

# **36 Всероссийская конференция по космическим лучам**

секция ПКЛ-1

**Предварительные результаты  
анализа распределения по  
длительности длинных GRBs с  
присутствием высокоэнергетической  
компоненты: неоднородность  
популяции их источников**  
**И.В. Архангельская, НИЯУ МИФИ**

---

**Abstract ID : 136, <https://join.skype.com/iCeNnbm3t72y>**

**[Irene.belousova@usa.net](mailto:Irene.belousova@usa.net)**

**Preliminary results of duration distribution analysis of long  
GRBs with high energy component presence: inhomogeneity  
of sources population**

**I.V. Arkhangelskaja, NRNU MEPhI, Moscow, Russia**

## Аннотация

Обычно рассматриваются 2 типа гамма-всплесков: короткие и длинные, причем по длительности эти события разделяются на  $t_{90} \sim 2$ с. В настоящее время источники нескольких сотен GRBs зарегистрированы при значительных красных смещениях, что позволяет рассматривать их космологическое происхождение. Соответственно, в процессе анализа распределения по длительности для GRBs необходимо рассматривать коррекцию на ее космологическое растяжение.

Впервые высокоэнергетическое излучение наблюдалось во время GRB 970417a: 18 фотонов с  $E \sim 650$  ГэВ были зарегистрированы Milagrito в пределах  $t_{90}$  этого всплеска. В настоящее время высокоэнергетическое излучение было зарегистрировано от нескольких десятков GRBs в диапазонах вплоть до нескольких ГэВ в космических экспериментах и нескольких ТэВ наземными установками.

К сожалению, красное смещение неизвестно примерно для половины GRBs, во время которых наблюдалось высокоэнергетическое  $\gamma$ -излучение. **Новый параметр  $R_t$  вводится в представленной работе** как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения.

---

## Annotation

Usually 2 classes of bursts are considered: short and long GRBs separated by  $t_{90} \sim 2$ s. Because of several hundreds of GRBs located at high redshift, its sources' origins nature concluding as cosmological. Therefore correction to cosmological dilation of GRBs  $t_{90}$  should be considered during any analysis of bursts duration.

Firstly very high-energy component was observed during GRB 970417a: 18 photons with energy  $\sim 650$  GeV were registered by Milagrito within  $t_{90}$  interval of this burst. Now several tens of GRBs reveal activity in energy bands up to some tens of GeV and up to some TeV accordingly data of space and ground-based experiments correspondingly.

Unfortunately redshift is unknown approximately for half of GRBs with high energy component presence. Here we introduce new parameter  $R_t$  is ratio of maximum energy photon arrival time to burst duration and it not required cosmological correction.

## Аннотация

Новый параметр  $R_t$  вводится в представленной работе как отношение времени прихода фотона с максимальной энергии к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Как минимум 2 группы длинных GRBs выделяются при его использовании: для 1/4 части выборки фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события  $t_{90}$ , но для остальных 3/4 событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после окончания  $t_{90}$ .

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков. Для GRBs первой группы длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем  $t_{90}$ , для второй – больше. Однако GRBs второй группы можно разделить еще на 2 подгруппы: одна (а) характеризуется тем, что фотон с максимальной энергией все равно был зарегистрирован в пределах  $t_{90}$ , а для событий второй (б) такой  $\gamma$ -квант наблюдался существенно позже  $t_{90}$ . Таким образом, результаты предварительного анализа позволяют сделать вывод о неоднородности популяции источников длинных GRBs.

---

## Annotation

At least 2 groups of long GRBs could be separated using this value: for 1/4 fraction of events highest energy photons registered within  $t_{90}$  interval, but for other 3/4 part of bursts it detected more than 10 seconds later than one.

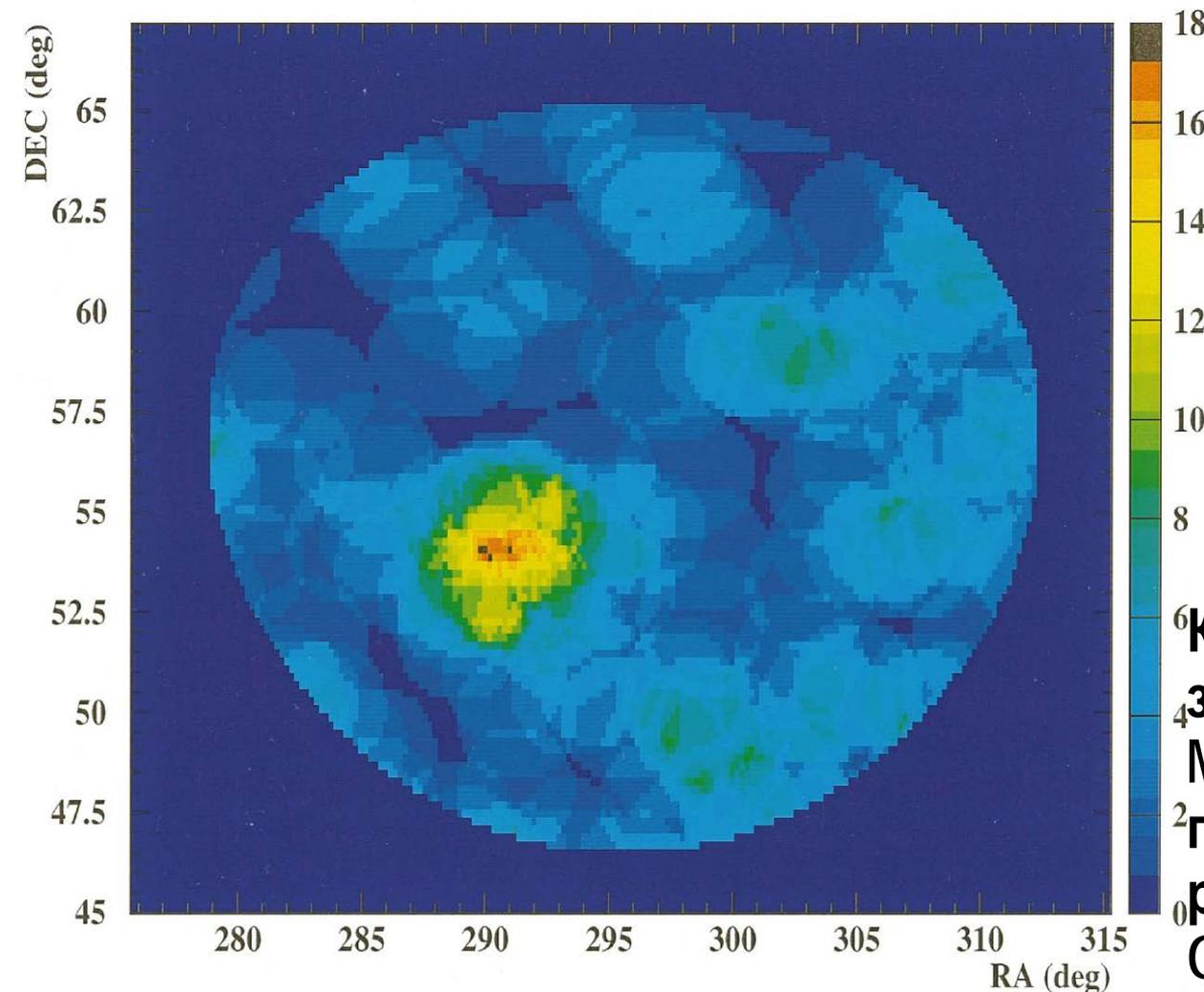
Moreover, preliminary results of analysis allow concluding three types of GRBs with high energy emission registration without dependence of burst duration value. During first subtype events high energy emission duration interval smaller than  $t_{90}$ . Second subtype characterized longer period of high energy emission than  $t_{90}$ . But second subtype bursts divided to 2 subgroups. For one (a)  $\gamma$ -quantum with maximum energy arrived within  $t_{90}$ , and for other such photon was registered later than  $t_{90}$ . Thus, preliminary results of analyses allow conclude long GRBs population inhomogeneity.

GRBs наблюдаются с 1967г. и в настоящее время уже зарегистрировано несколько тысяч событий, которые классифицированы более чем в 20 каталогах, составленных по данным более 40 спутниковых и наземных экспериментов.

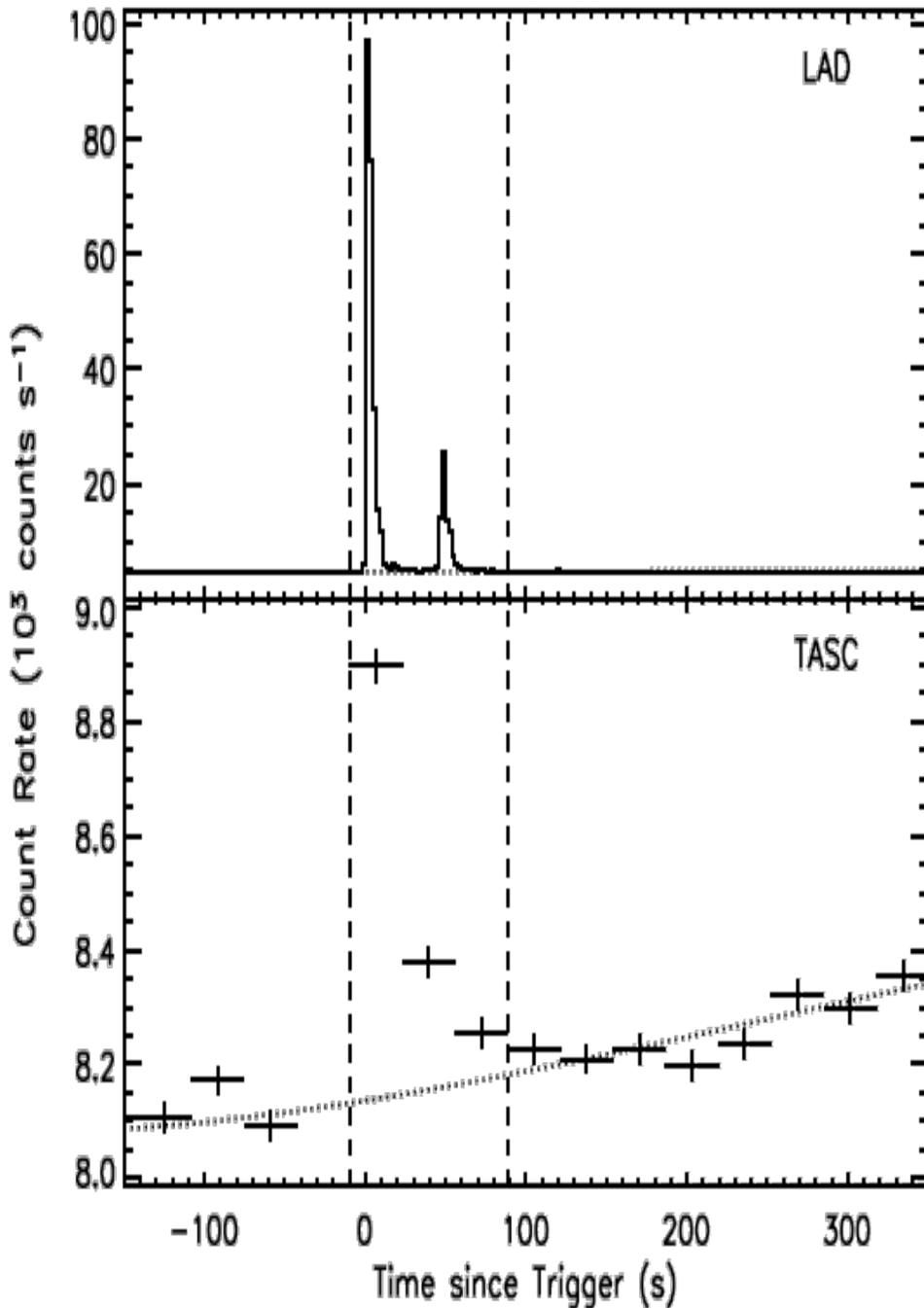
Впервые заключение о присутствии излучения с  $E \sim \text{ТэВ}$  во время GRB было сделано на основании анализа данных Milagro: во время GRB 970417а было зарегистрировано несколько  $\gamma$ -квантов с  $E \sim 650 \text{ ГэВ}$  (Atkins, 2000)

