

Три Ключа Н.С. Кардашева и Ю.Н. Парийского к природе активных ядер галактик

*Ковалев Ю.А.[1], Нижельский Н.А. [2], Ковалев Ю.Ю.[1], Троицкий С.В.[3],
Жеканис Г.В.[2], Цыбулев П.Г.[2], Мингалиев М.Г.[2], Сотникова Ю.В.[2],
Эркенов А.К.[2], Попков А.В.[4, 1], Плавин А.В.[1], Косогоров Н.[4]*

1 - АКЦ ФИАН, 2 - САО РАН, 3 - ИЯИ РАН, 4 - МФТИ



Аннотация

Совместная наблюдательная Программа ИКИ АН СССР/АКЦ ФИАН и САО РАН выполняется на РАТАН-600 с апреля 1979 года благодаря инициативе Н.С.Кардашева и постоянной поддержке Ю.Н.Парийского ("Ключ-1"). В 1990 г. отдел астрофизики И.С.Шкловского ИКИ преобразован в АКЦ ФИАН. Проводятся обзоры и мониторинг РАТАН-600 мгновенных широкодиапазонных спектров радиоизлучения активных ядер галактик (AGN) в диапазоне 1-22 ГГц. Модель 'Ежик' предложена для квазаров в конце 1960-х гг. Н.С.Кардашевым и развита в работах ряда авторов ("Ключ-2"). В докладе суммированы основные наблюдаемые свойства, полученные на РАТАН-600 по данным мгновенных много-частотных спектров излучения для большой выборки внегалактических объектов с РСДБ компактными компонентами. Показано, что форма, двухкомпонентная структура б-частотных РАТАН-600 спектров и характер их долговременной переменности согласуются с моделью 'Ежик' для релятивистской струи электронов и протонов в сильном продольном магнитном поле ядра квазара или галактики (AGN). Выполнена спектральная поддержка наземно-космического РСДБ для проектов VSOP (1997-2003) и РадиоАстрон (2011-2019. "Ключ-3"). С 2020 г. она дополнена новой темой многоканальной астрономии "радио-нейтрино" ("Ключ-4"?), текущие результаты которой показывают, что ранее роль синхротронного радиоизлучения протонов в сильном магнитном поле струи могла быть недооценена в астрофизике AGN. Новые данные позволят проверить эту гипотезу.

РАТАН-600 радио обзоры и мониторинг AGN

основные характеристики программы

- Частоты измерений: 1.2, 2.3, 4.8, 7.7, 11, 22 ГГц,
- Длины волн: 24, 13, 6.2, 3.9, 2.7, 1.4 см.
- Периодичность: 4 спектра/год для выборки ~600 объектов с РСДБ-комп.со склонениями > -40 градусов.

Цель: исследование природы долговременной переменности мгновенных радиоспектров активных ядер галактик, в т.ч. AGN как источников нейтрино.

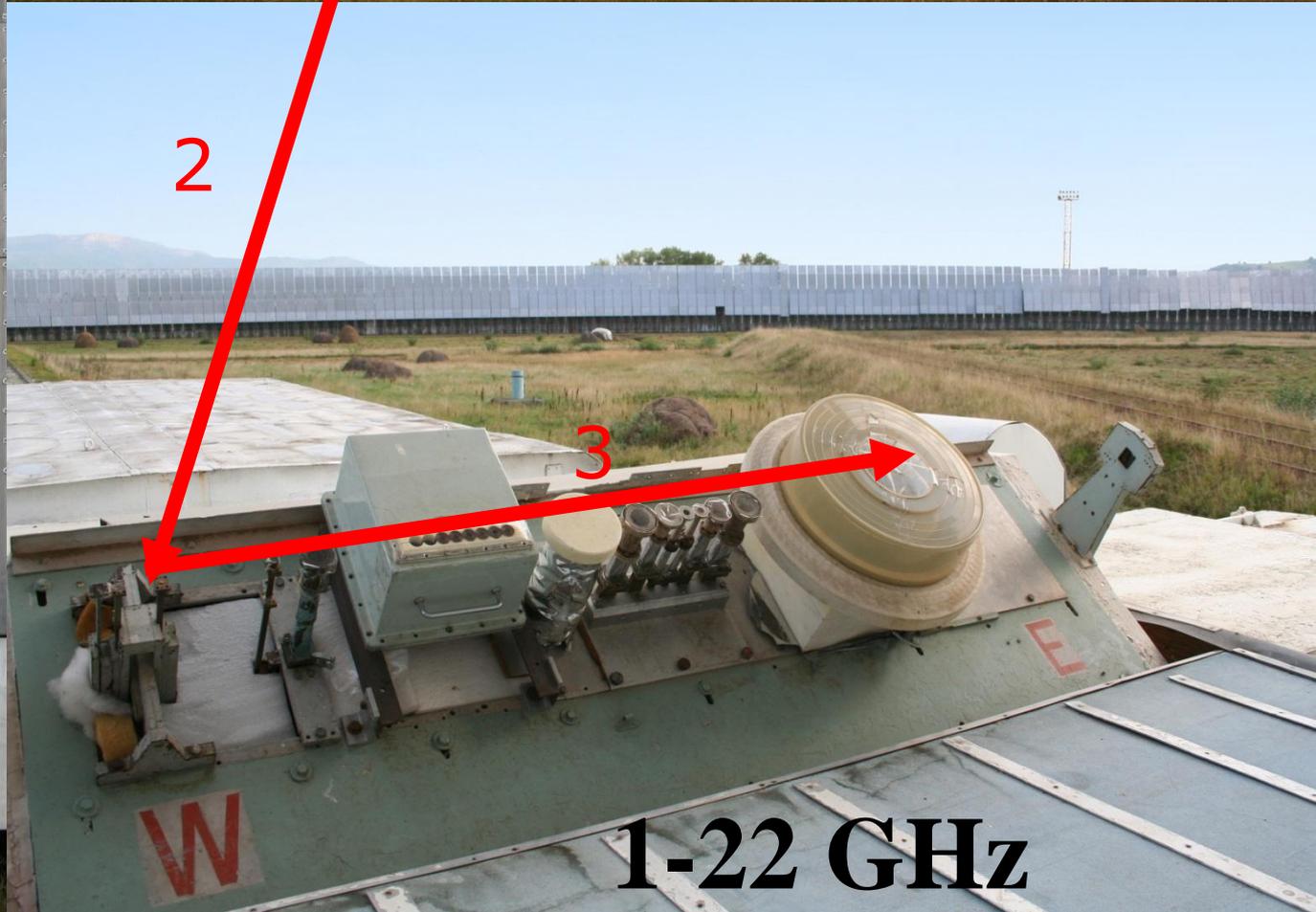
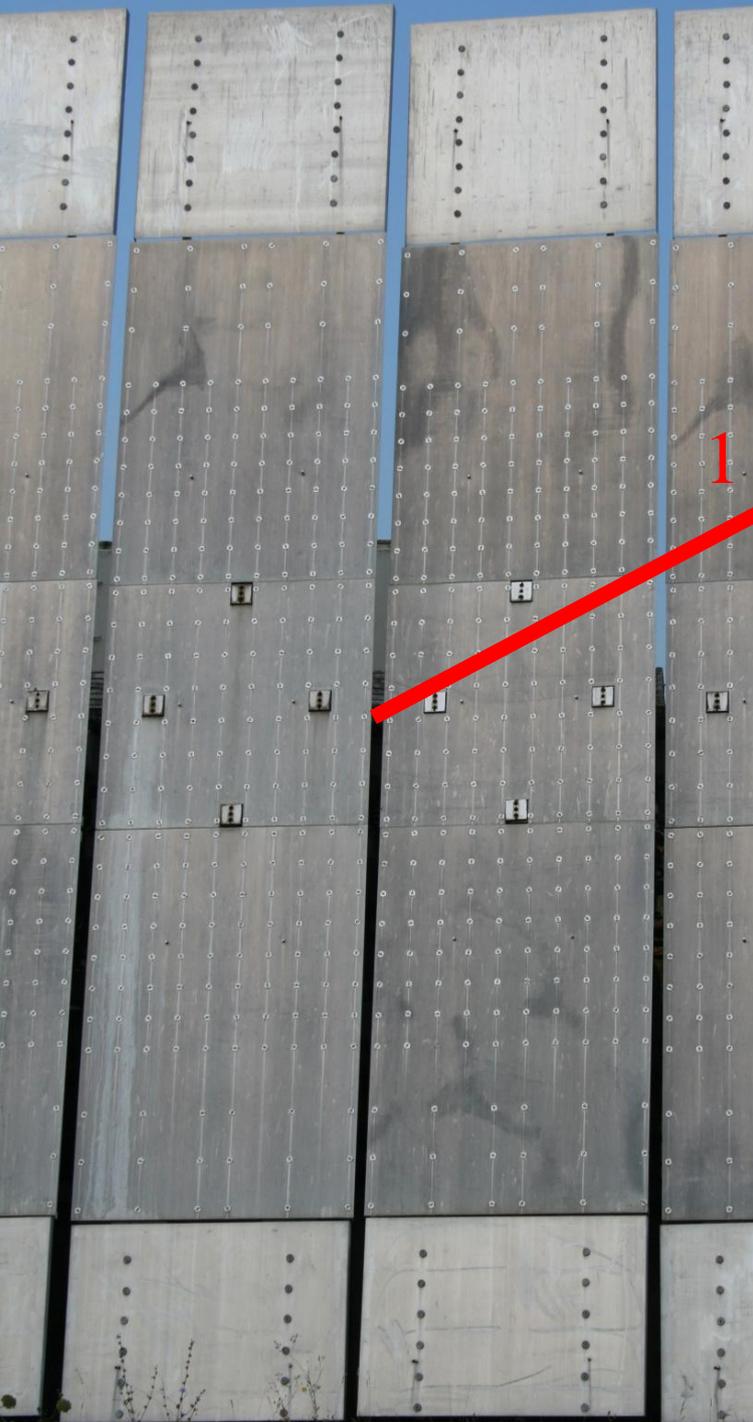
- Один мгновенный многочастотный 1-22 ГГц спектр измеряется в течение нескольких минут.

