

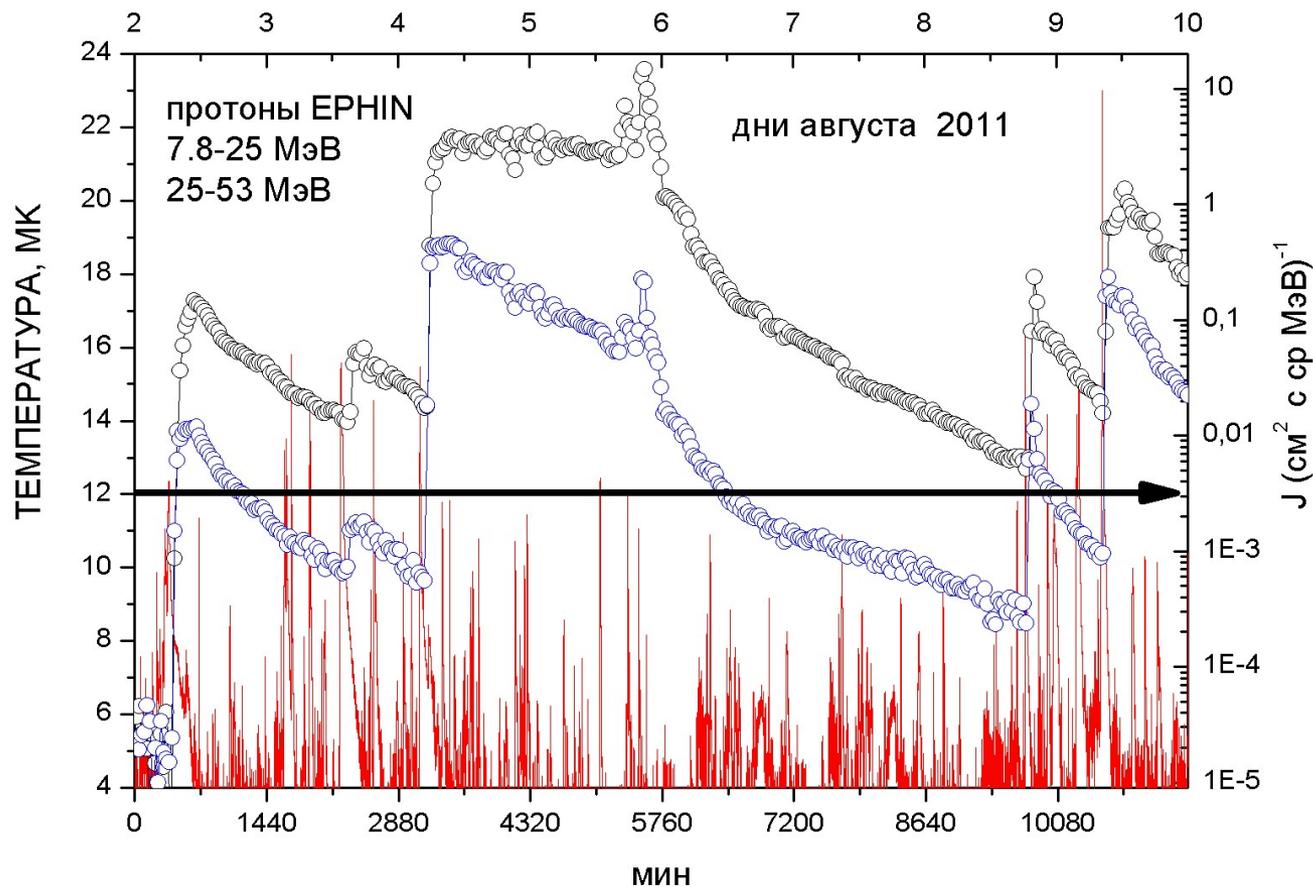


# ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ И СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ В АВГУСТЕ 2011 ГОДА

А.Н. Шаховская<sup>1</sup>, И.Ю. Григорьева<sup>2</sup>,

*<sup>2</sup> ГАО РАН, Санкт-Петербург*

*<sup>1</sup> КрАО РАН, пгт. Научный, Республика Крым*



2-10 августа 2011,  
поток протонов —  
ERHIN\_SOHO  
(черные и синие  
кружки);  
T (МК) — SXR  
излучение плазмы  
GOES (красная  
кривая), пороговая T  
ускорения протонов  
(12МК) — (черная  
стрелка)

- Во временных профилях потоков протонов SOHO\_ERHIN (черные и синие кружки) видно 5 возрастных, связанных с родительскими солнечными вспышками.
- Наибольшее 6-ое возрастание (максимум потока протонов за этот период) было вблизи момента SC (внезапное начало магнитной бури) 5-ого августа.

Отличительная особенность  
вспышек с КВМ и СП – развитие  
процессов вверх в корону  
(излучение на частотах  $< 1415$  МГц).  
Радиоизлучение II и IV типов.