**Высокоэнергетическое излучение во время быстрой фазы?**

**Количество событий, зарегистрированных Milagro в течение  $T_{90}$  в пределах 17.6 бин по расстоянию относительно GRB 970417а**



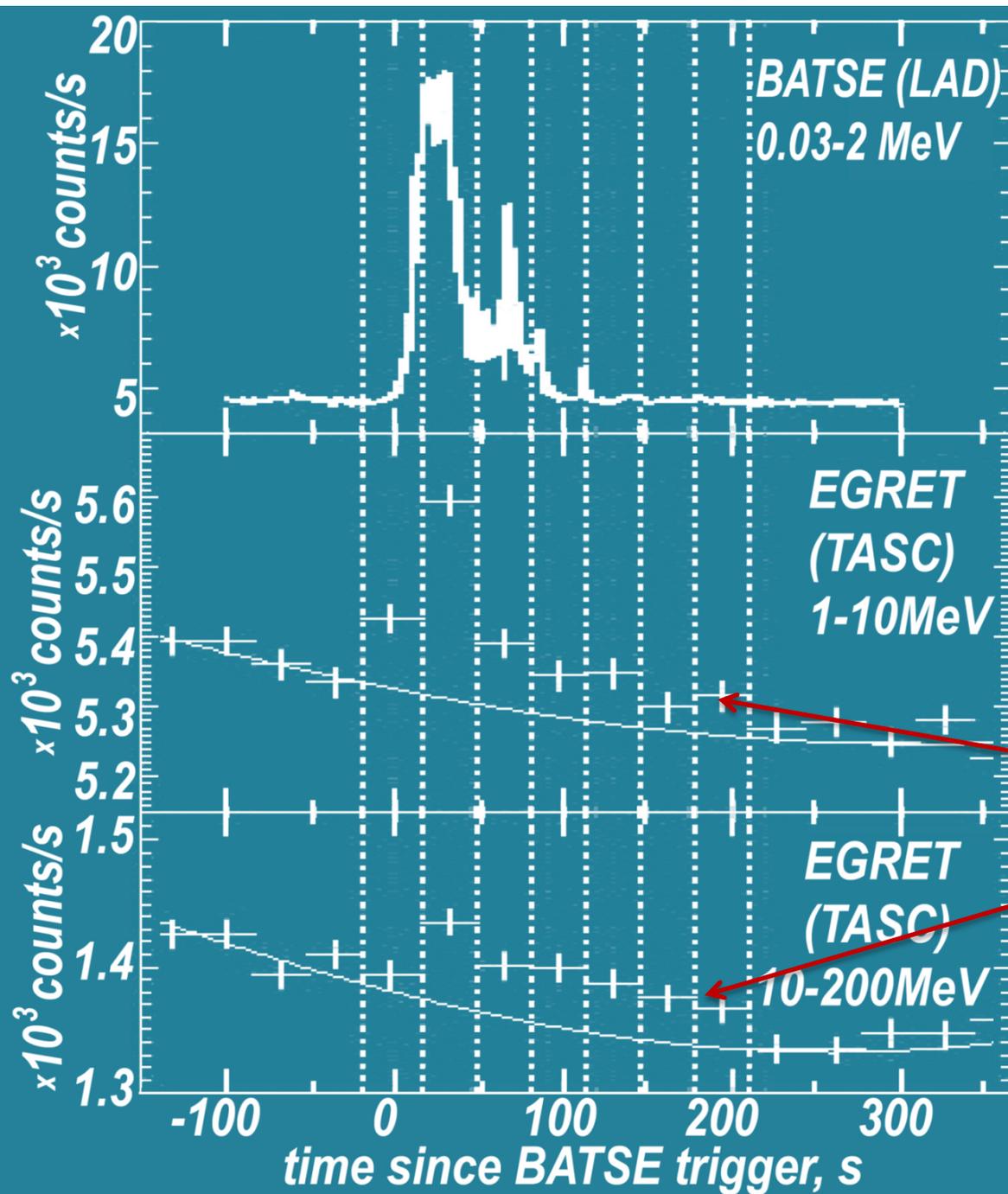
GRB 910503 (Trigger 143)



**Высокоэнергетическое излучение от GRBs также регистрировалось в экспериментах на борту космической обсерватории имени Комптона (Compton Gamma Ray Observatory – CGRO), функционировавшей в 1991-2000гг (Dingus, 2000).**

**В процессе анализа данных было обнаружено, что энергетические спектры большинства GRB хорошо описываются моделью Бэнда в широком энергетическом диапазоне**

*Временные профили  
GRB910503 (BATSE trigger #143)  
по данным BATSE и EGRET.*

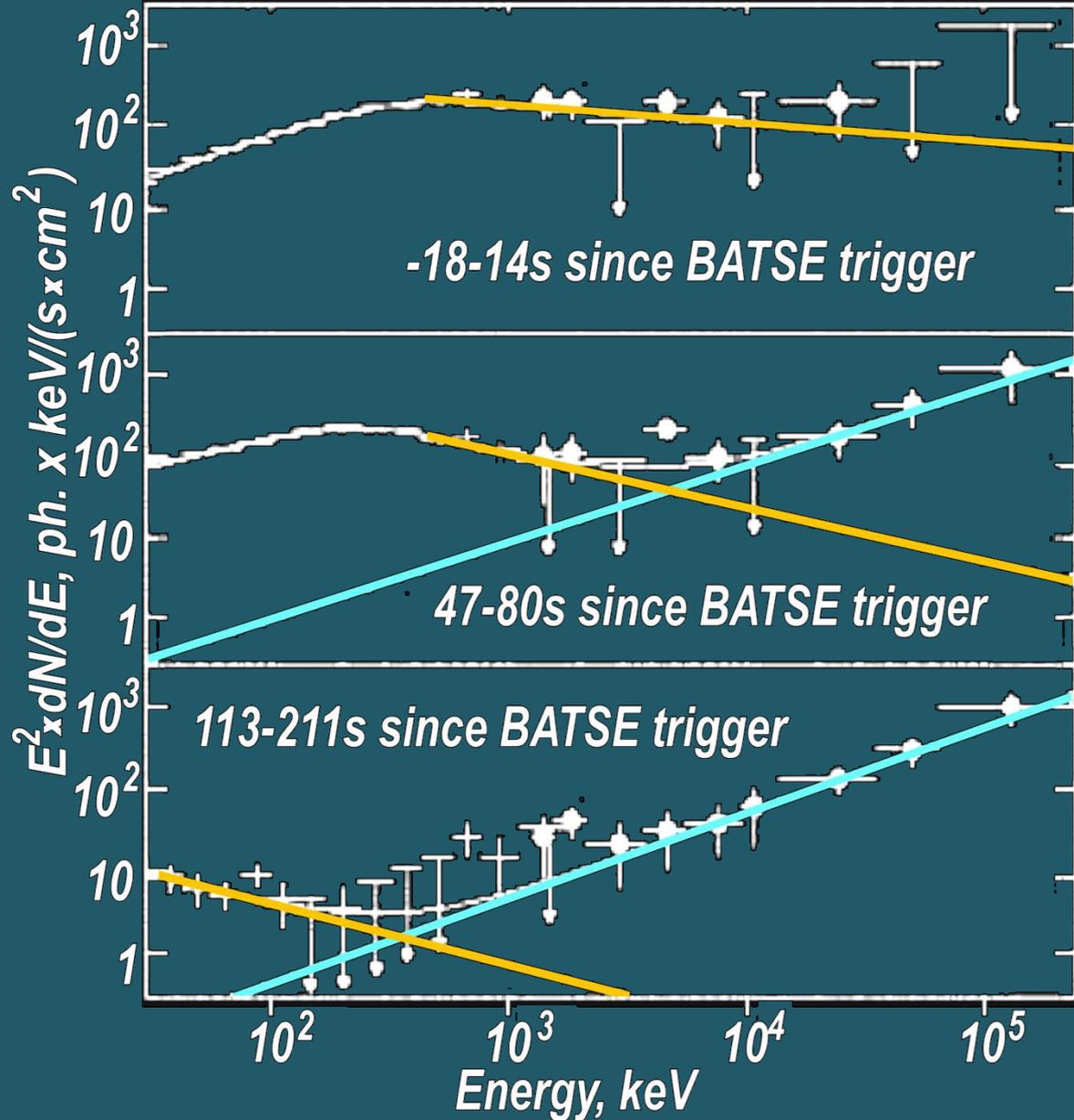


**В спектрах некоторых GRB было обнаружено присутствие новой компоненты в диапазоне до 200 МэВ, не соответствующей модели Бэнда**

**GRB 941017: структура временных профилей разная в различных энергетических диапазонах:**

**ХВОСТ В НЕ-диапазоне?**

*Временные профили GRB941017 по данным BATSE и EGRET.*



Спектр этого всплеска содержит дополнительную не-Бэндовскую компоненту в диапазоне высоких энергий.

Спектральный индекс этой HE-компоненты:  $\gamma \approx -1$

Хорошо видно различие между компонентами.

Возникает вопрос: где именно происходит переход между компонентами при высоких энергиях?