Подробности наблюдений, обработки и калибровки данных см. в статье Kovalev et al. (1999, A&AS, 139, 545).

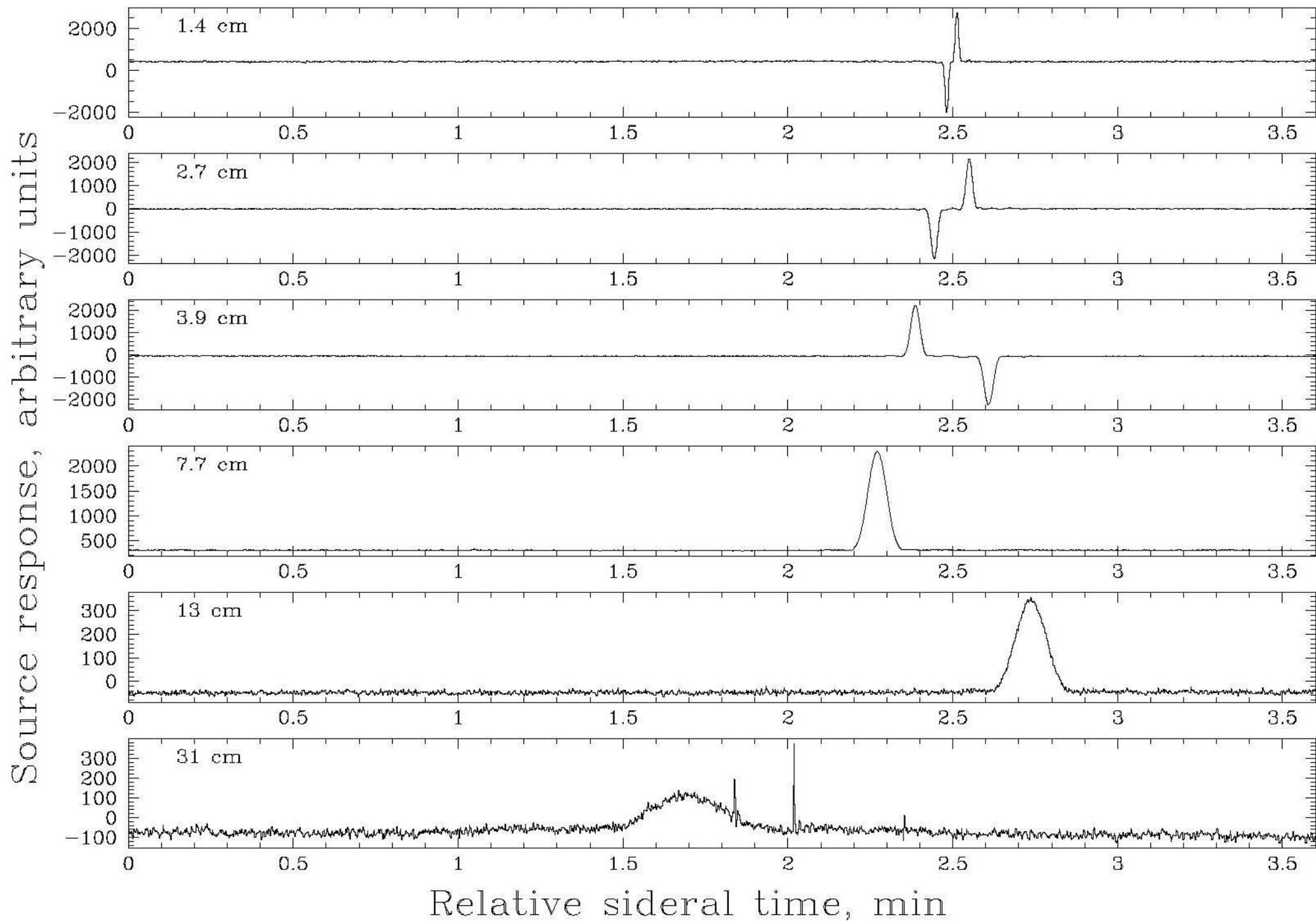
PATAH-600

CAO PAH