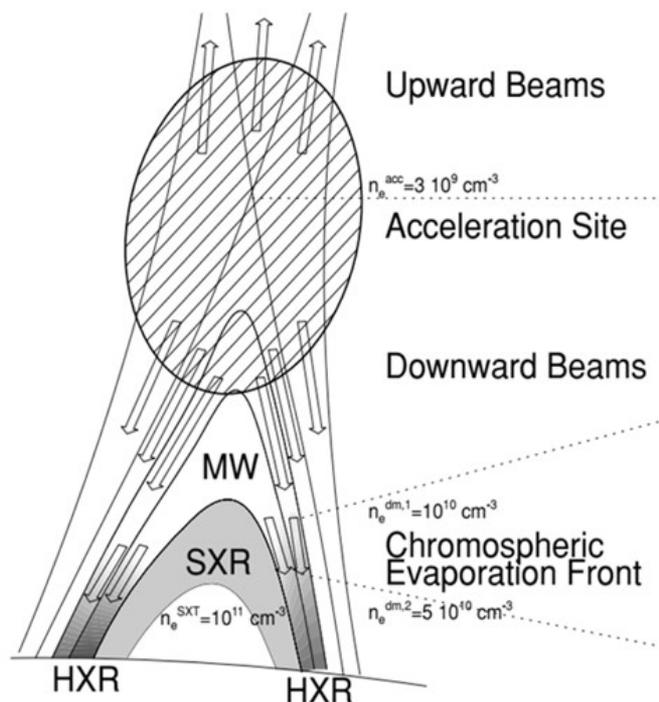
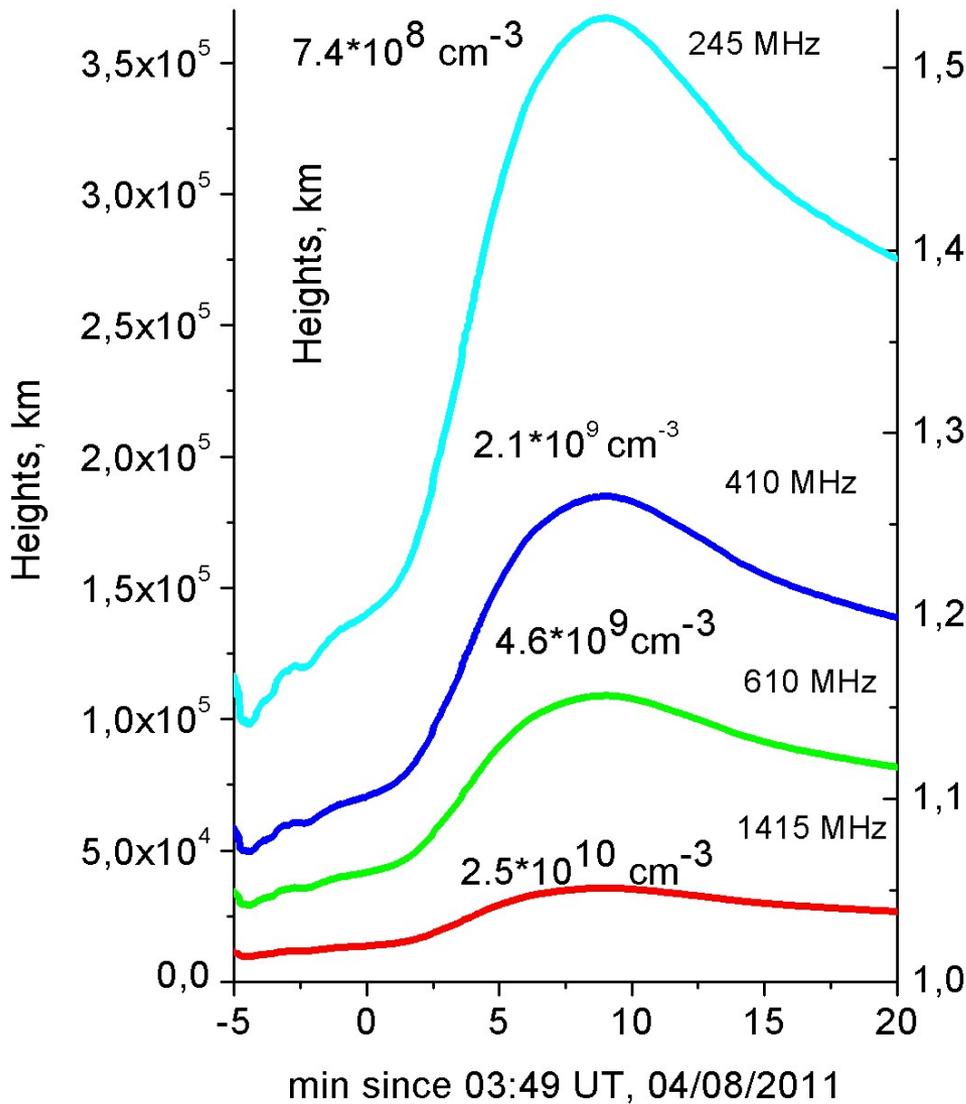