Введено 2 спектральных разрыва во время быстрой фазы GRBs:

E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда, E2 – соответствующий началу HE-компоненты

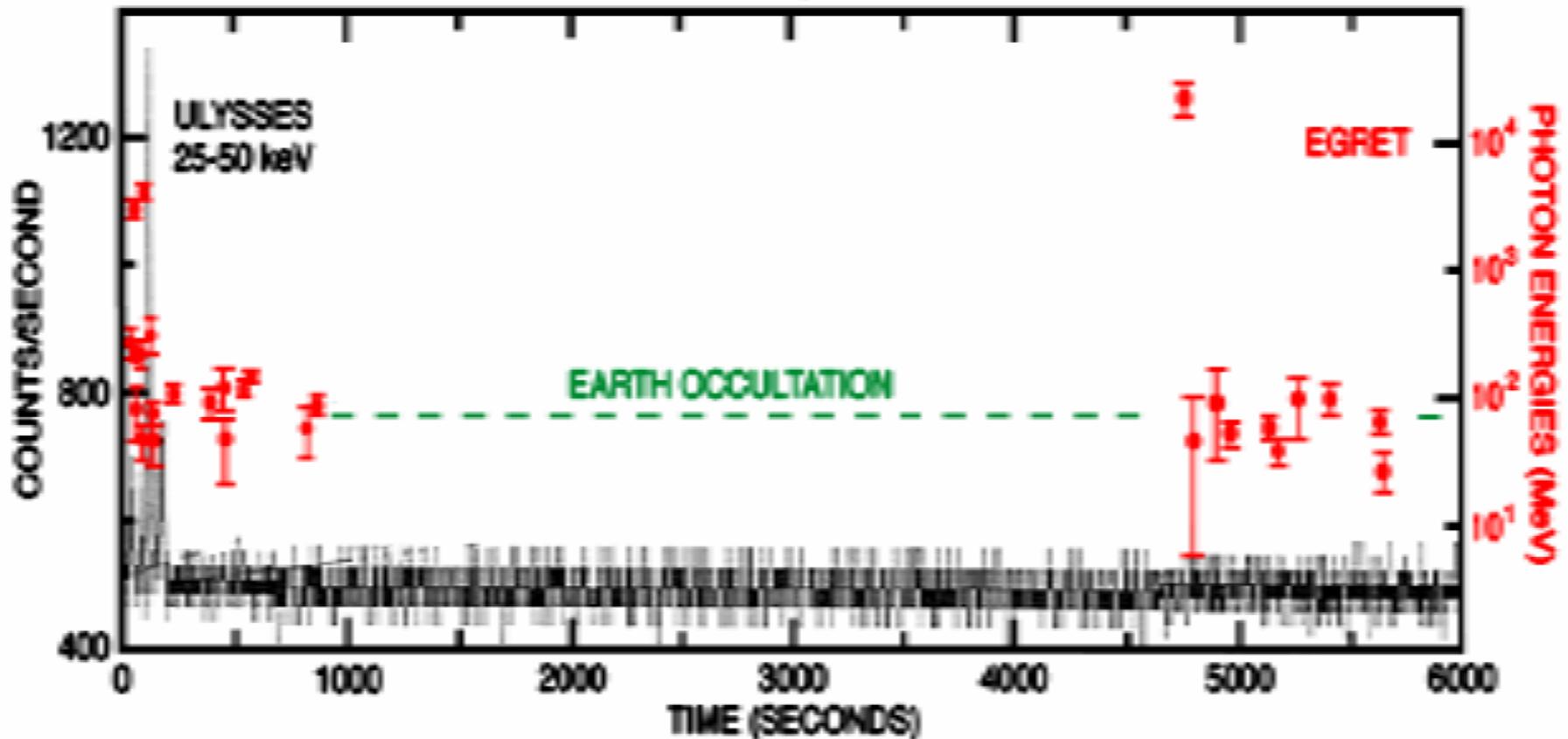
Энергетический спектр GRB941017:

вторая компонента модели Бэнда и аппроксимация высокоэнергетической части

# GRB940217 (BATSE trigger #2831, $t_{90} \approx 150\text{s}$ ) – впервые зарегистрировано НЕ-послесвечение

➤  $\gamma$ -излучение ( $E > 50\text{ МэВ}$ ) длилось 1.5 часа после начала GRB, наблюдалась  $E_{\text{max}}$ : 18 ГэВ

➤ в разных диапазонах разная структура временных профилей → основание предполагать наличие послесвечения



*Наблюдения GRB940217 приборами EGRET и ULYSSES*

## Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным CGRO

➤ во время 15 GRB зарегистрировано излучение с  $E > 120$  МэВ (Kaneko et al, 2008)

В основном, не наблюдалось быстрой фазы с  $E > 200$  МэВ

Наиболее широкий диапазон зарегистрированного  $\gamma$ -излучения в спутниковых экспериментах  $\sim 10$  кэВ  $\div$   $\sim 20$  ГэВ

➤ значения спектральных параметров обычно монотонно убывали с ростом скорости счета или их поведение соответствовало временному профилю.

➤ во время некоторых GRB – наблюдалась новая высокоэнергетическая спектральная компонента (920902, 941017 и 980923)

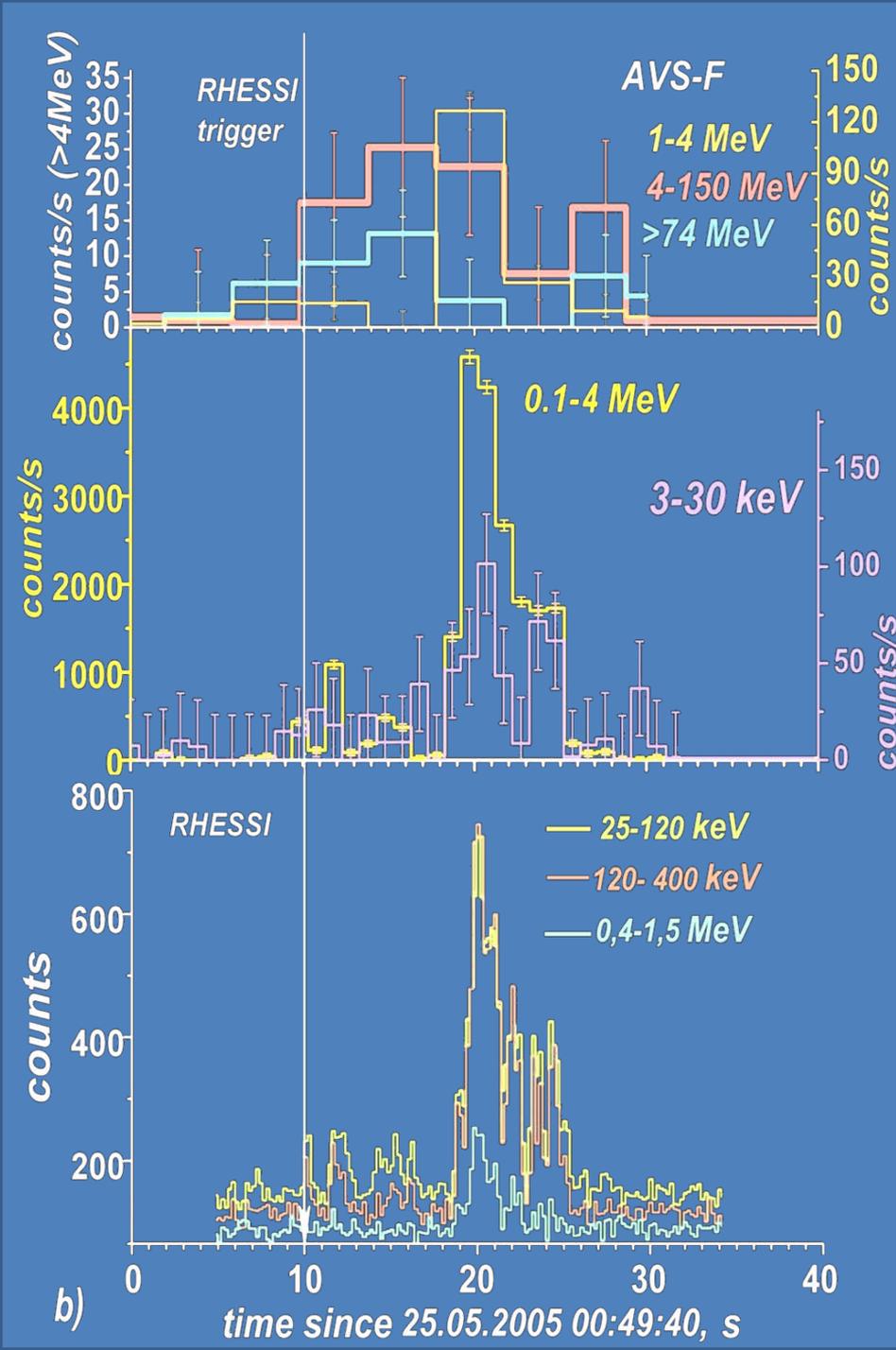
➤ большей частью одинаковая структура временных профилей в разных диапазонах (исключая события с не-Бэндовской компонентой в спектре):

