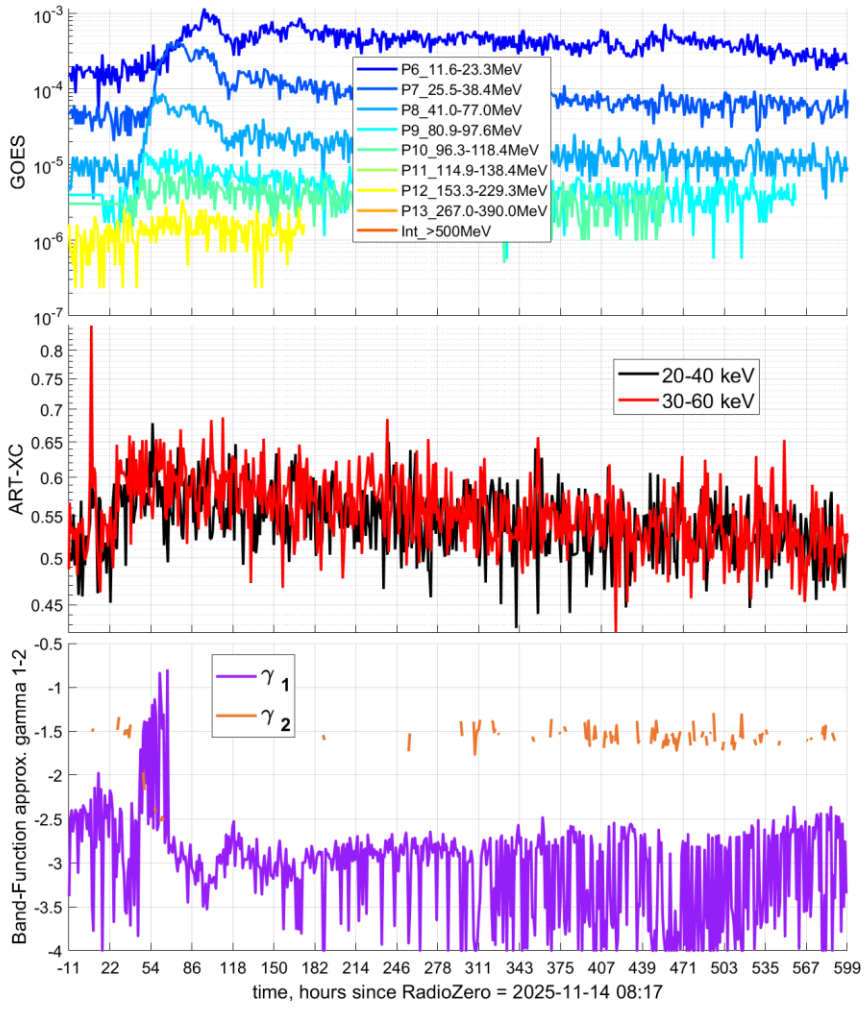


Сравнение динамики спектров Storm Particle Event и обычного SEP на 10-часовом интервале