Fig.5. Aschwanden M.J., The localization of particle acceleration sites in solar flares and CMEs, Space Sc. Rev.. 124. 361. 2006



**Схема развития эруптивной вспышки по представлениям Григорьевой и др. (2023) «Корональное распространение солнечных протонов во время и после их стохастического ускорения» Косм. Иссл. Т. 61 №3 с. 230-241.**

# Линейные размеры вспышки M9.3 04.08.2011



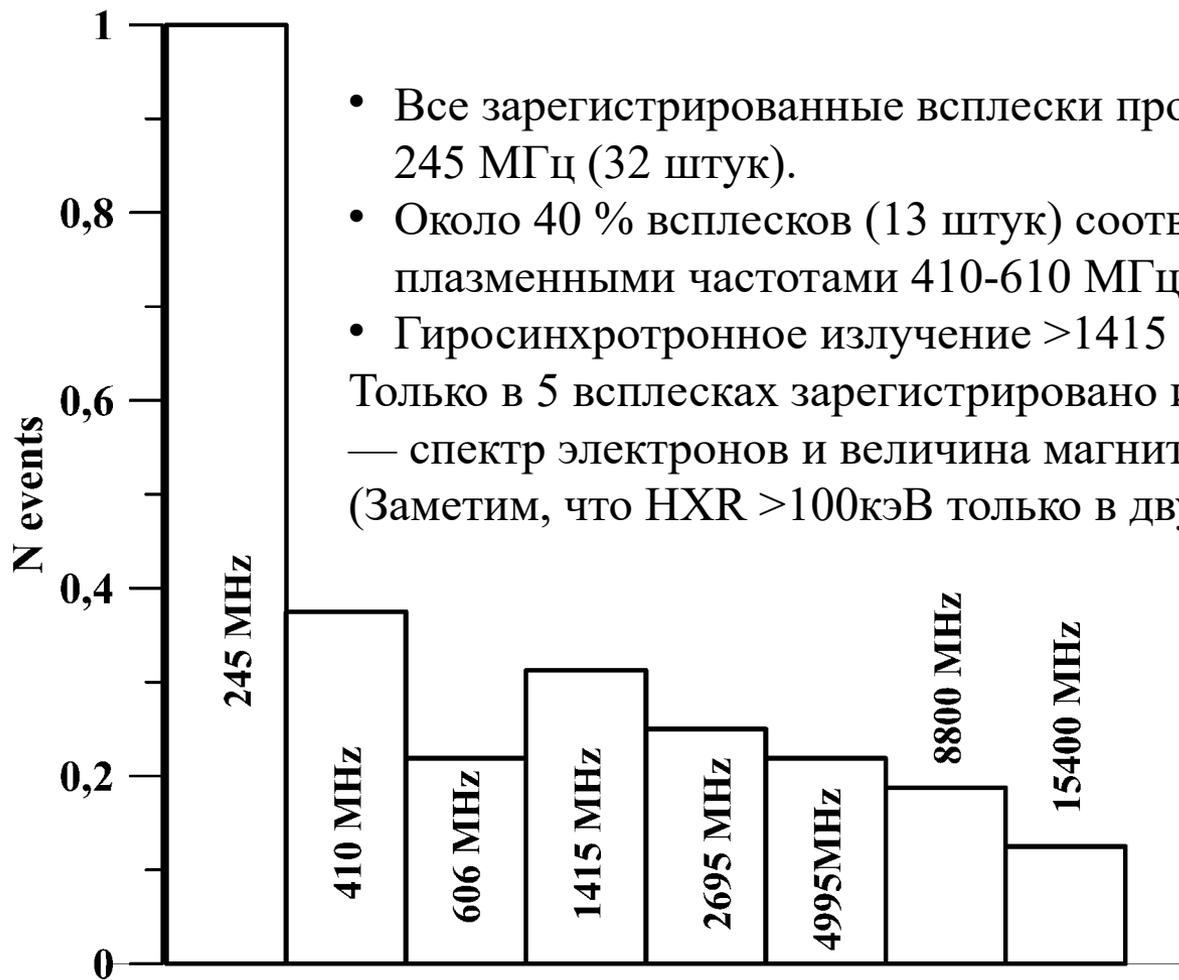
Эруптивная вспышка – «слойка», содержащая плазму с плотностями, различающимися на 1-2 порядка.

Эруптивная вспышка может «включать в себя» замкнутые вспышки (плотные петли размером < 50 Мм).

Эрупция (перезамыкание силовых линий и расширение плазмы вверх в корону) происходит на высотах > 50 Мм.