❖ одинаковое количество значимых пиков

❖ приблизительно одинаковое соотношение интенсивности между пиками

➤ несколько GRB  $\rightarrow$  **HE-послесвечение**  $E_{\max} \sim 18$  ГэВ

1 GRB  $\rightarrow$  быстрая фаза в диапазоне **subTeV** (Milagrito) !?

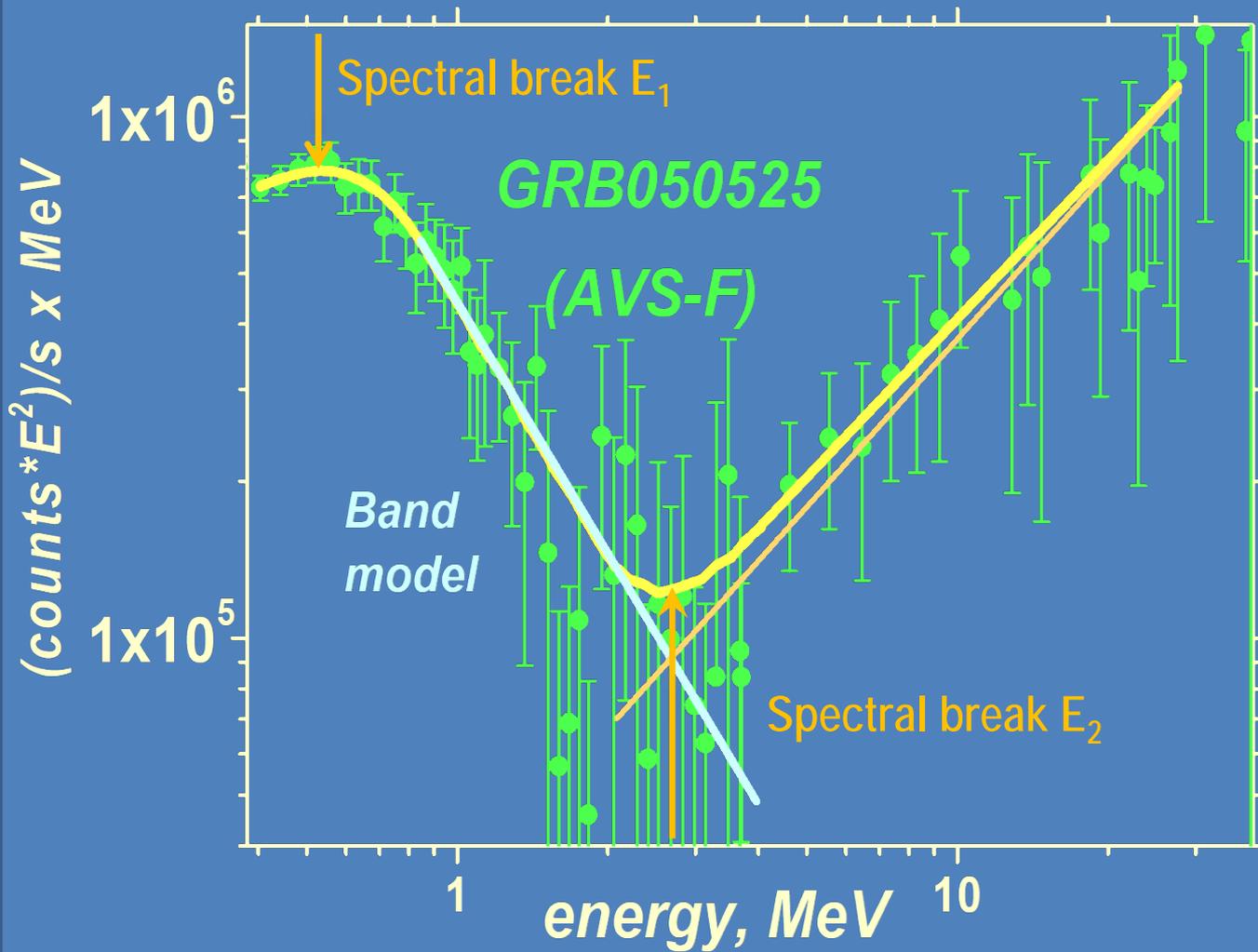


## ABC-Ф/КОРОНАС-Ф (2001-2005)

Обнаружено различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ и не совпадение положения пиков

Наблюдалось несколько пиков на временном профиле GRB050525 в области низких энергий по данным RHESSI, пик при  $t \sim 20$  с был с  $I_{\max}$ . Но в областях 4-150 МэВ и 3-30 кэВ поведение временных профилей отличалось.

*Временные профили GRB050525 по данным ABC-Ф и RHESSI*



новая  
 высокоэнергетическая  
 спектральная  
 компонента  
 в спектре GRB050525  
 $E_2 = 2.4 \pm 0.1$  МэВ

*The energy spectrum of GRB050525 by AVS-F data:  
 second component of Band model and approximation  
 for high energy part*

данные CGRO и  
 ABC-Ф



$E_2 \sim 3 \div 30$  MeV

# Высокоэнергетическое излучение GRBs по данным ABC-Ф/КОРОНАС-Ф

✧ (подобно CGRO) зарегистрировано излучение с  $E > 50$  МэВ во время нескольких GRBs (Arkhangelskaia et al, 2007, 2010).

✧ Различное поведение временных профилей быстрой фазы в диапазонах десятки кэВ ÷ несколько МэВ и не совпадение положения пиков

*Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ...*

✧ (подобно CGRO) всплески только с предвестниками в области низких энергий (до сотен кэВ)

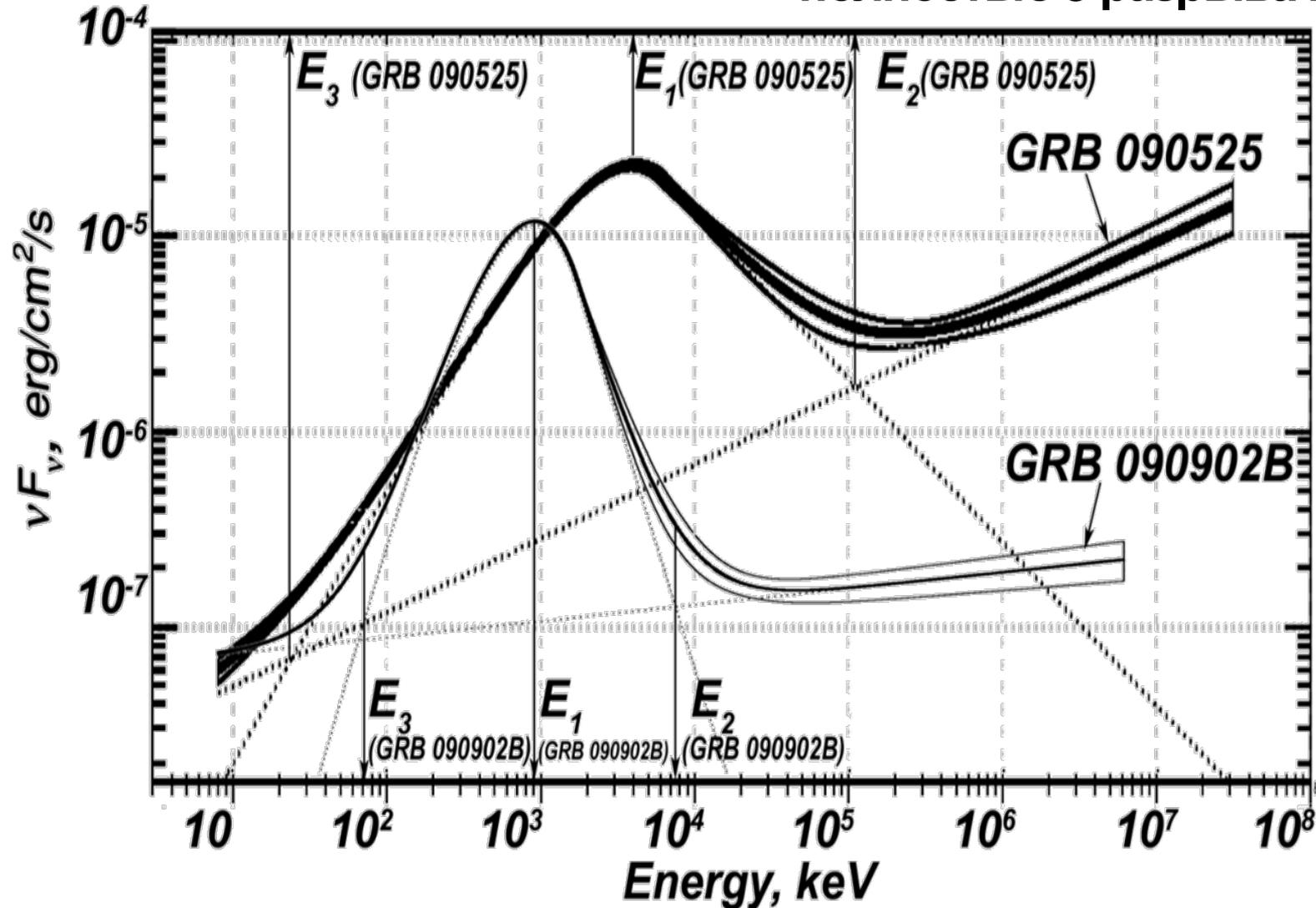
✧ некоторые GRB → подавлено или слабо проявляется смягчение спектров

*Позднее подтверждено результатами анализа данных CGRO ...*

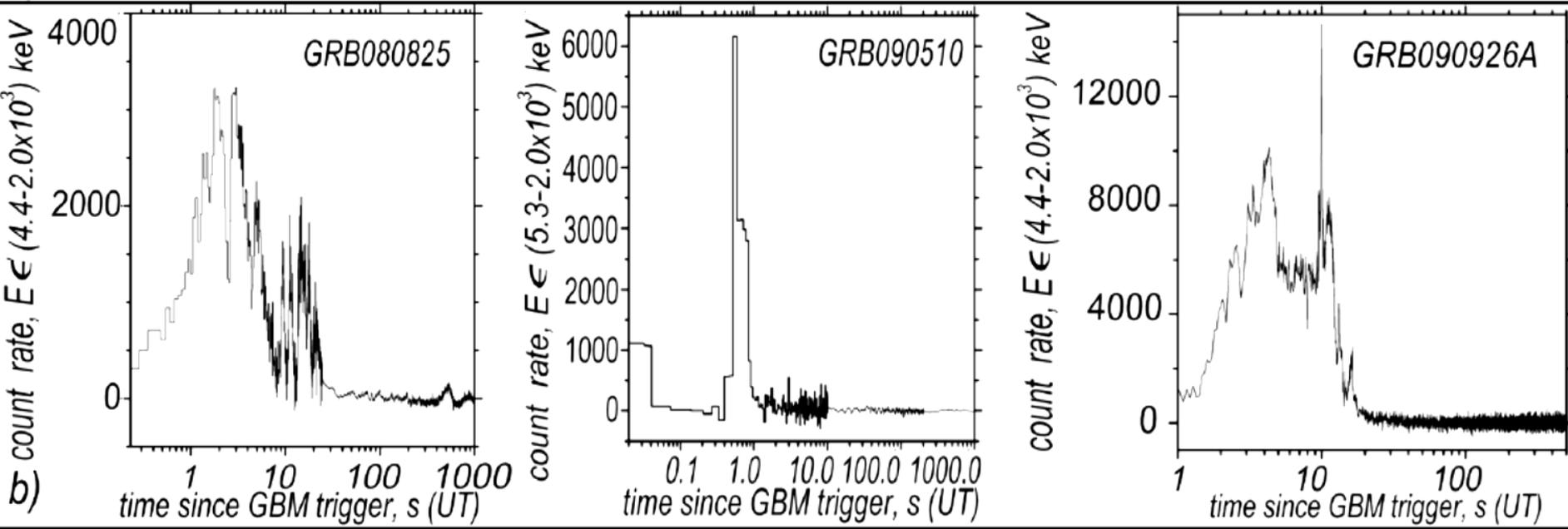
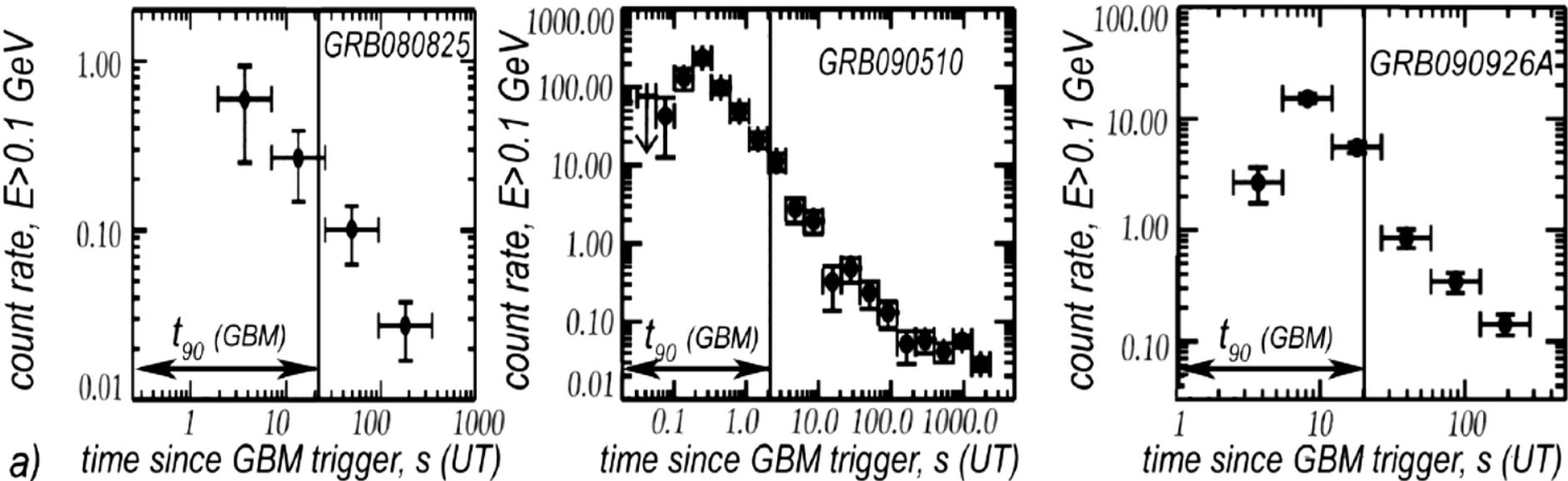
✧ (подобно CGRO) некоторые GRB → новая высокоэнергетическая спектральная компонента