SPE

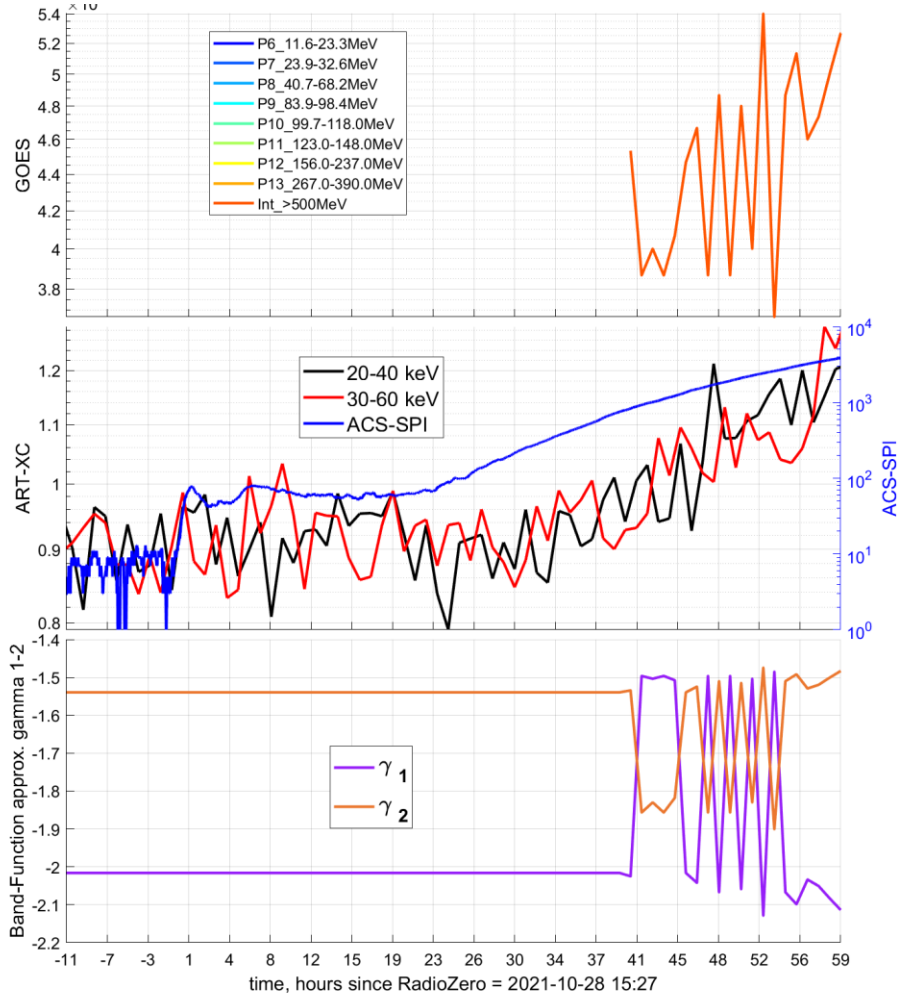


Ordinary SEP

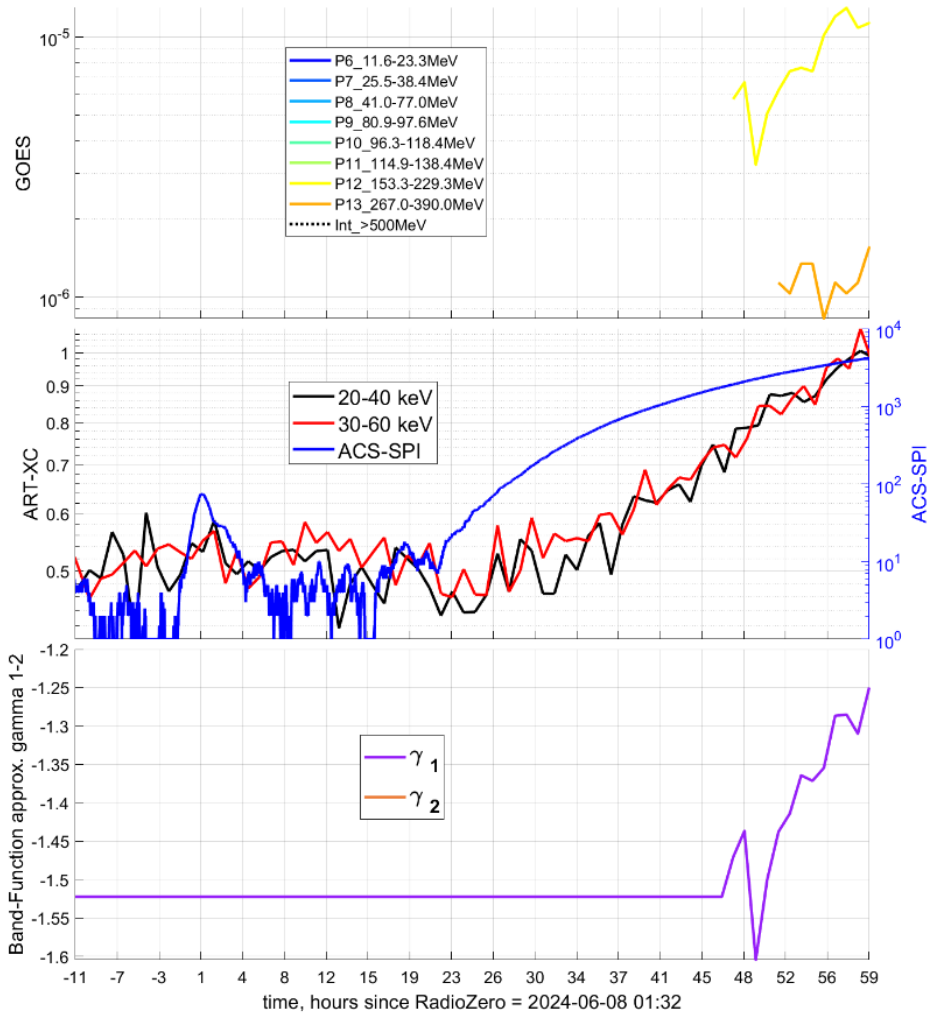


Сравнение динамики спектров «жесткого» и «мягкого» GLE-события на 1-часовом интервале