Линейные размеры SXR источника L (в предположении разных плотностей n), оцененные в M9.3 04.08.2011 для плотностей n (частот 1415-245 МГц),  $L = ((EM/2)/n^2)^{1/3}$

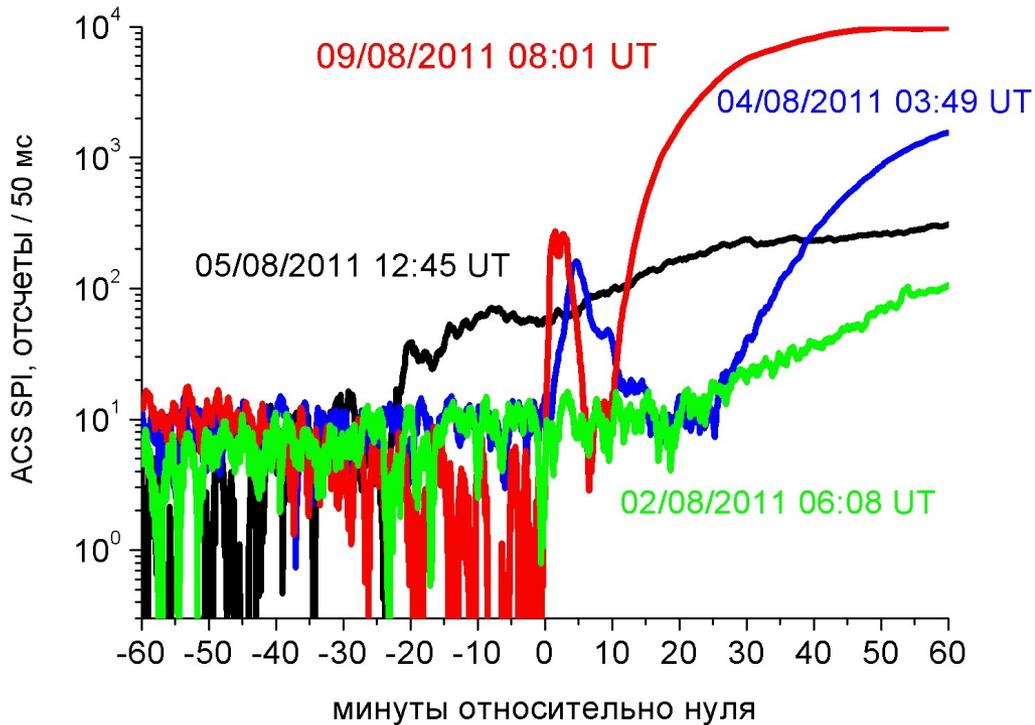
Они определяют диапазон высот  $(0.1-0.5) \cdot R_{\text{SUN}}$ .