✧ Проявляется спектральный разрыв  $E_2$  – соответствующий началу HE-компоненты:  $E_2 \sim 3 \div 10$  MeV (данные CGRO и ABC-Ф)

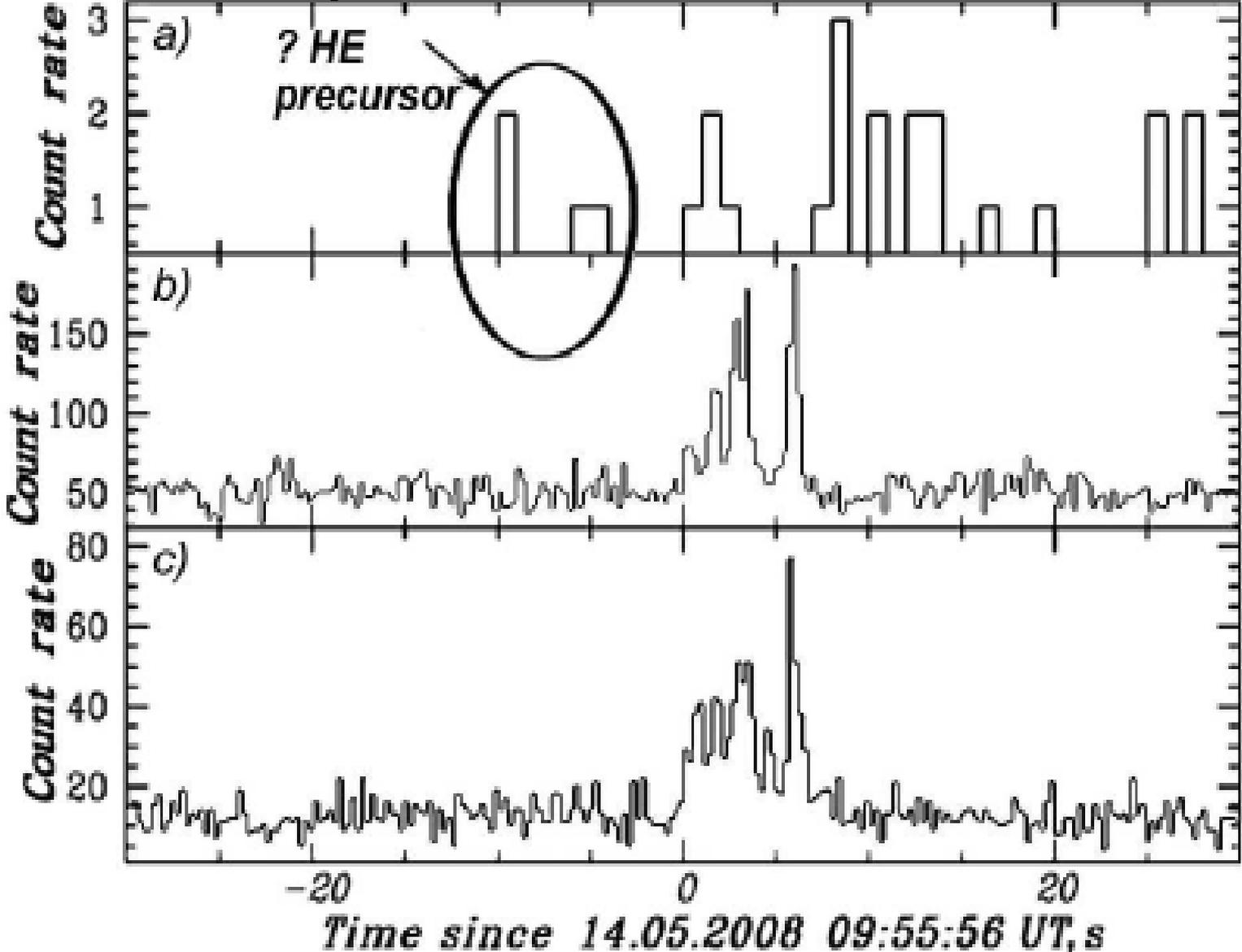
Следующий этап: Fermi & AGILE: вводится 3й спектральный разрыв  
 E3 – низкоэнергетическая компонента (десятки кэВ).  
 Было ранее: E1 – между 2мя компонентами модели Бэнда  
 E2 – соответствующий началу HE-компоненты  
 полностью 3 разрыва в спектрах



**Временные профили GRB 080825C, GRB 090525 и GRB 090902B по данным : (а) LAT и (б) GBM (HE – послесвечения зарегистрированы для нескольких десятков GRB ).**



**GRB080514B по данным AGILE [a) 30 МэВ - 30 ГэВ (GRID),  
b) 300-700 МэВ (MCAL), c) 18-60 кэВ (SA)] : основания  
предполагать предвестник в HE-диапазоне?**



# ***НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ → гамма-излучение GRBs: спутниковые эксперименты Fermi и AGILE.***

➤ **170 Fermi/LAT GRBs, 61 AGILE/MCAL**

➤ **Главным образом все свойства → характеристикам,  
полученным в результате анализа данных CGRO и ABC-Ф**

➤ **Дополнительная HE-компонента в энергетических  
спектрах**

➤ **Предвестники в широком энергетическом диапазоне**

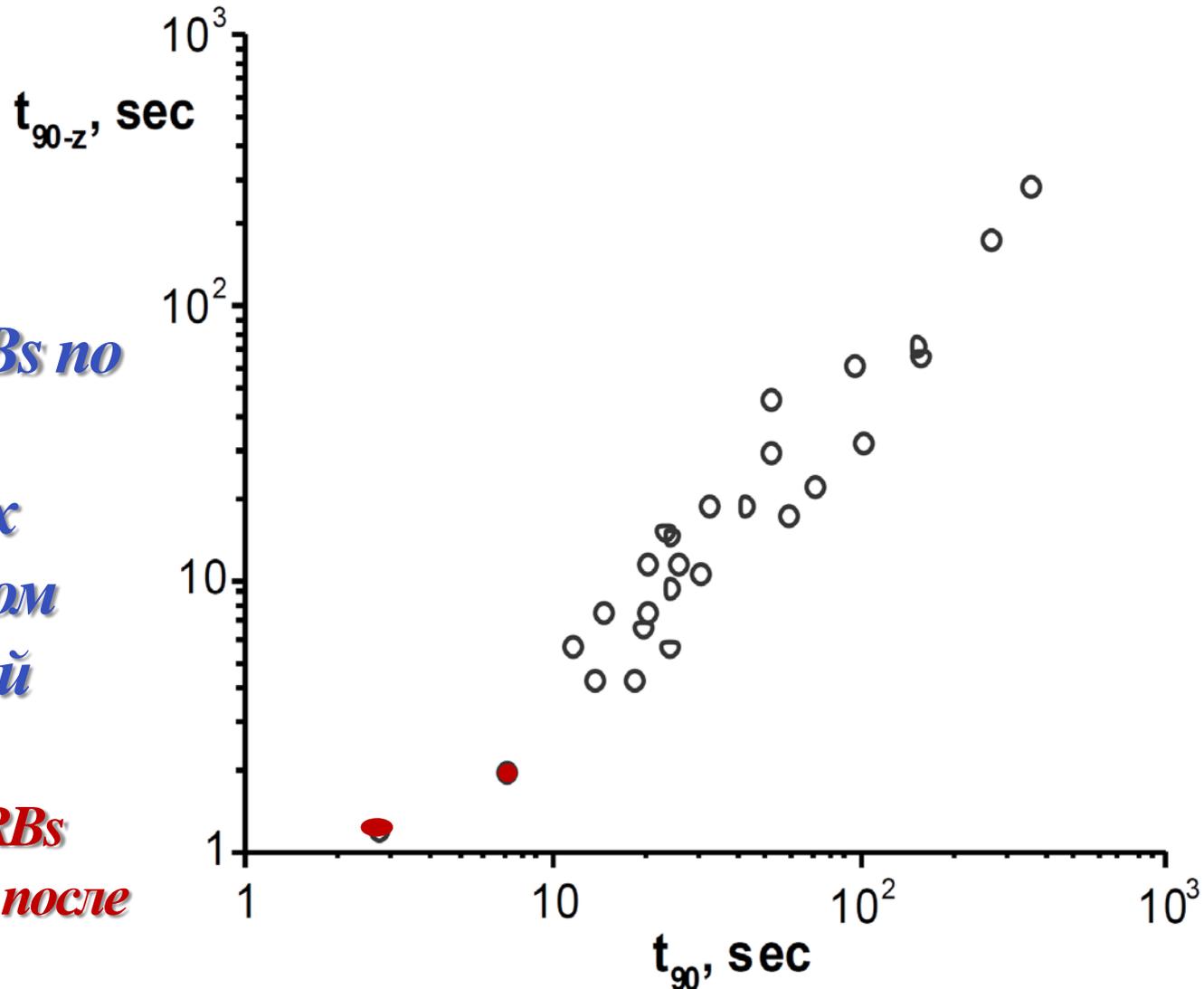
➤ **Новый разрыв в спектре E3 → Соответствует протяженности HE-  
компоненты в диапазон низких энергий до десятков кэВ?**