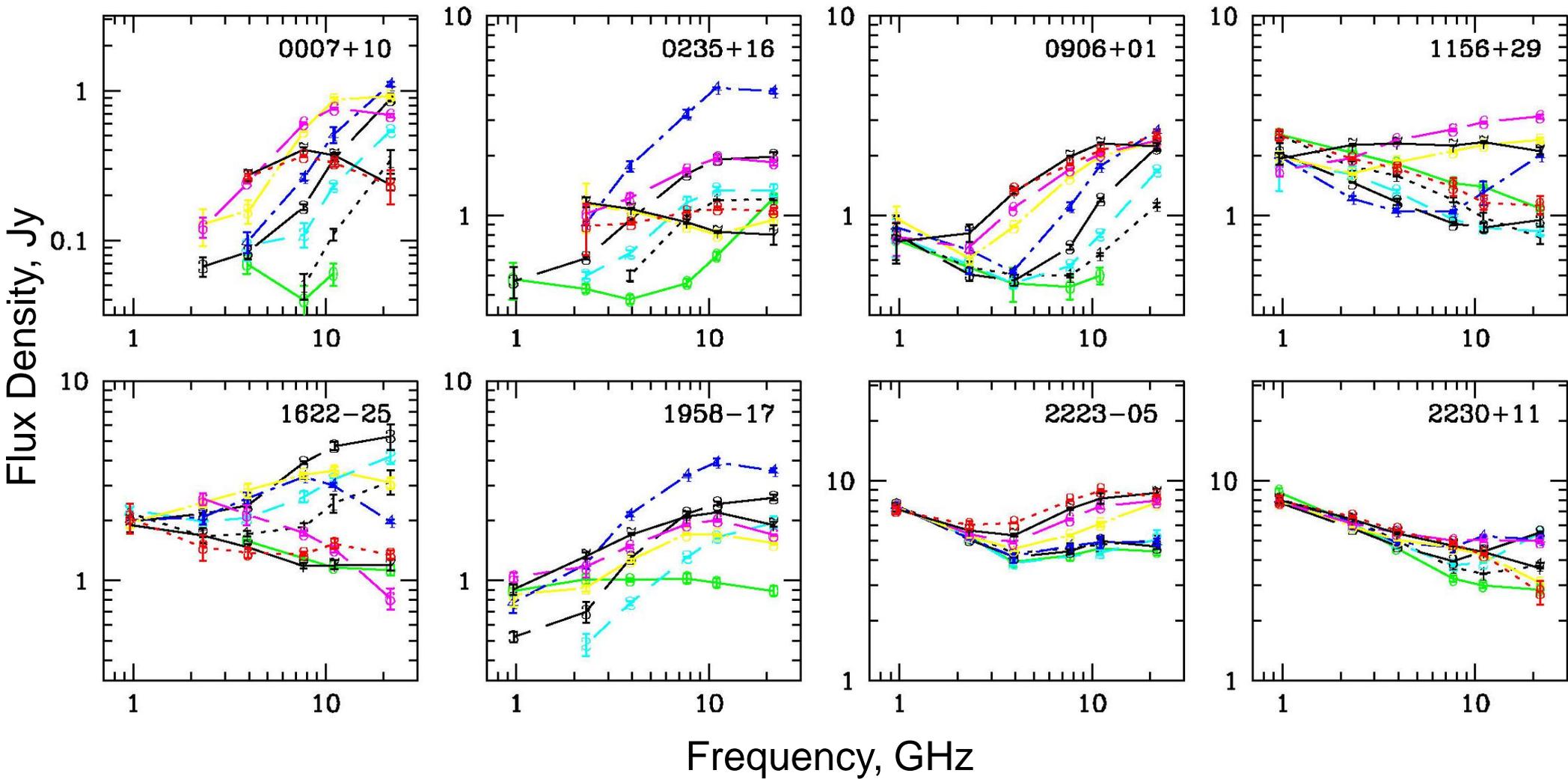




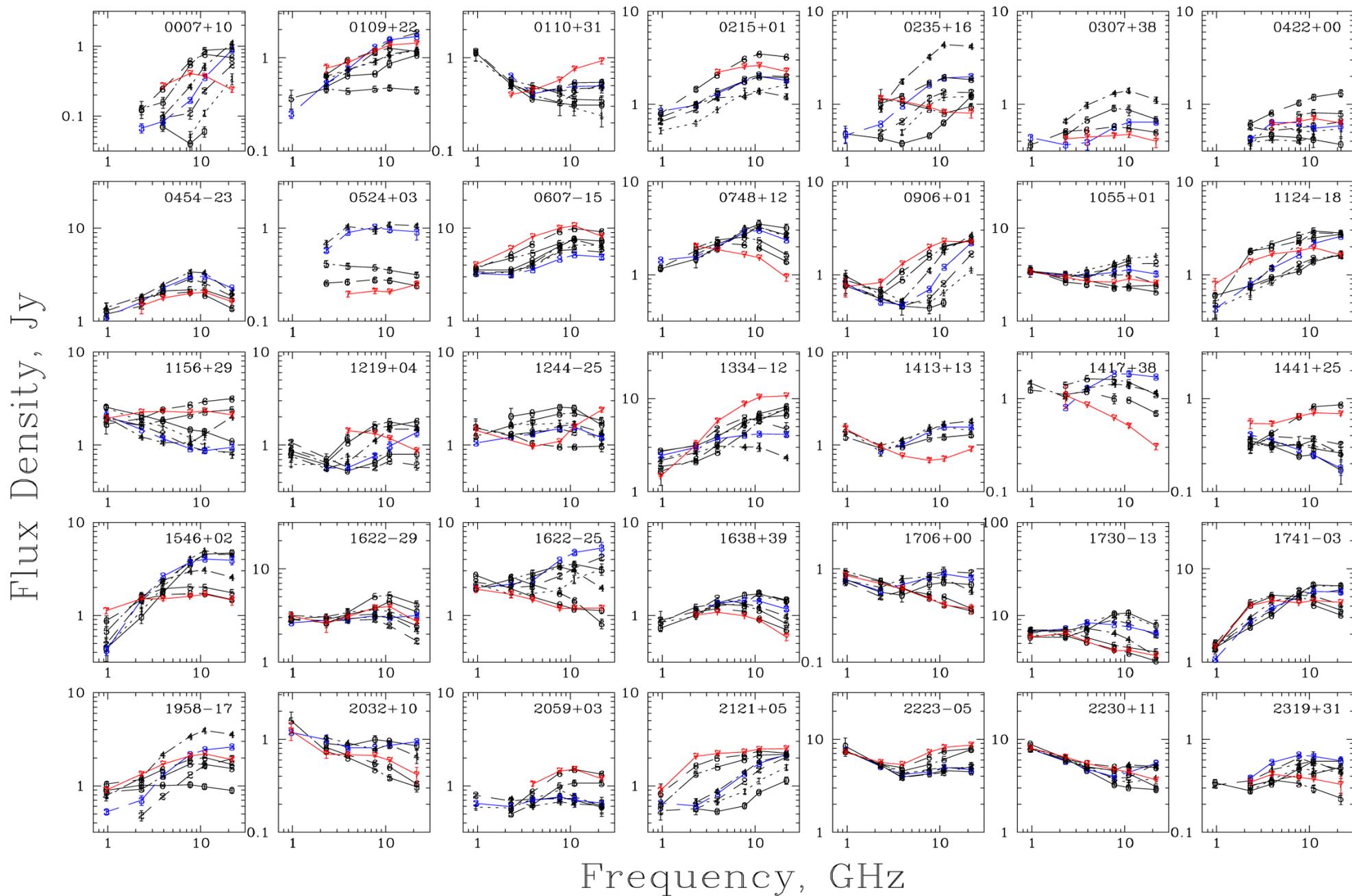
1-22 GHz



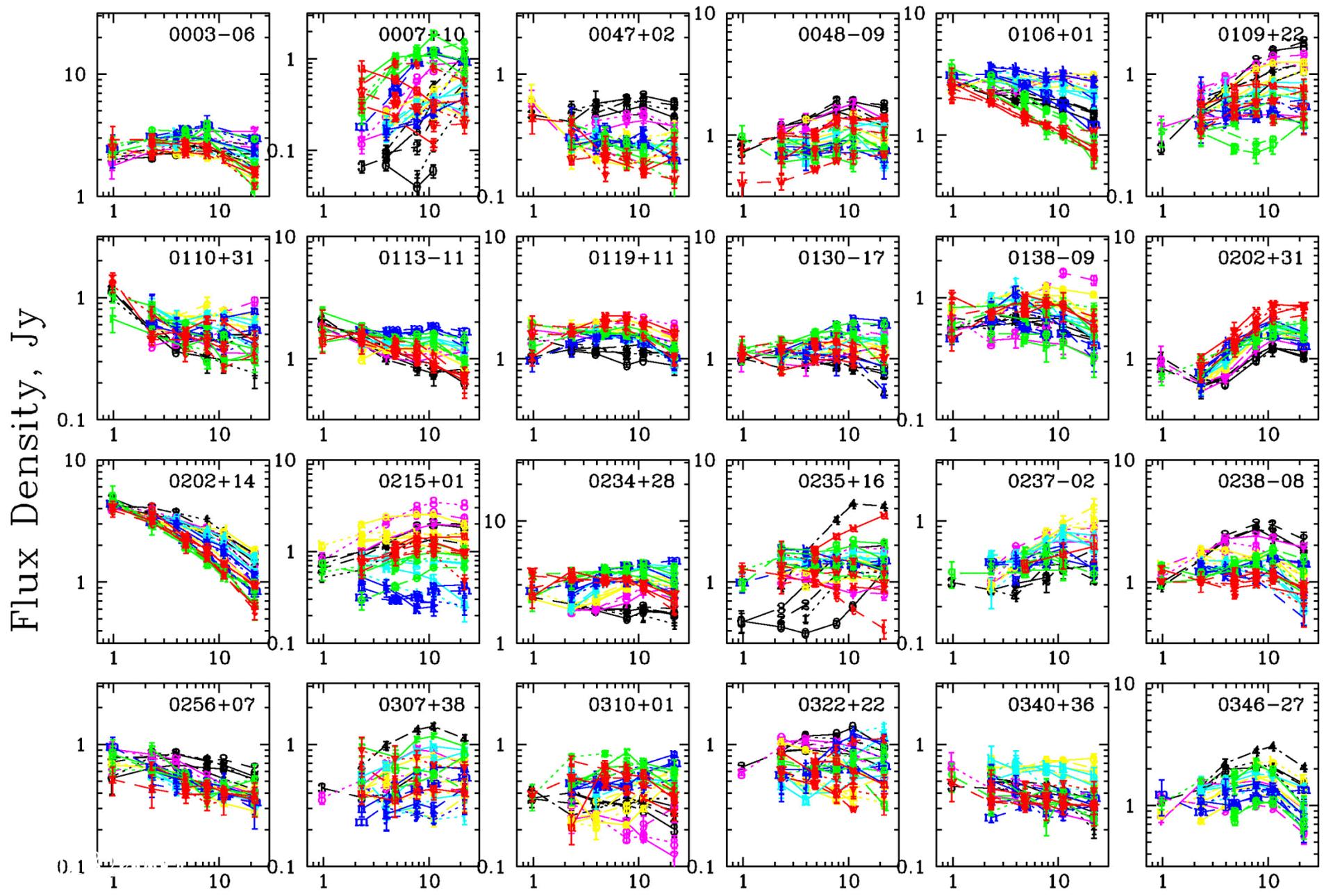
Примеры переменности РАТАН-спектров: релятивистские струи в АГН