Histogramm events 02-09.08.2011

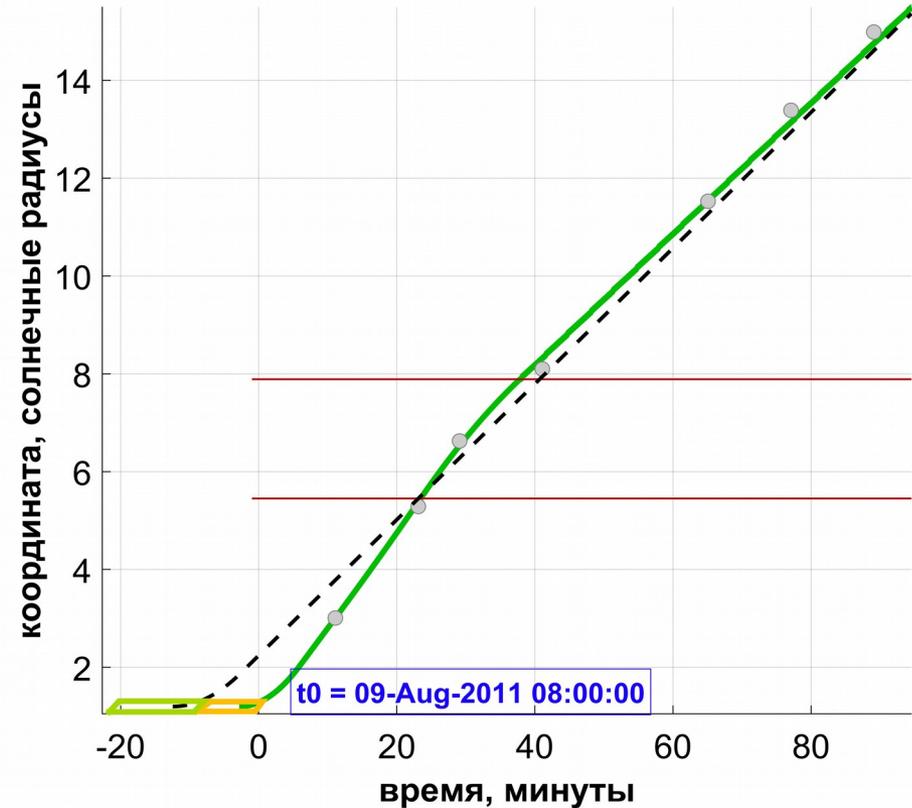
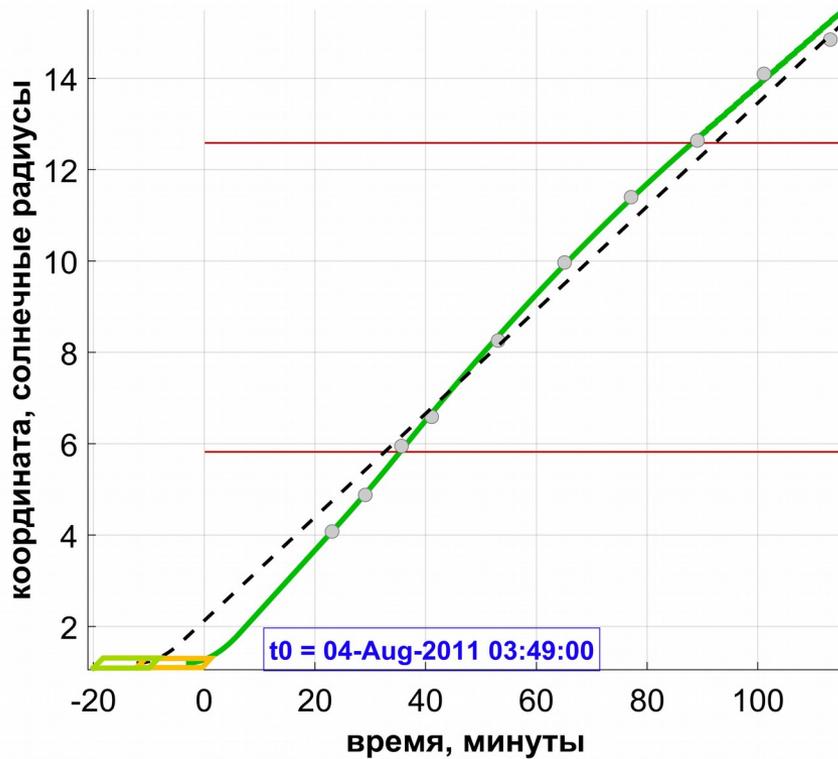
- Все зарегистрированные всплески проявили себя в короне на частоте 245 МГц (32 штук).
- Около 40 % всплесков (13 штук) соответствуют области ускорения с плазменными частотами 410-610 МГц.
- Гиротронное излучение  $>1415$  МГц в 30% (10 штук).  
Только в 5 всплесках зарегистрировано излучение на частоте 15.4 ГГц — спектр электронов и величина магнитного поля были достаточными. (Заметим, что HXR  $>100$ кэВ только в двух событиях.)

Число радио всплесков в выбранной АО на частотах RSTN, нормированное на число всплесков на наиболее встречающейся частоте (245 МГц) за 2-9 августа 2011.