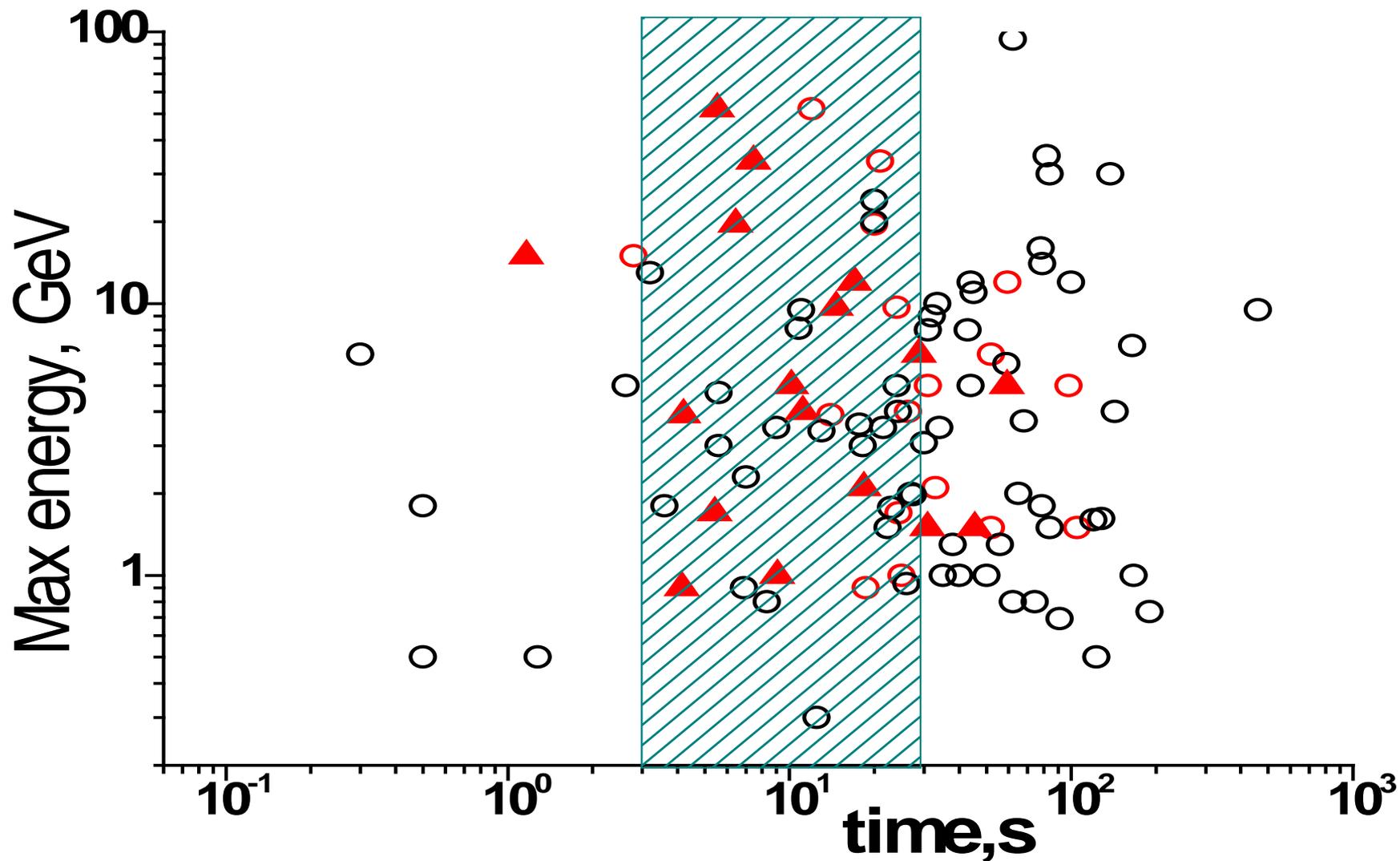
➤ **Зарегистрировано послесвечение как длинных, так и коротких GRBs**

Но большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение – см. данные о красном смещении в каталогах. Соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs, т.к. характеристики временных профилей для источников, находящихся на космологических расстояниях следует изучать с учетом их красного смещения

*Распределение GRBs по  $t_{90}$  и по  $t_{90\_z}$  для некоторых событий с учетом космологической коррекции*

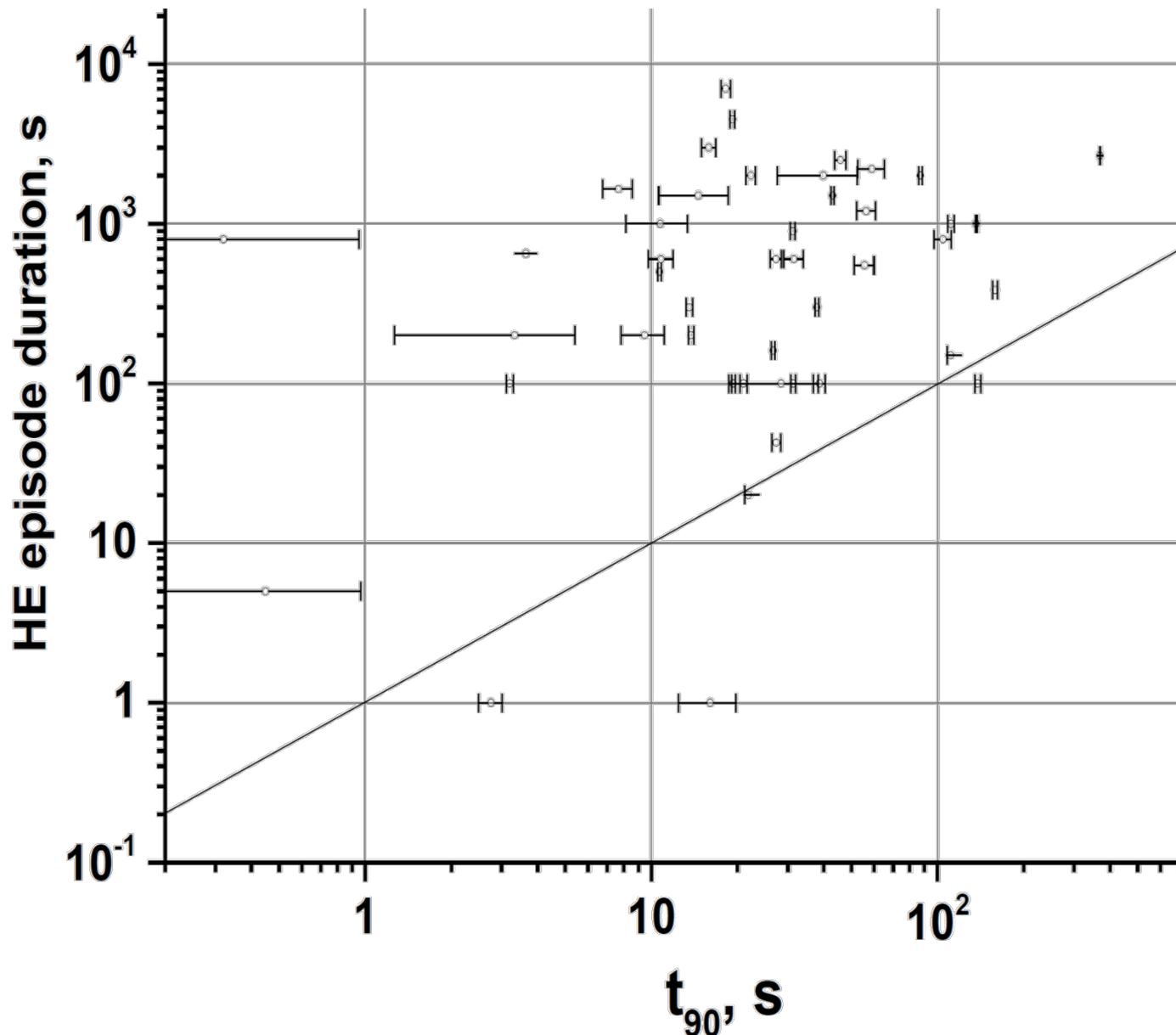
*Длительность 2 GRBs становится менее 2 с после коррекции*





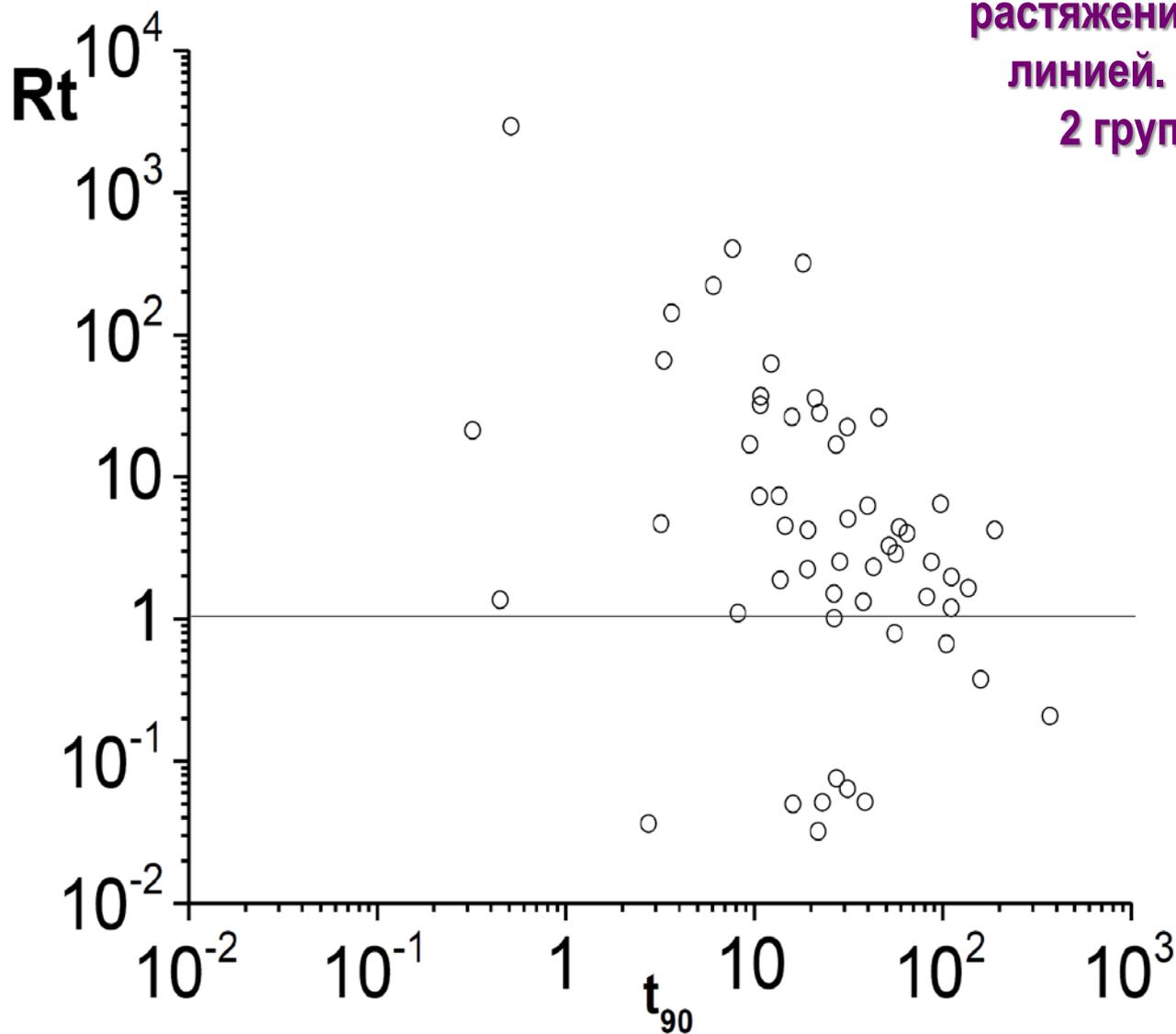
*Распределение GRBs , зарегистрированных LAT, по длительности и максимальной зарегистрированной энергии (отмечены кругами). **Красные круги** показывают всплески с известным красным смещением и **красные треугольники** показывают длительность этих событий  $t_{90_z}$  с учетом космологической коррекции, после чего большая часть событий оказывается в интервале  $2 \text{ с} < t_{90} < 30 \text{ с}$*

Используя соотношение длительности излучения в диапазонах высоких и низких энергий, можно разделить всплески на 2 группы. Для GRBs первой группы длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем  $t_{90}$ , для второй – больше.