Пример наблюдений и результатов обработки переменность мгновенных спектров (за 3 года)

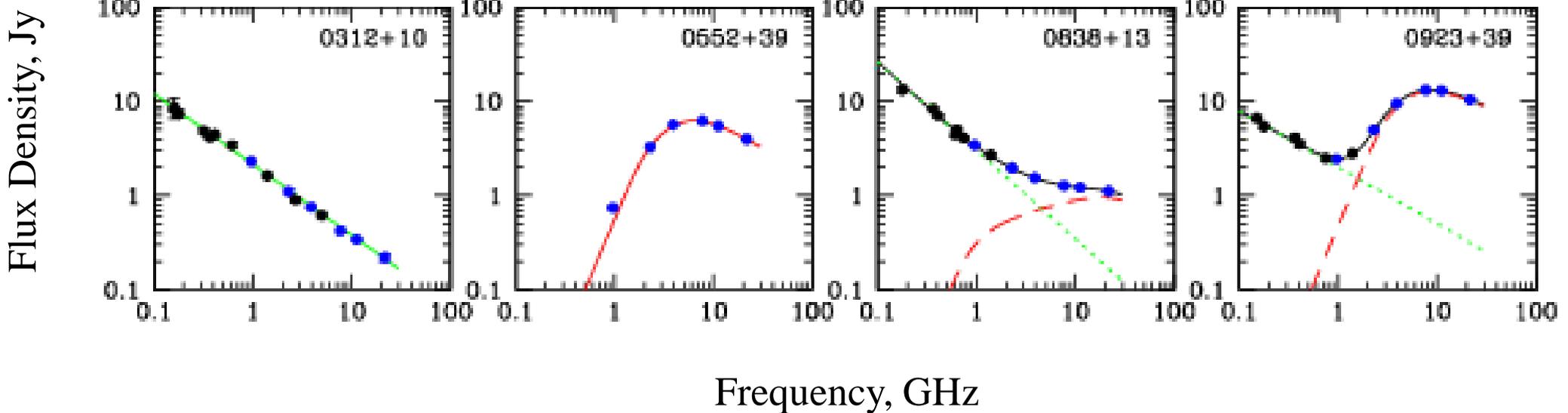


150 из 700 AGN: Сильная переменность Р-600 спектров излучения струй в 1997-2017 (ВАК-2017, А0)

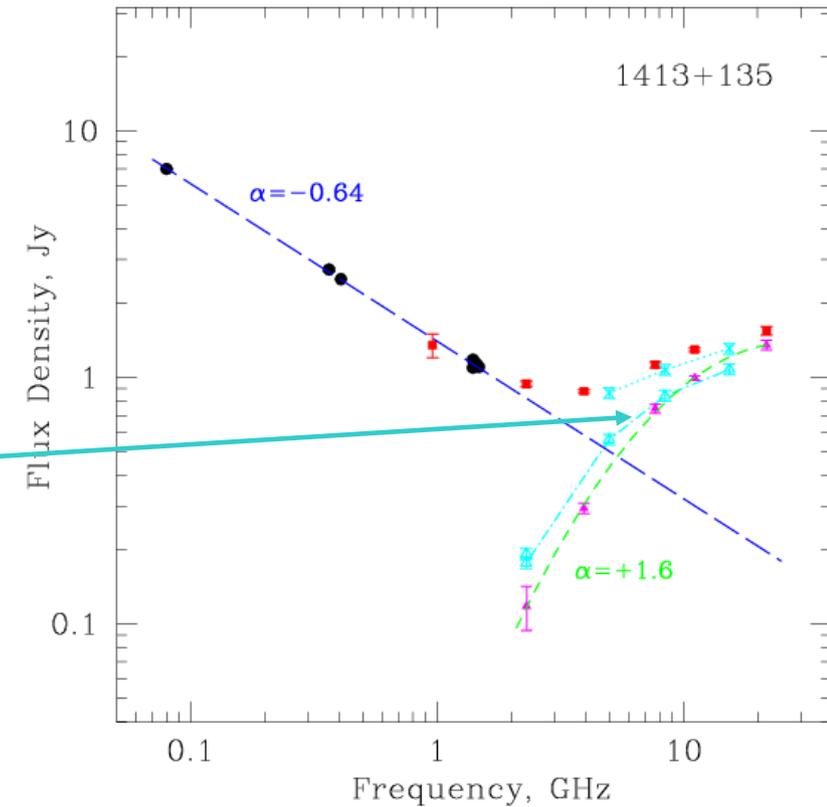
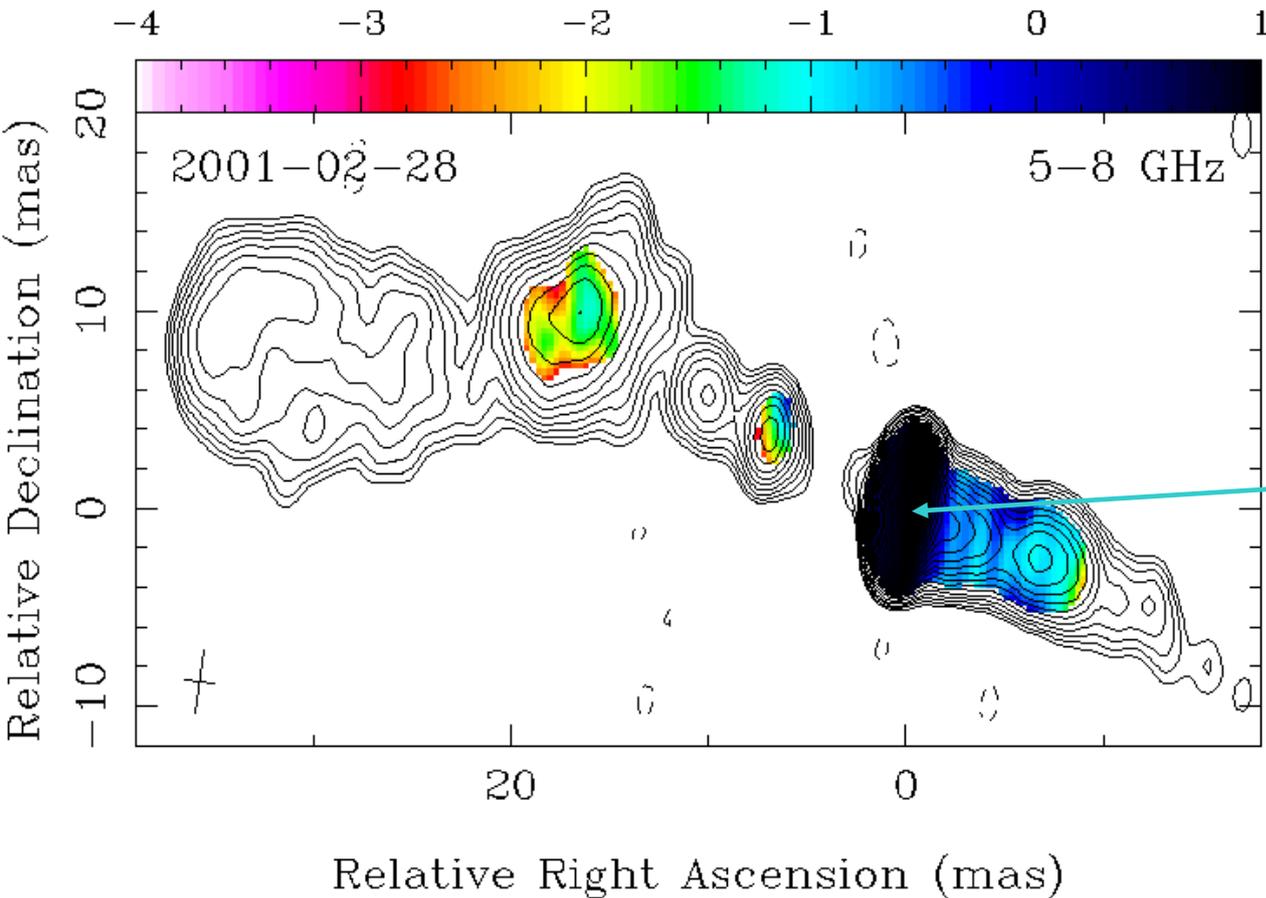