GLE-73

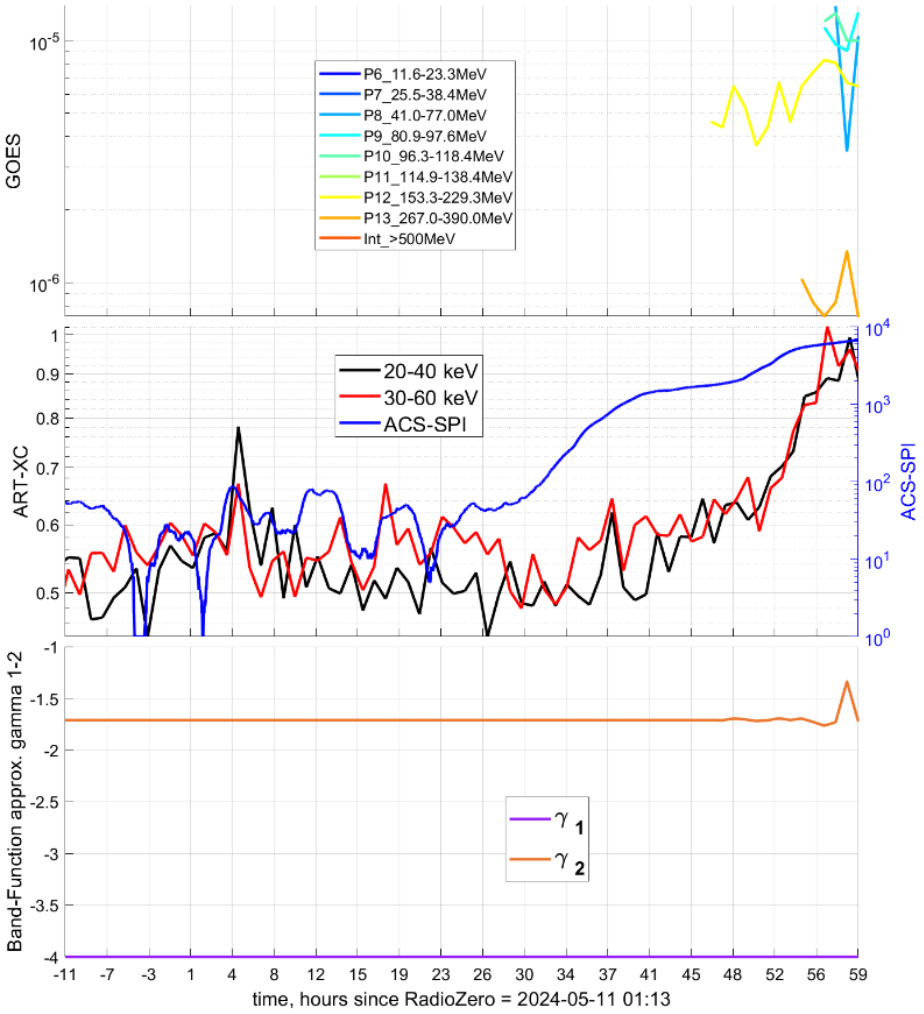


GLE-75

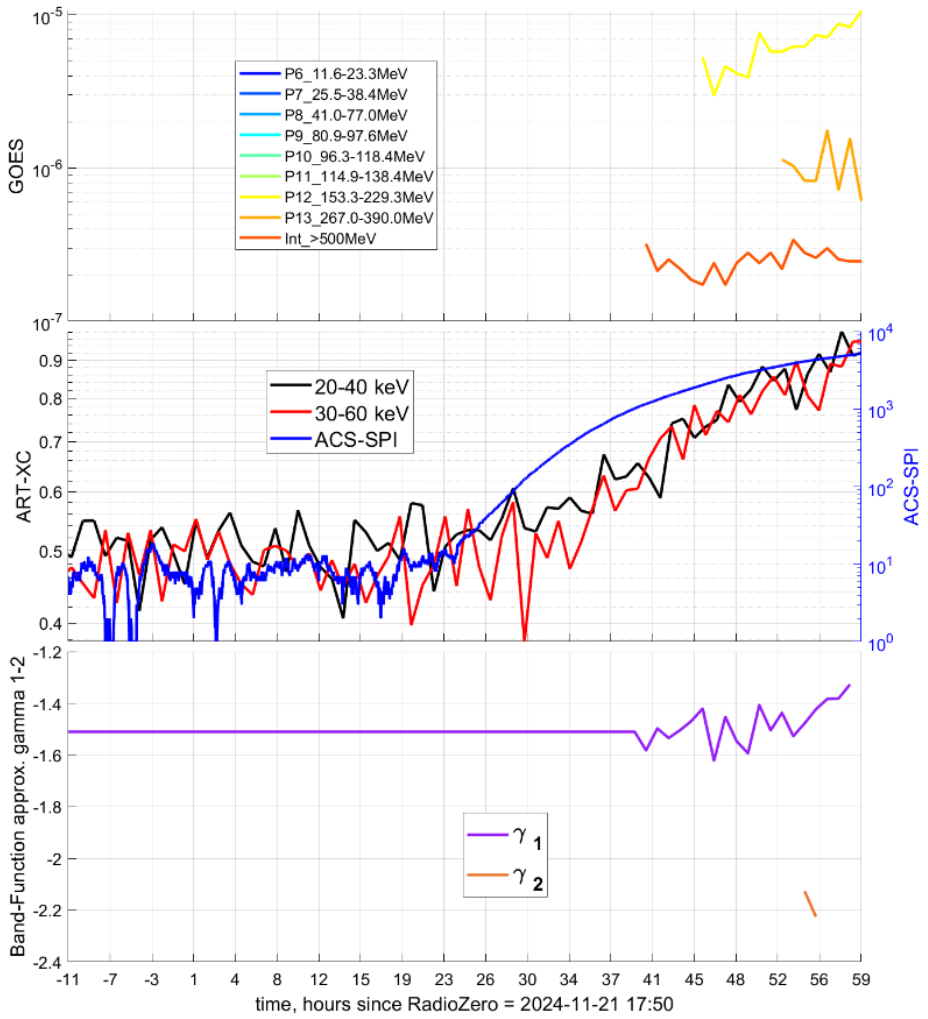


Сравнение динамики спектров «жесткого» и «мягкого» GLE-события на 1-часовом интервале - 2