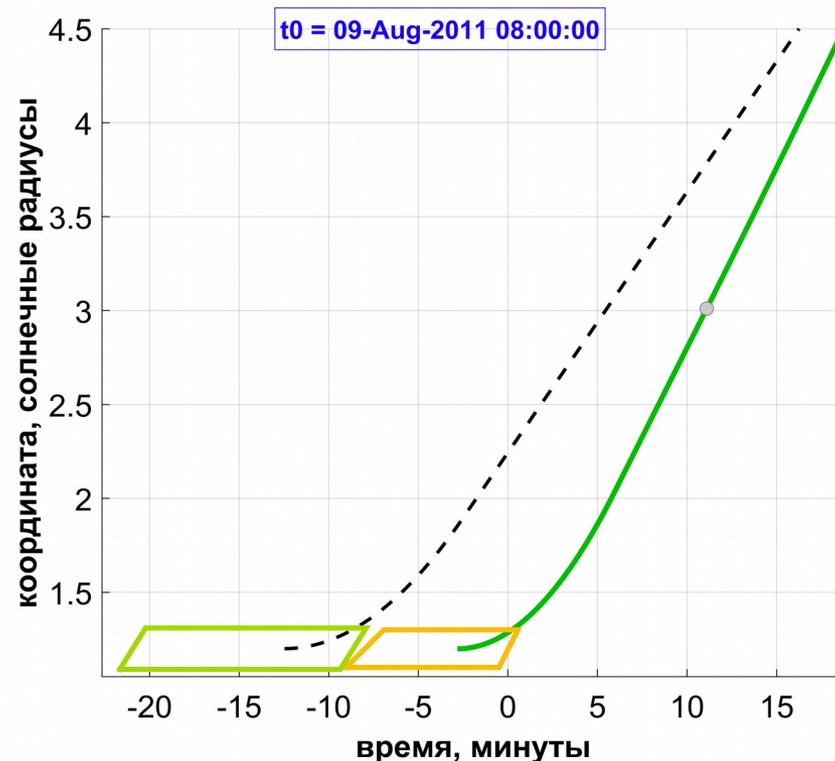
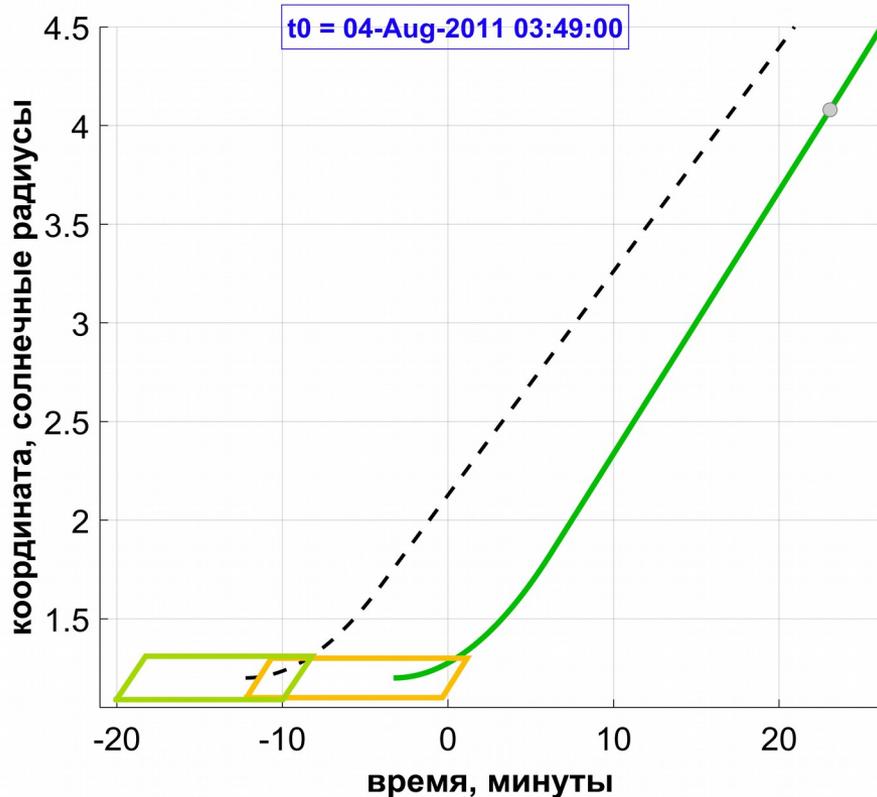
- Сглаженный за 1 мин темп счета ACS\_SP за 50 мс, фон вычтен — цветные кривые.
- Первичные солнечные фотоны  $>100$ кэВ только 4 и 9 августа на интервале 0-10 мин.
- Вторичные фотоны  $>100$ кэВ от взаимодействия с детектором пришедших солнечных протонов  $>100$  МэВ (2,4, 5 и 9 августа).

- На рисунке показан протонный сигнал ACS SPI, зарегистрированный в протонных событиях 2, 4 и 9 августа и вблизи SC 5 августа (см. каталог <http://swxdev.sinp.msu.ru>).
- Только два события 4-ого и 9-ого августа 2011 года отвечают критерию  $10 \text{ pfu} > 10 \text{ МэВ}$  согласно каталогу СПС (см. каталог <http://umbra.nascom.nasa.gov/SEP/>).
- Приход протонов  $>100$  МэВ на 10мин 9-ого августа соответствует темпу ускорения электронов  $>10 \text{ МэВ/с}$ , и позднее на 20мин 2-ого и 4-ого августа соответствует темпу ускорения электронов  $<1 \text{ МэВ/с}$ .
- Ниже будет показано, что протоны ускорялись во время ускорения КВМ.