Наблюдаемые свойства

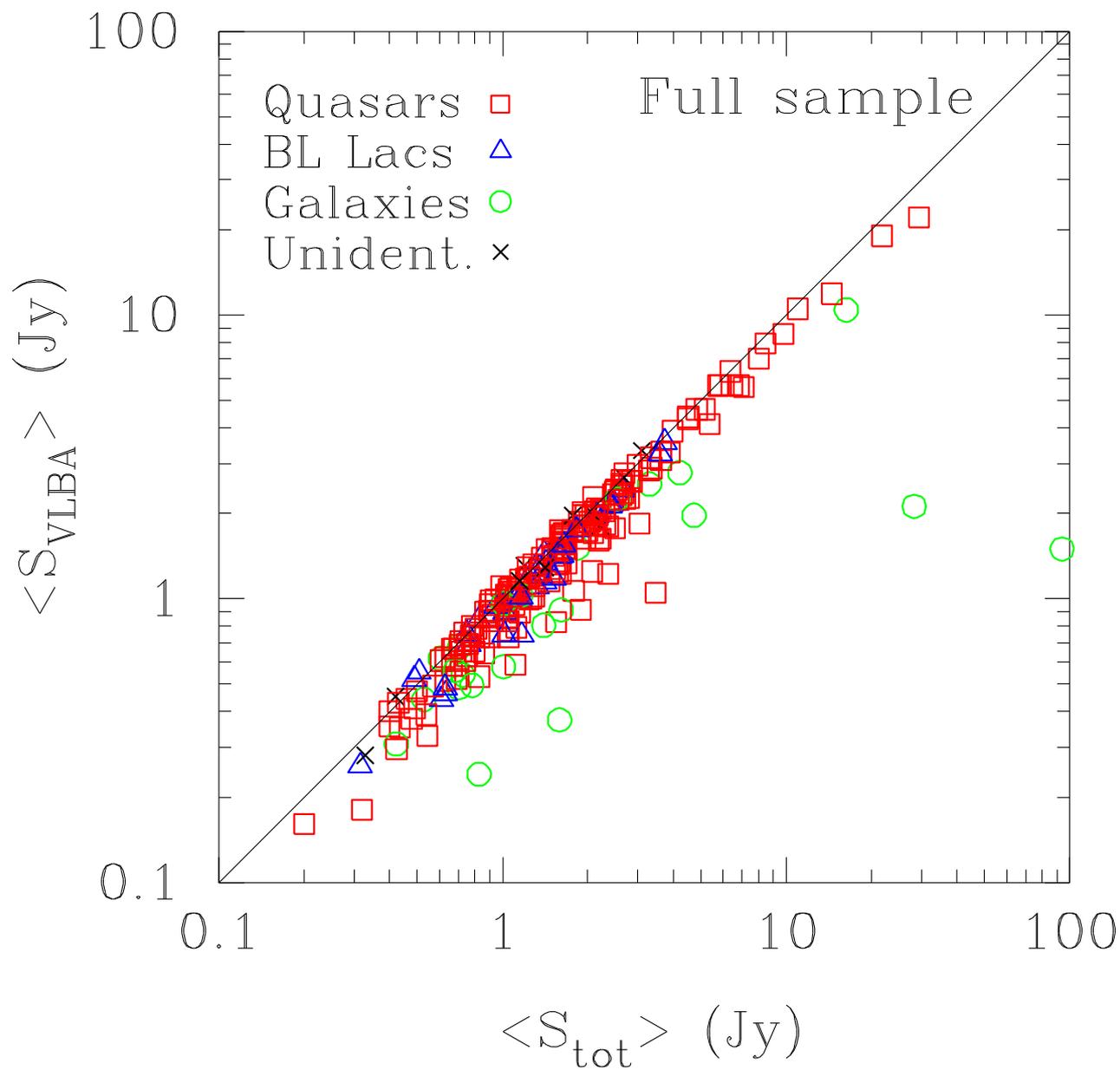
Структура мгновен. спектров: 2 компонента



BL Lac object 1413+135 ($z=0.247$)



Что видит РАТАН на высоких частотах?



Модель релятивистской струи

(Kovalev et al., PASJ 2000, 52, 1027)

$$F_\nu = \int_{\sin \vartheta}^1 F_0 \frac{I_\nu}{I_0} \varrho_k d\varrho_k, \quad (1)$$

$$I_\nu/I_0 = \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{5/2} \frac{\varrho_k}{\sin \vartheta} \frac{1 - \exp(-\tau)}{1 - \exp(-\tau_m)}, \quad (2)$$

where

$$\tau = \tau_m \left(\frac{\nu}{\nu_0} \right)^{-(\gamma+4)/2} Q^{-1} \varrho^{-(\gamma+2)}, \quad (3)$$

$$Q = \varrho_k \sin \vartheta + \sqrt{1 - \varrho_k^2} \cos \vartheta, \quad (4)$$

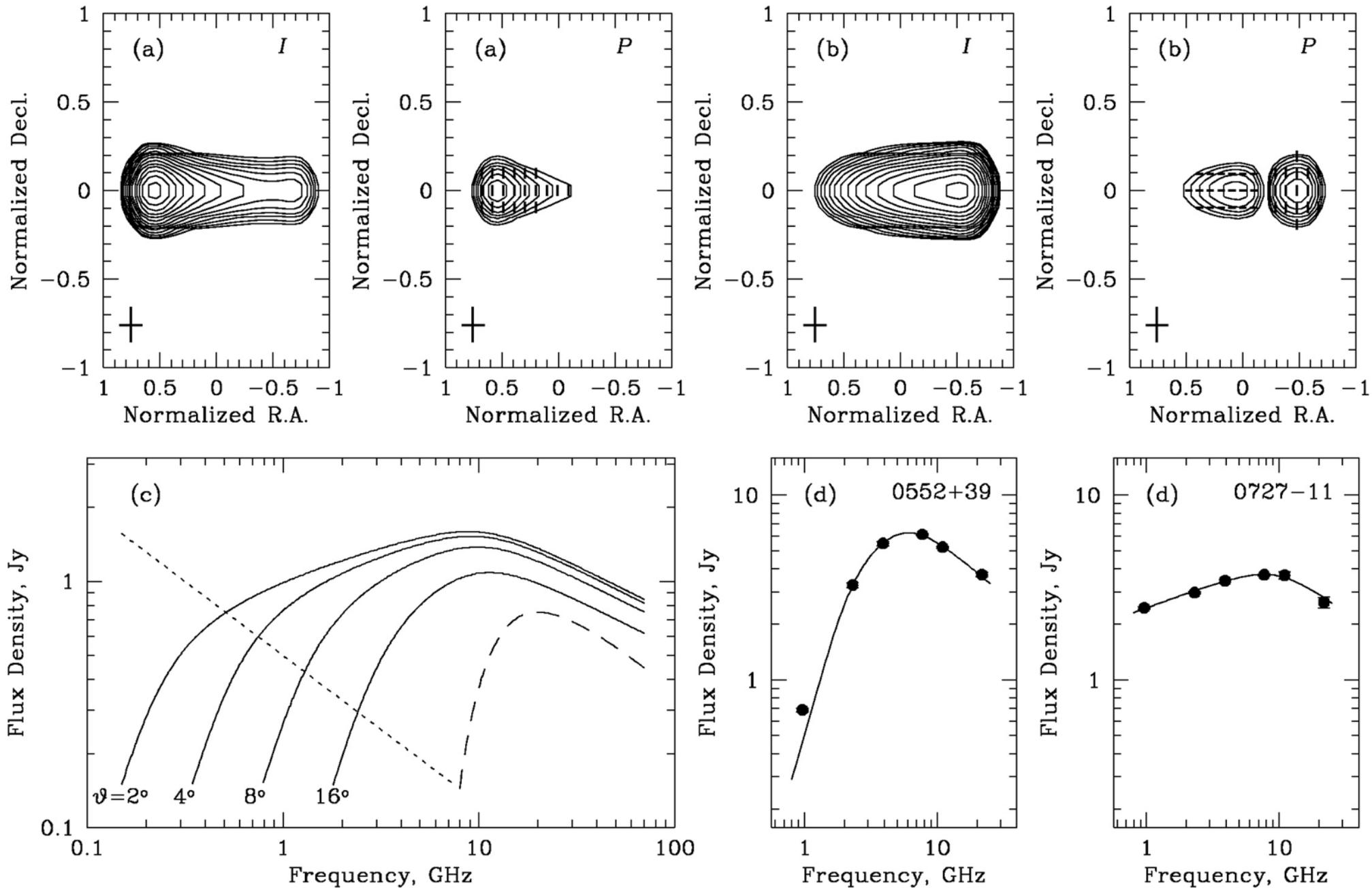
$\varrho_k = \varrho \sin \vartheta$ is the normalized distance in the picture plan, γ is an exponent of the emitting particle energy distribution ($n_E \propto E^{-\gamma}$), and the optical depth, τ_m , denotes the solution to the equation