GLE-74

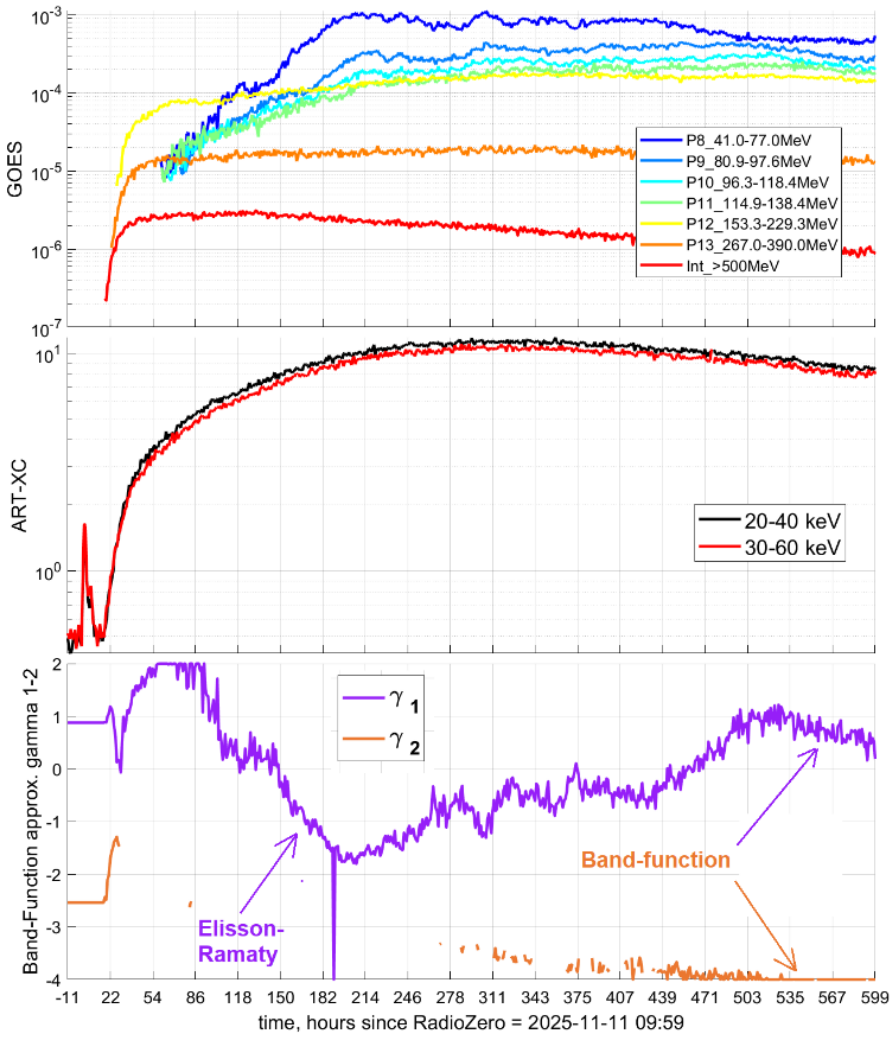


GLE-76

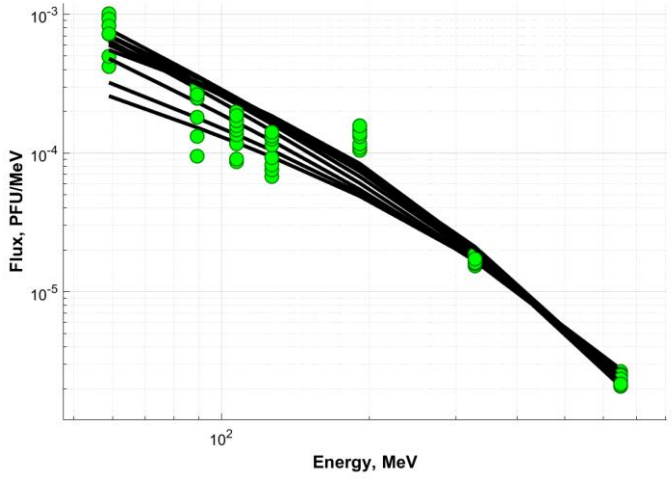


Динамический спектр GLE-77 и примеры аппроксимаций двух видов

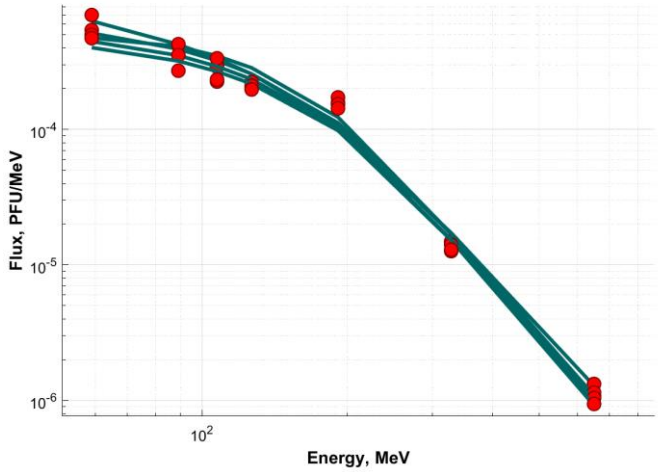
GLE-77



Elisson-Ramaty



Band-function



Выводы

- Параметризация спектра позволяет количественно моделировать различия режимов ускорения протонов
- ACS-SPI «видит» протонное возрастание на горизонте порядка десяти минут после радио-нуля (15400/8800MHz). ART-XC «видит» протонное возрастание примерно на 20 минут позже ACS, а GOES – еще на 20 минут позже
- Данные с каналов ART-XC в течении первых десятков минут после начала вспышки позволяют предсказывать спектральные характеристики протонного события еще до появления достоверно различимого сигнала на детекторах GOES