Распределение  
гамма-всплесков  
по длительности  
эпизода HE-  
излучения и  $t_{90}$

К сожалению, красное смещение известно для источников менее половины GRBs, зарегистрированных LAT. Для дальнейшего анализа новый параметр  $R_t$  вводится в представленной работе как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения. Значение  $R_t=1$  показано линией. Возможно также выделить 2 группы событий, разделенных по этому признаку.



Распределение GRBs, зарегистрированных LAT, по  $R_t$  и  $t_{90}$

Detectors 0 & 3

7 keV – 1 MeV

Count rate (counts/sec)

*Время прихода  
γ-кванта с  
максимальной  
энергией*

**GRB160509A ( $t_{90}=369.67\pm 0.81$ с,  
LAT  $E_{\max}=52$  ГэВ, время прихода  
фотона с  $E_{\max}$  77с, лительность  
HE-излучения 2260с,  $R_t=0.2$ ) как  
пример события с длительностью  
HE-компоненты более  $t_{90}$  и  
временем прихода  $\gamma$ -кванта  
с  $E_{\max}$  в пределах  $t_{90}$**

15000

10000

5000

-100

-50

0

50

100

150

200

250

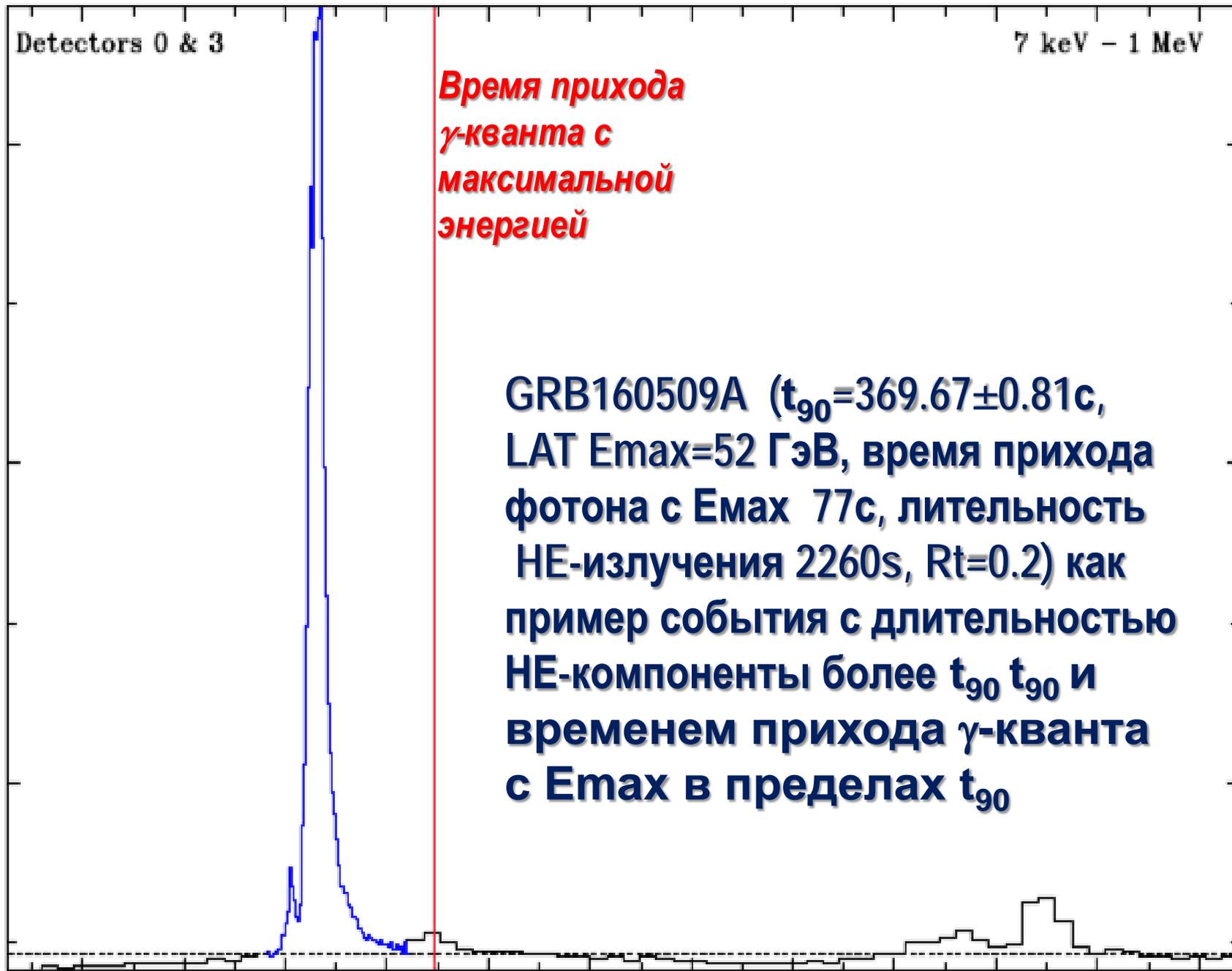
300

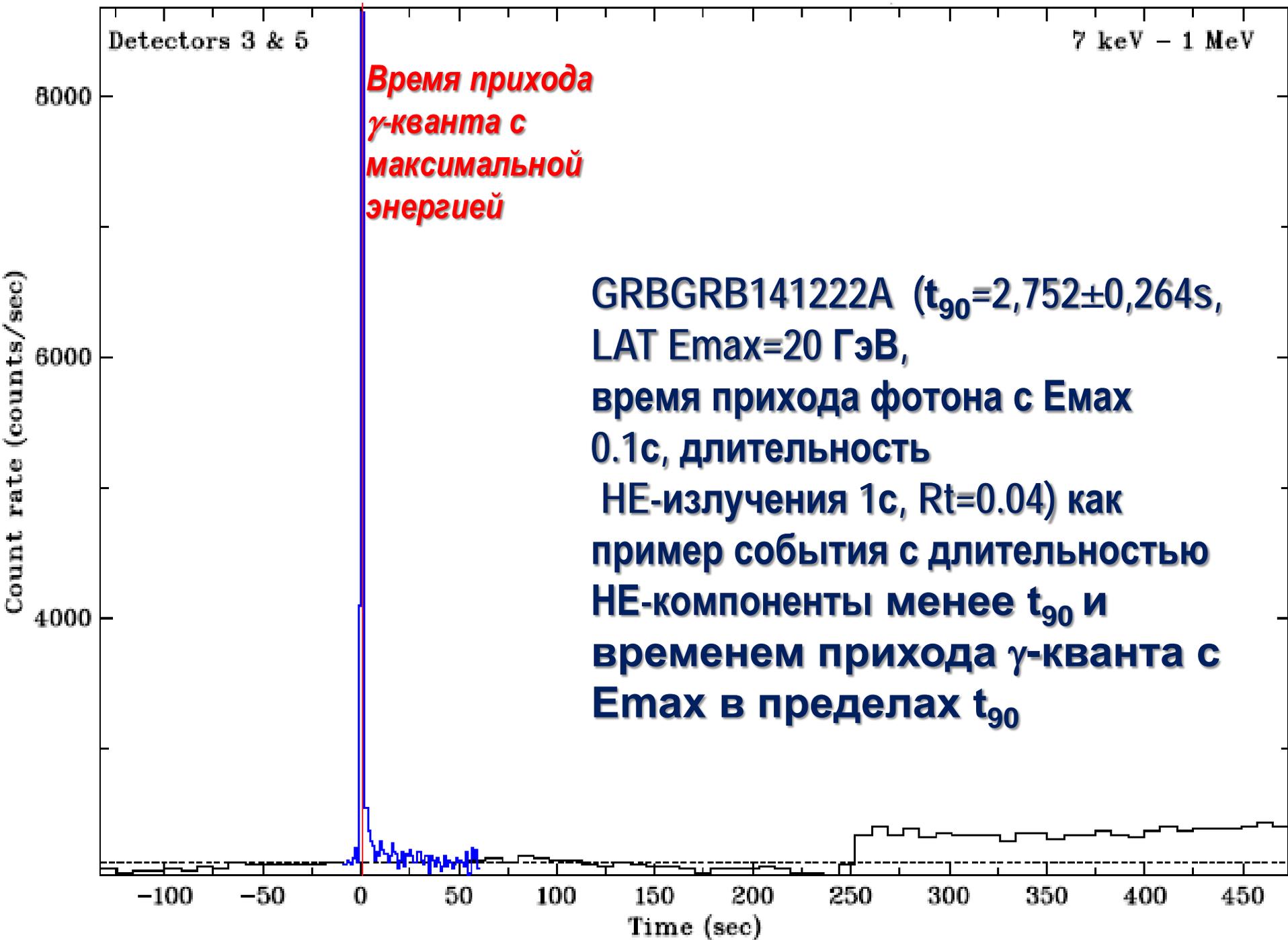
350

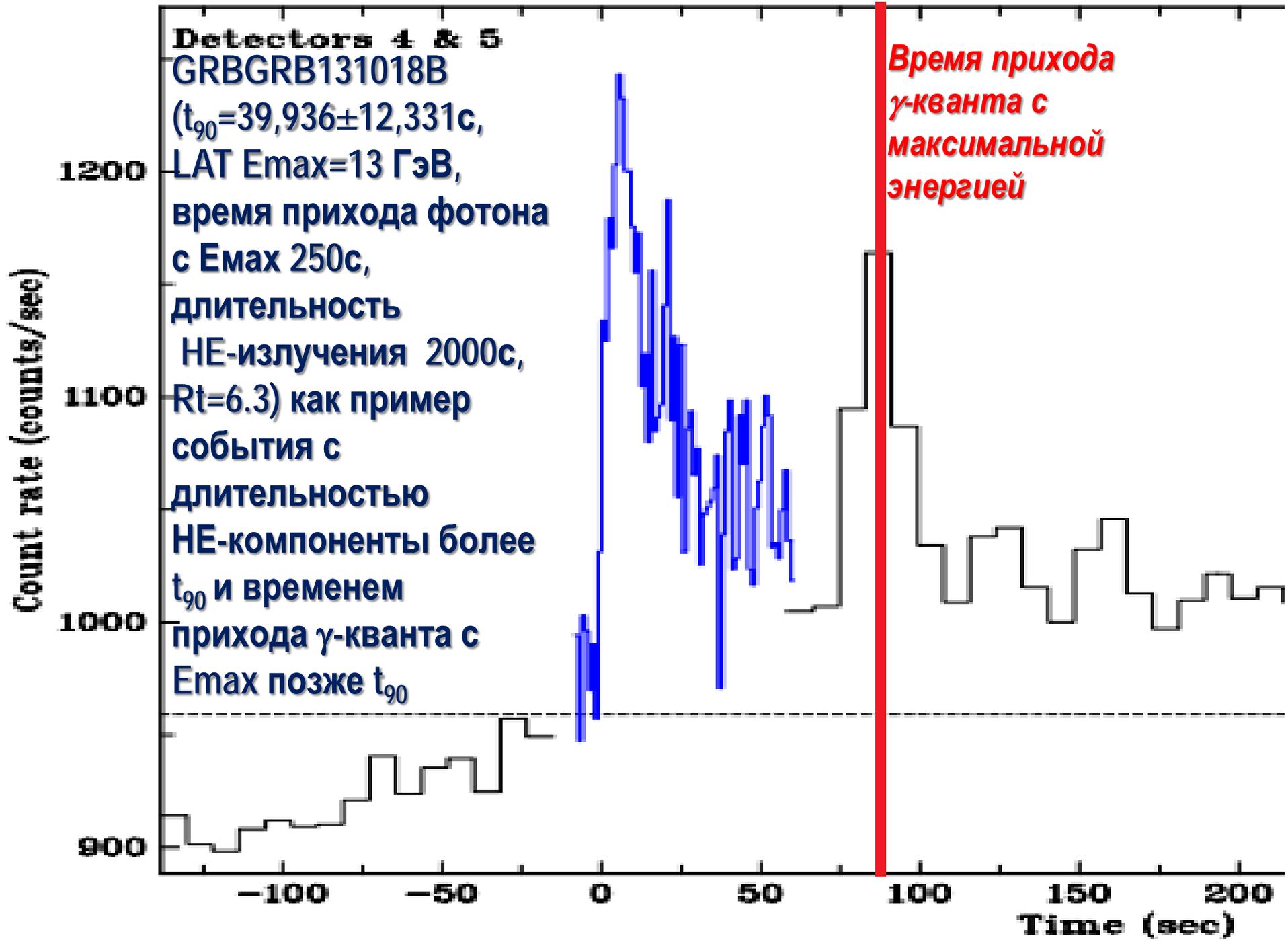
400

450

Time (sec)





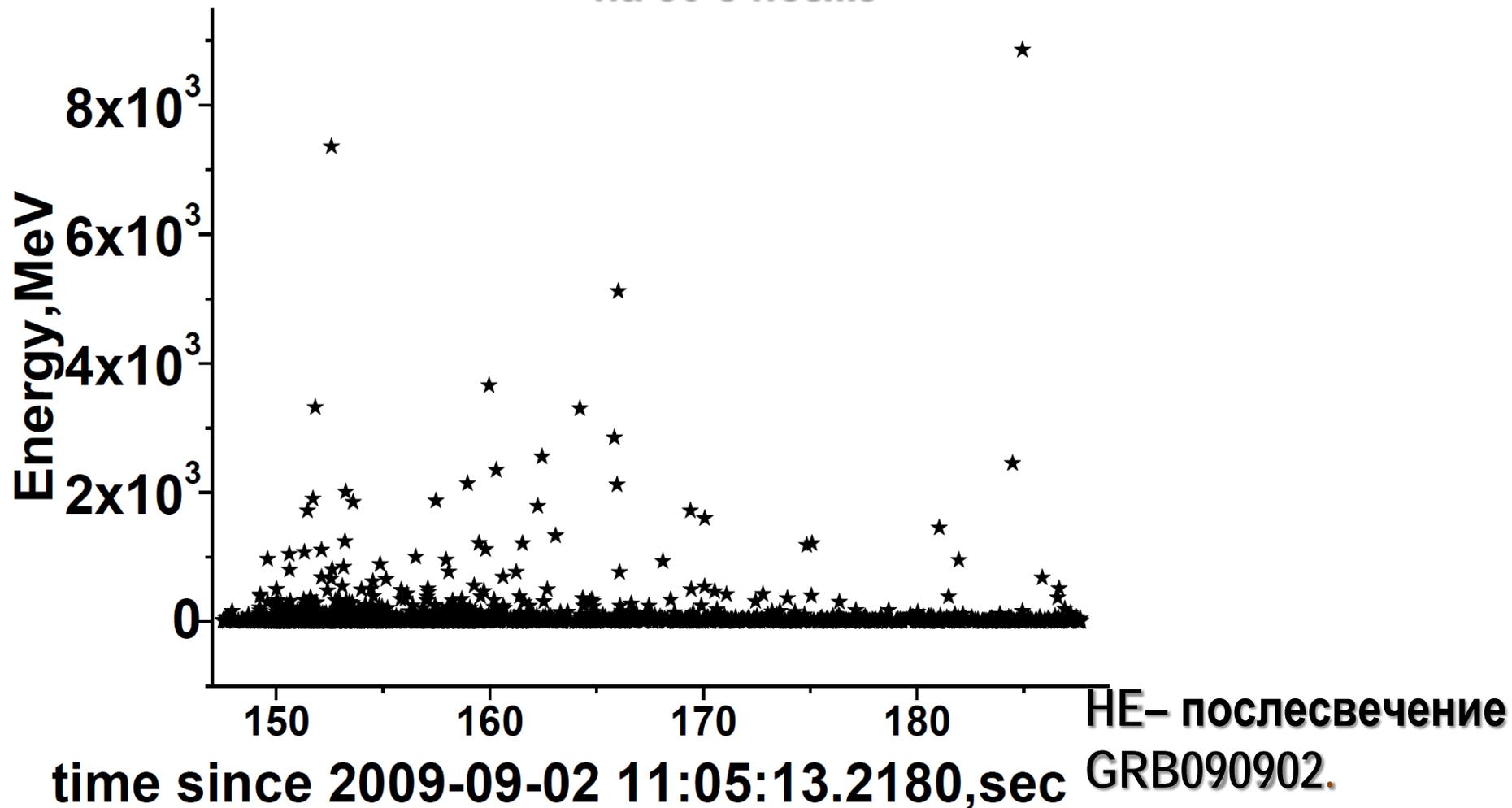


Как минимум 2 группы длинных GRBs выделяются при использовании параметра  $R_t$  : для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события  $t_{90}$ , но для остальных 75% событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после его окончания.

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков.

- 1) длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем  $t_{90}$ ,
- 2) длительность высокоэнергетического излучения больше, чем  $t_{90}$ :
  - а) фотон с максимальной энергией был зарегистрирован в пределах  $t_{90}$ ,
  - б) такой  $\gamma$ -квант наблюдался существенно позже  $t_{90}$ .

Эпизод высокоэнергетического излучения во время некоторых GRBs может длиться так долго, что интерпретируется как HE-послесвечение, а не излучение быстрой фазы. К примеру, во время GRB090902 высокоэнергетическое излучение началось через более чем 100 с после  $t_{90}$ , а время прихода фотона с  $E_{\max} \sim 9$  ГэВ было еще на 50 с позже.



Не наблюдается значимой корреляции между  $E_{\text{max}}$  и  $Z$  во время быстрой фазы.

GRBs с присутствием излучения в субТэВной области, по результатам предварительного анализа, имеют характеристики, аналогичные типу 2б:

- MAGIC начал регистрацию GRB 190114C на 50 с позже триггера и наблюдал фотоны с  $E > 300$  ГэВ первые 20 мин. на уровне значимости более  $20\sigma$  (Mirzoyan, 2019). GRB190114C близкий длинный всплеск ( $z = 0.4245$  и  $t_{90} \sim 120$  с в области низких энергий)