$$\exp(\tau_m) = \tau_m \frac{\gamma + 4}{5} + 1. \quad (5)$$

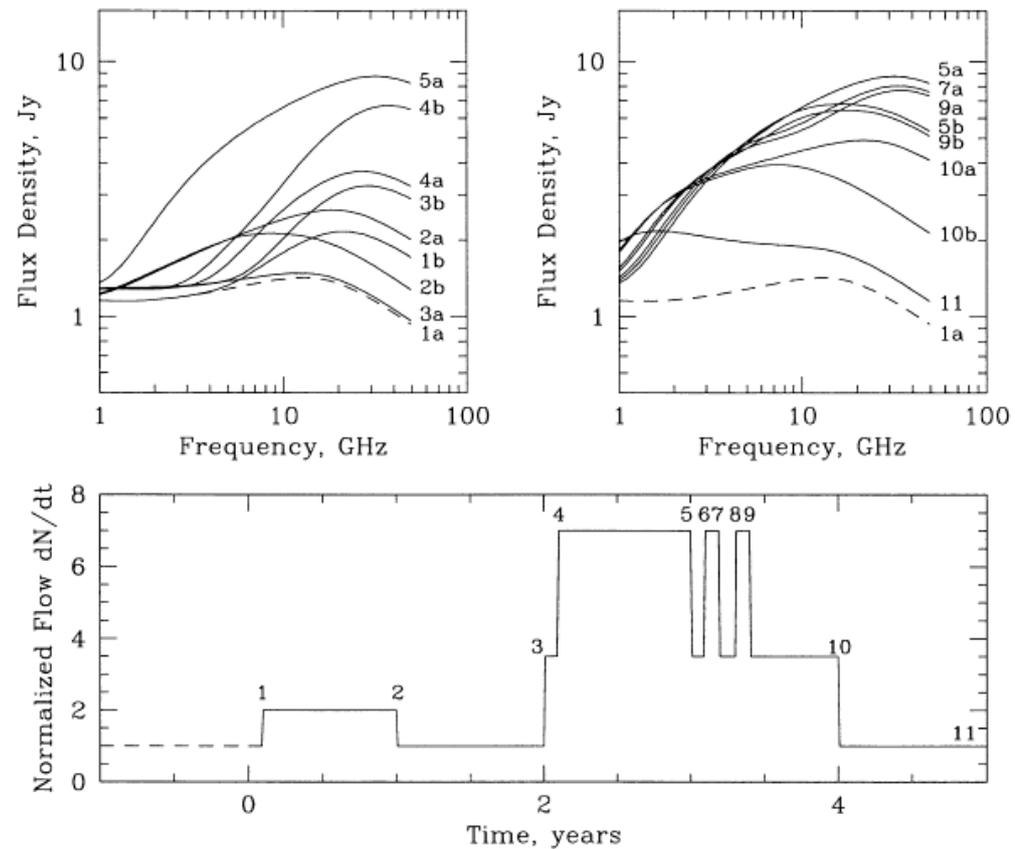
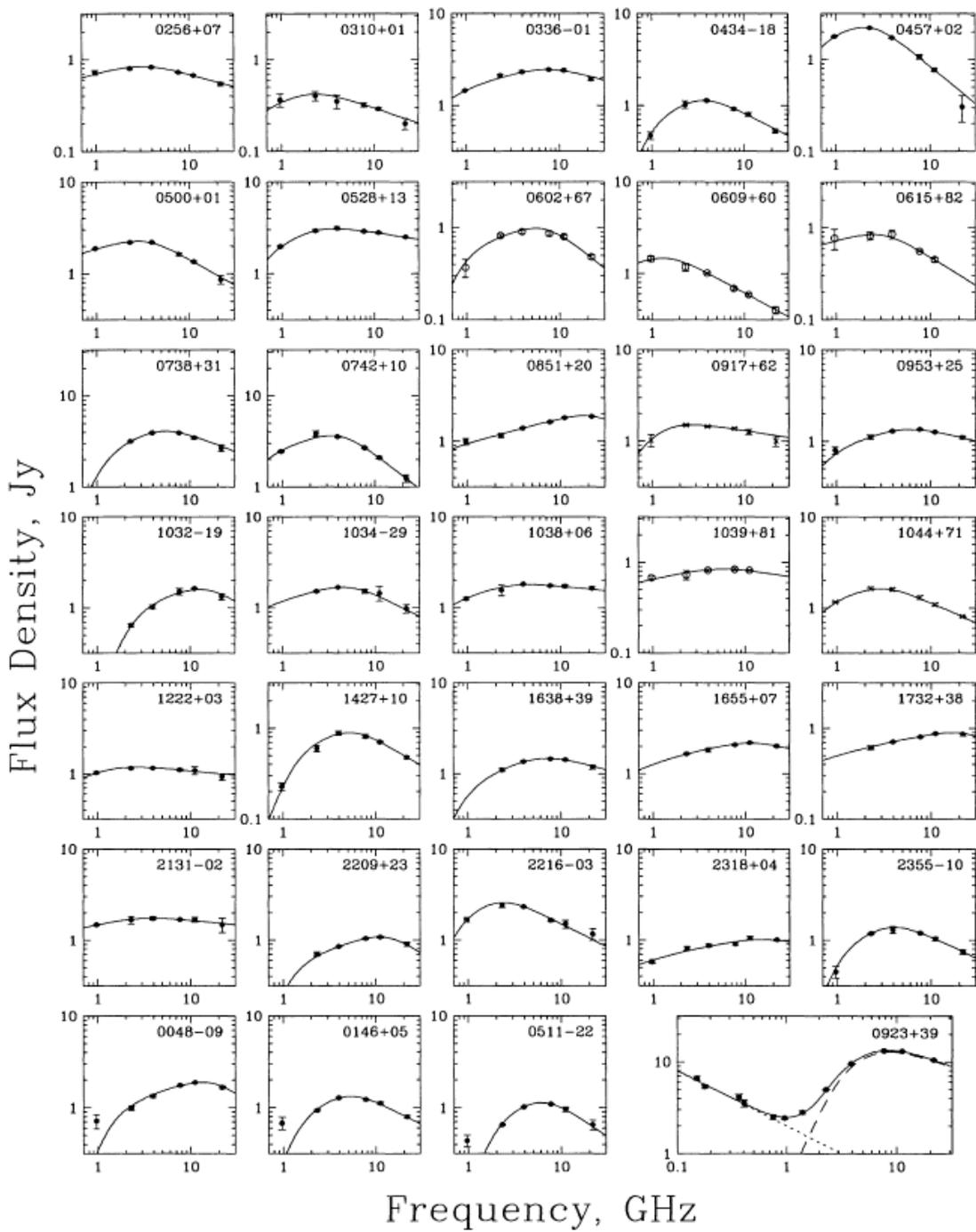
$$\frac{dN/dt}{(dN/dt)_1} = \frac{F_0}{F_{01}} \left(\frac{\nu_0}{\nu_{01}} \right)^{(\gamma-1)/2}. \quad (6)$$