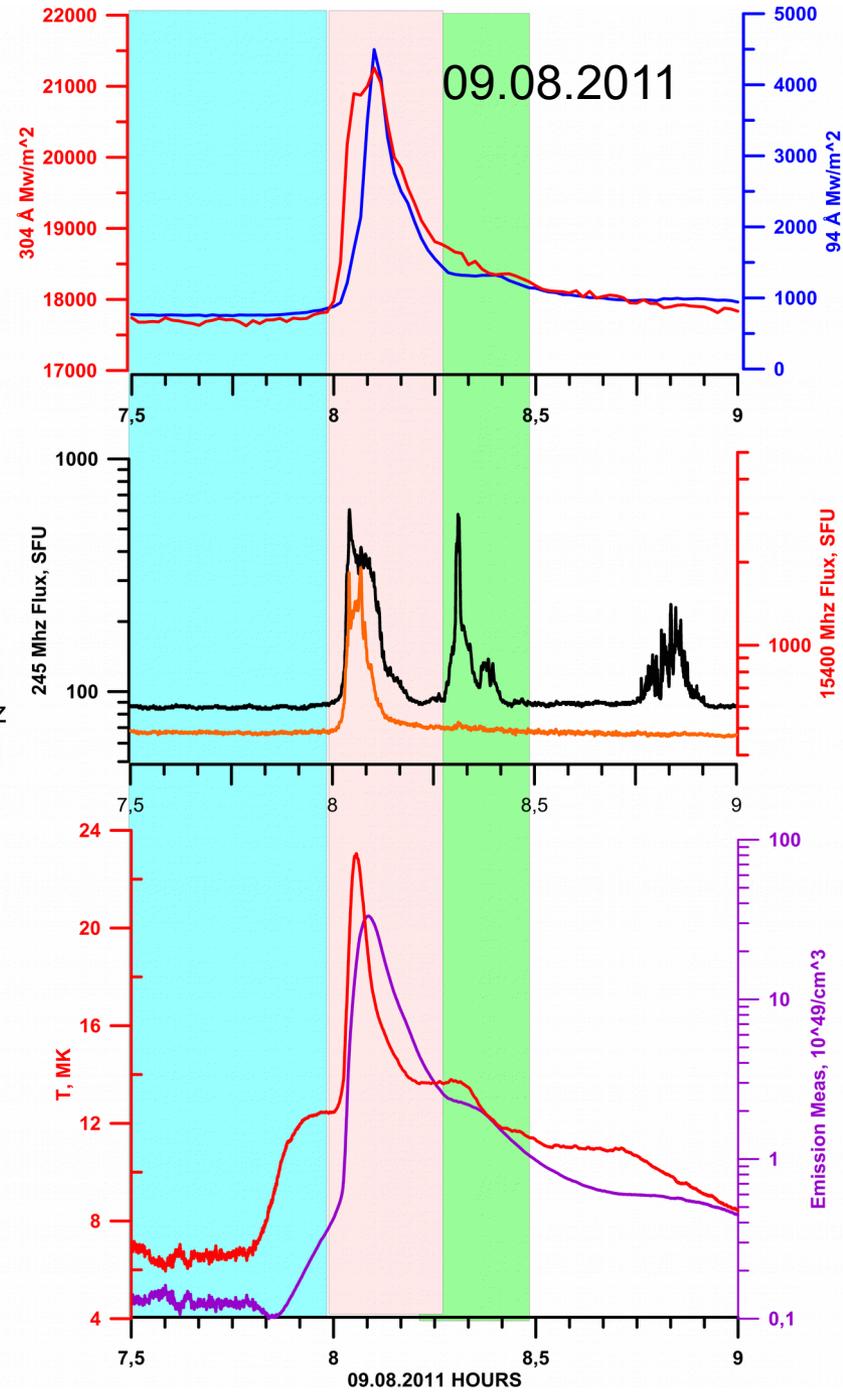
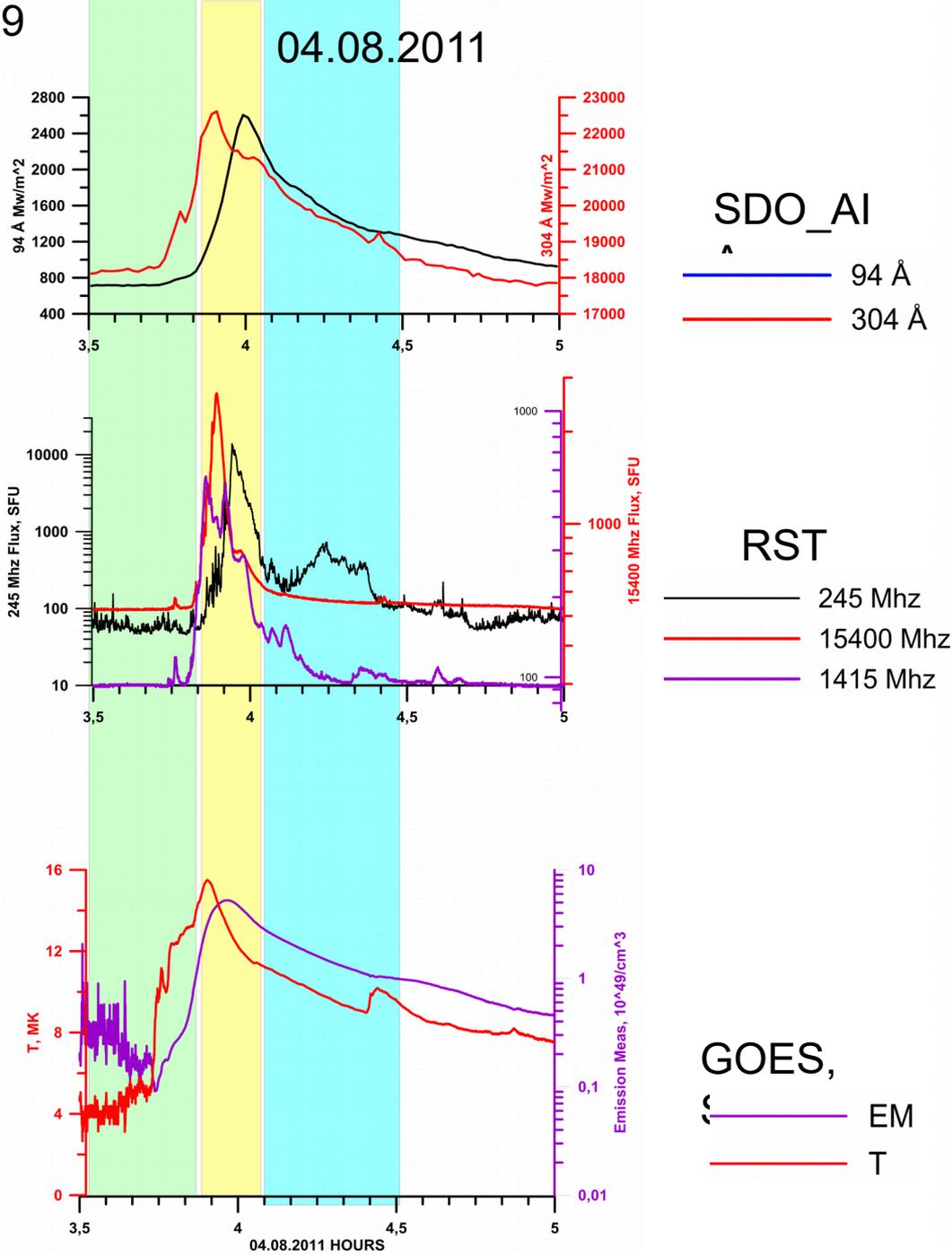
- Пустые кружки — данные SOHO\_LASCO. Зеленая кривая — аппроксимация LP моделью с фазами ускорения КВМ, штриховая кривая — аппроксимация РВ моделью (Ozheredov et al., 2023 в печати).
- Штриховая кривая «промахивается» мимо начала нетепловых процессов во вспышках 4 и 9 августа 03:49 UT и 08:00 UT, соответственно.
- Зеленая кривая - «попадает» и соответствует ускорению КВМ во время ускорения электронов >100 кэВ и протонов >100 МэВ.