- H.E.S.S. начал регистрацию of GRB 180720B на примерно 10 ч позже триггера и наблюдал фотоны в области 100–440 ГэВ (Ruiz-Velasco, 2019). GRB 180720B близкий длинный всплеск ( $z = 0.6535$  и  $t_{90} \sim 150$  с в области низких энергий)
- Во время GRB 160821B MAGIC регистрировал излучение в субТэВной области до  $10^4$ с позже триггера (Palatiello et al, 2017). GRB160821B близкий короткий всплеск ( $z = 0.16$  и  $t_{90} = 0.48 \pm 0.07$  с в области низких энергий)

**и типу 1 :**

- Быстрая фаза 190829A была зарегистрирована H.E.S.S. до субТэВной области. Это очень близкий длинный всплеск  $z = 0.0785 \pm 0.005$  (Fraija, 2020)

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Несколько тысяч гамма-всплесков зарегистрировано в настоящее время по данным более 40 спутниковых и наземных экспериментов. Во время некоторых GRBs были зарегистрированы  $\gamma$ -кванты очень высоких энергий как в космических, так и в наземных экспериментах (до нескольких десятков ГэВ и до нескольких ТэВ соответственно). Например, GRB 190114C зарегистрирован Fermi и MAGIC в очень широком энергетическом диапазоне вплоть до субТэВной области.**

**В настоящее время зарегистрировано высокоэнергетическое  $\gamma$ -излучение послесвечение как длинных, так и коротких GRBs, но фотоны в области  $E > 0.1 \text{ TeV}$  обычно наблюдаются во время длинных GRBs (в настоящее время зарегистрирован только 1 такой короткий всплеск).**

**Большинство источников GRBs имеют космологическое происхождение, соответственно, необходимо рассматривать коррекцию на космологическое растяжение длительности GRBs. Новый параметр  $R_t$  вводится в представленной работе как отношение времени прихода фотона с максимальной энергией к длительности всплеска, причем он не требует учета космологического растяжения.**

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как минимум 2 группы длинных GRBs выделяются при использовании параметра  $R_t$  : для 25% фотон с максимальной энергией регистрировался в пределах длительности события  $t_{90}$ , но для остальных 75% событий такие фотоны наблюдались более чем через 10 с после его окончания.

Более того, анализ предварительных результатов позволяет сделать вывод о существовании 3х групп длинных всплесков.

- 1) длительность высокоэнергетического излучения меньше, чем  $t_{90}$ ,
- 2) длительность высокоэнергетического излучения больше, чем  $t_{90}$ :
  - а) фотон с максимальной энергией был зарегистрирован в пределах  $t_{90}$ ,
  - б) такой  $\gamma$ -квант наблюдался существенно позже  $t_{90}$ .

Таким образом, результаты предварительного анализа позволяют сделать вывод о неоднородности популяции источников длинных GRBs.

**Спасибо за внимание!**