Модель релятивистской струи

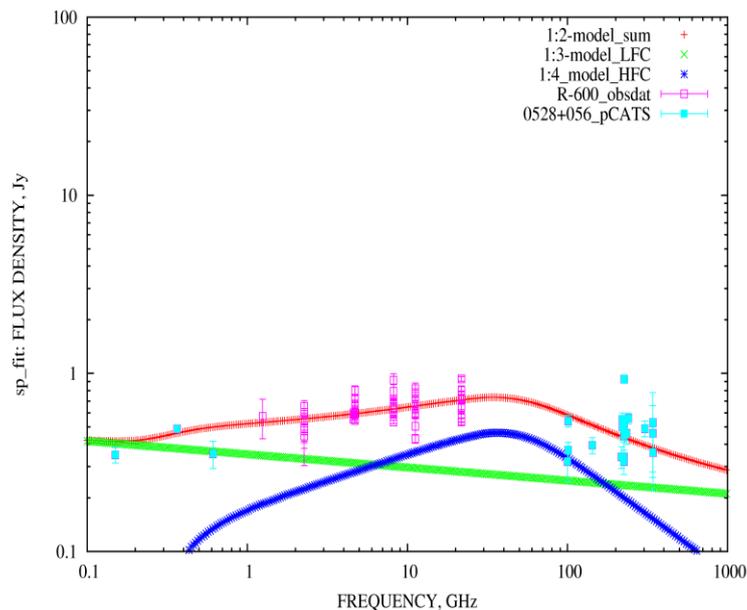
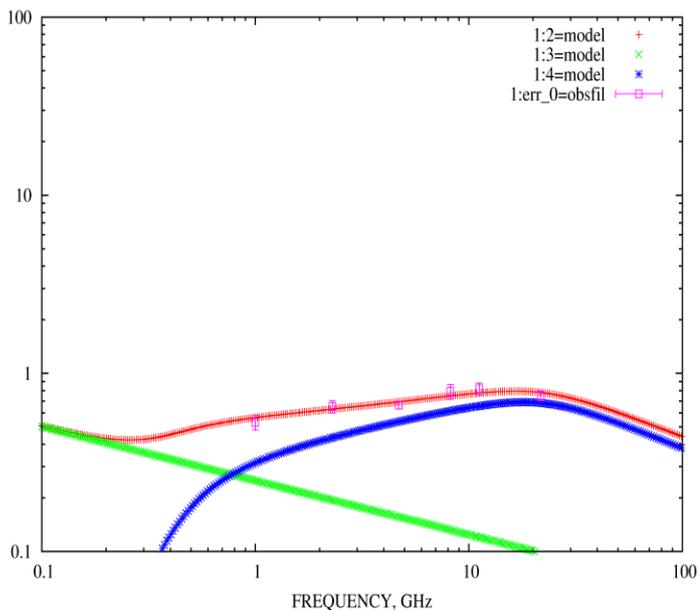
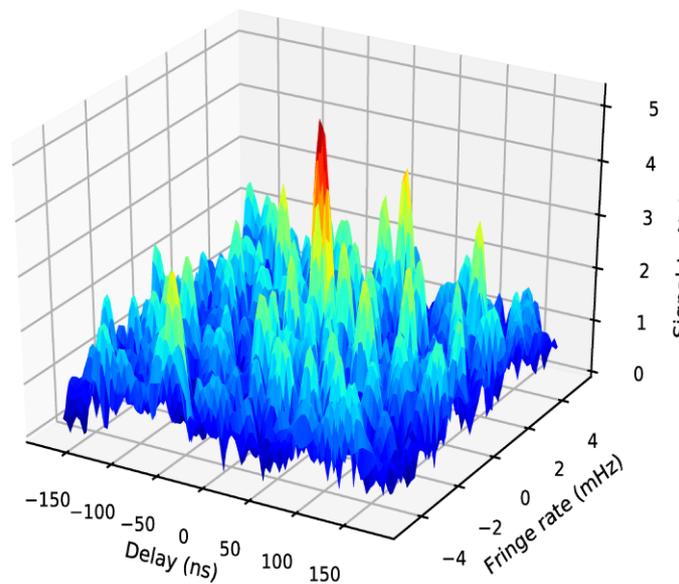
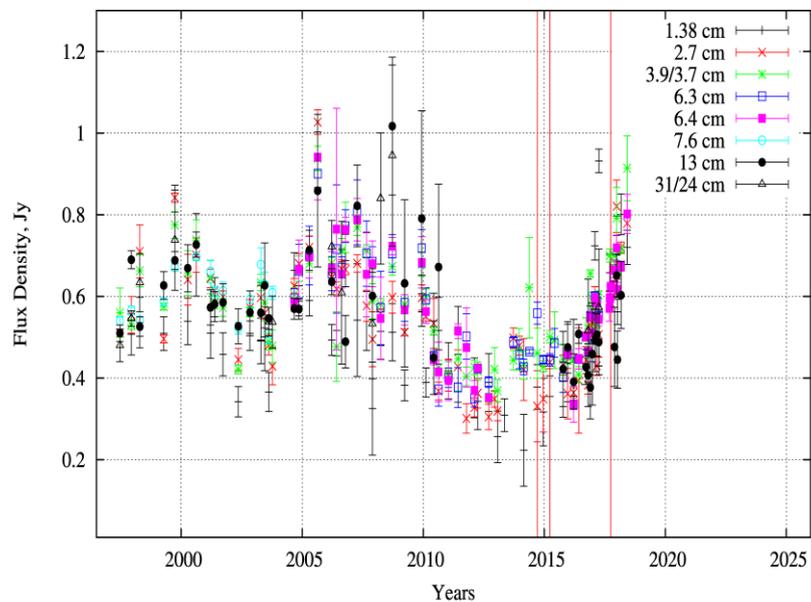
(Модель “Ёжик” \leftarrow Кардашев, 1969; Kovalev et al. АЖ 1980. 57, 696; PASJ 2000, 52, 1027)