## Фрагмент аппроксимации скорости KBM по данным SOHO\_LASCO



Ноль UT	Ноль LP, МИН.	Ноль PB, МИН.	Старт Rs	$A_0$ км/с <sup>2</sup>	$V_1$ км/с	$Rs_1$	$A_1$ км/с <sup>2</sup>	$V_2$ км/с	$Rs_2$
04/08 03:49	-12,23	-3,29	1,2	2,7	1547	4,08	0,26	1746	5,82
09/08 08:00	-12,47	-2,82	1,2	4,2	2202	3,01	0,25	2389	5,45

9



# Обсуждение результатов и выводы

- Согласно представленным данным (SDO\_AIA 304Å и 94Å, RSTN, T и EM GOES\_SXR) на предыдущем слайде, 9-ого августа есть выраженная импульсная фаза, а 4-ого ее нет (max EM запаздывает относительно T больше, чем 9-ого).
- Обе вспышки начинаются с фазы нагрева, в которой EM(t) растет линейно. Фаза нагрева заканчивается при сопоставимых  $T(\text{МК})=12$  и  $EM(10^{49})=0.2-0.4$  ( $h=40-50\text{Mm}$ ) независимо от стартовых условий.
- По-видимому, 9-ого августа запаздывающие максимумы профилей интенсивности в линиях в 304Å и 94Å относительно T(SXR) связаны со вкладом излучения от низких петель на постэруптивной фазе. А 4-ого августа профиль линии 304Å больше соответствует профилю T SXR излучения.
- Только в 5 из 32 всплесков зарегистрировано излучение на частоте 15.4 ГГц — спектр электронов и величина магнитного поля были достаточными.
- Нетепловые процессы (вторая фаза ускорения: ускорение электронов  $>100\text{кэВ}$  и протонов  $>100\text{МэВ}$ ) начинаются при одинаковой  $T(\sim 12,5\text{МК})$  с 0-времени.
- Темп ускорения электронов 4-ого был почти в 10 раз меньше, чем 9-ого. Это подтверждается временем прихода частиц на Землю и потоком к концу 1-ого часа.
- КВМ преимущественно ускоряются во время развития нетепловых процессов во всем диапазоне высот (на рисунке выше этот период выделен желтым и розовым фоном). Фаза доускорения КВМ — 4-ого (голубой фон), 9-ого (зеленый фон) — радио всплески в короне на низких частотах.

***Авторы благодарят А.Б. Струминского (ИКИ РАН) за предоставленный анализ данных детекторов ACS SPI, EPHIN\_SOHO.***

***А также В.А. Ожередова (ИКИ РАН) за аппроксимацию данных SOHO\_LASCO.***