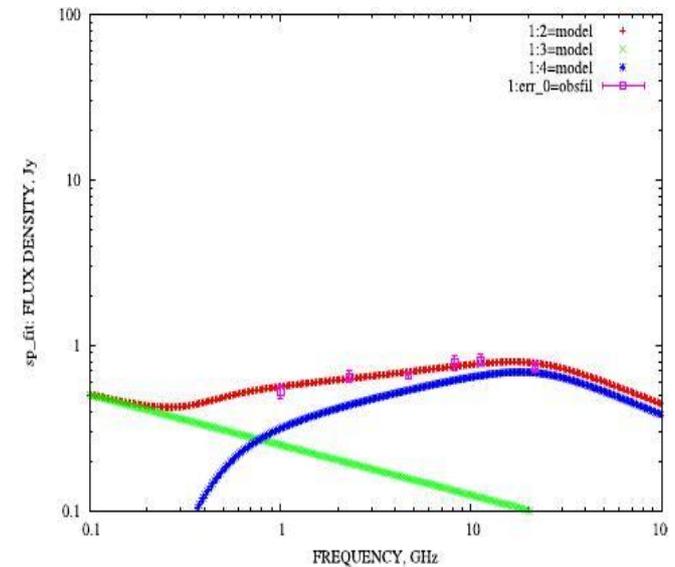
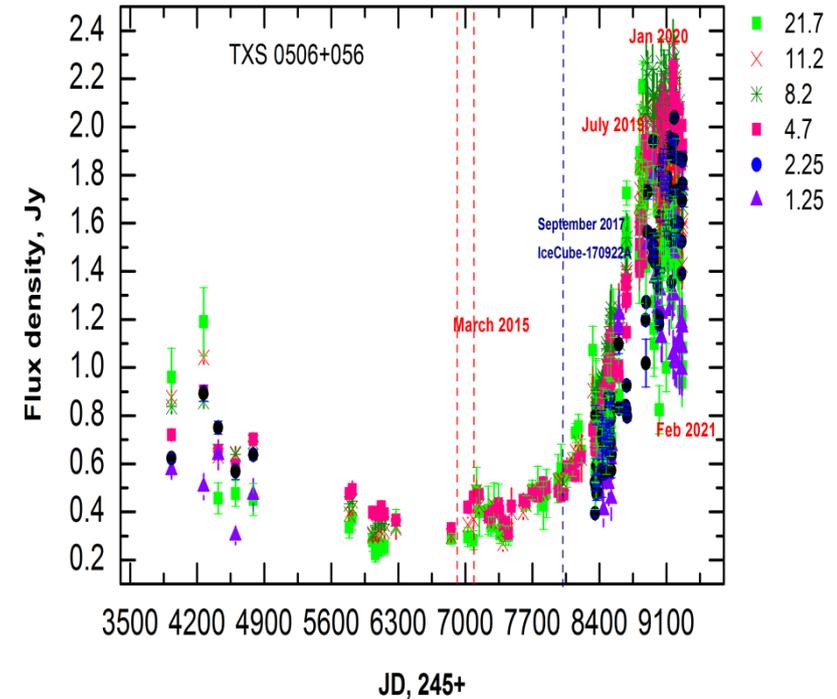
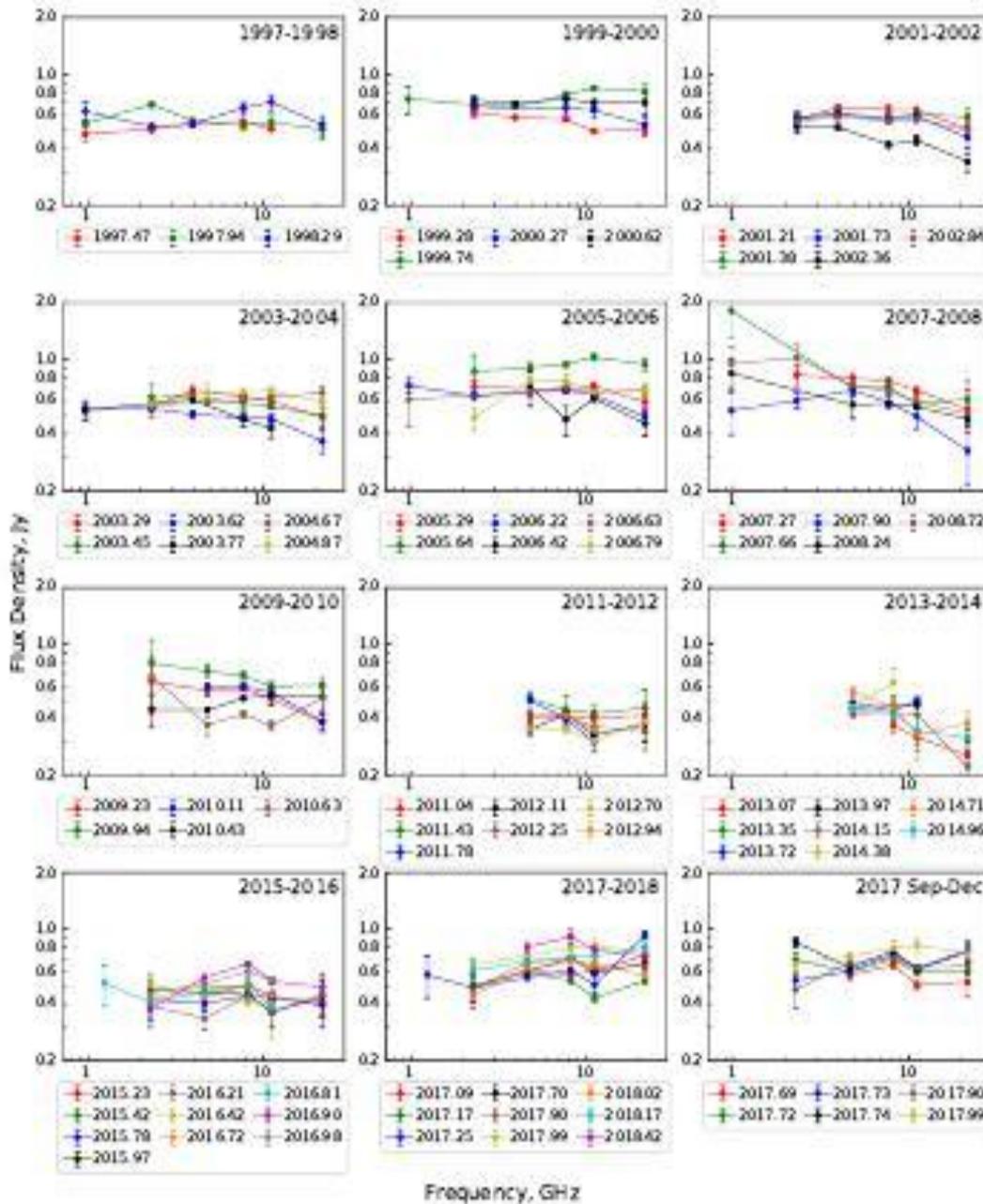
Численное моделирование Р-600 спектров объектов из обзоров VSOP и РадиоАстрон



R-600 + РадиоАстрон: Источник нейтрино высоких энергий 0506+056 – типичное AGN



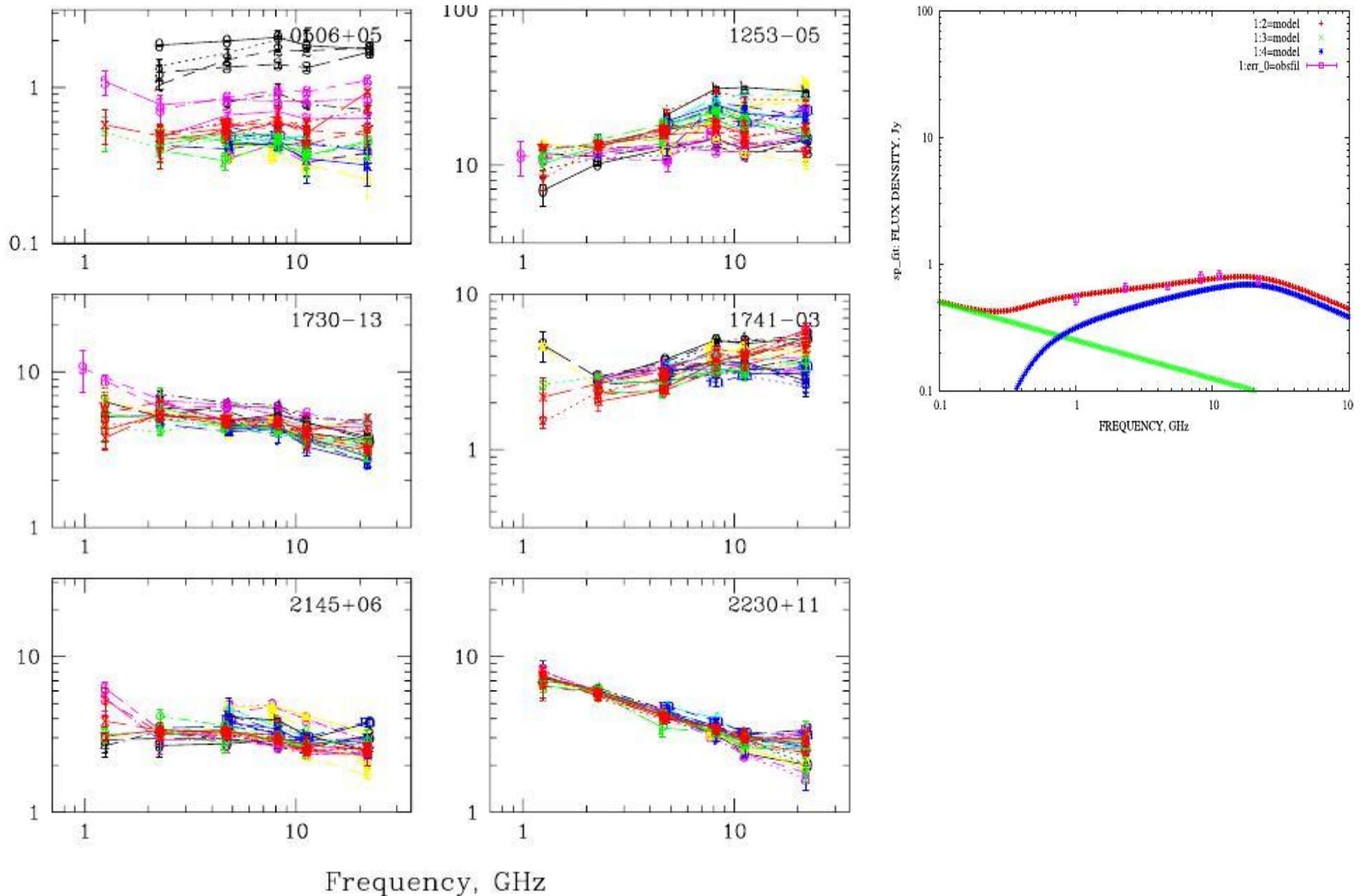
0506+05 – наблюдения (1997-2021) и моделирование 'Ежиком'



5 AGN с нейтрино ? (2230+11 = СТА102):

0506+05, 1253-05. 1730-13. 1741-03. 2145+06 – данные по 2021. ноябрь

Flux Density, Jy



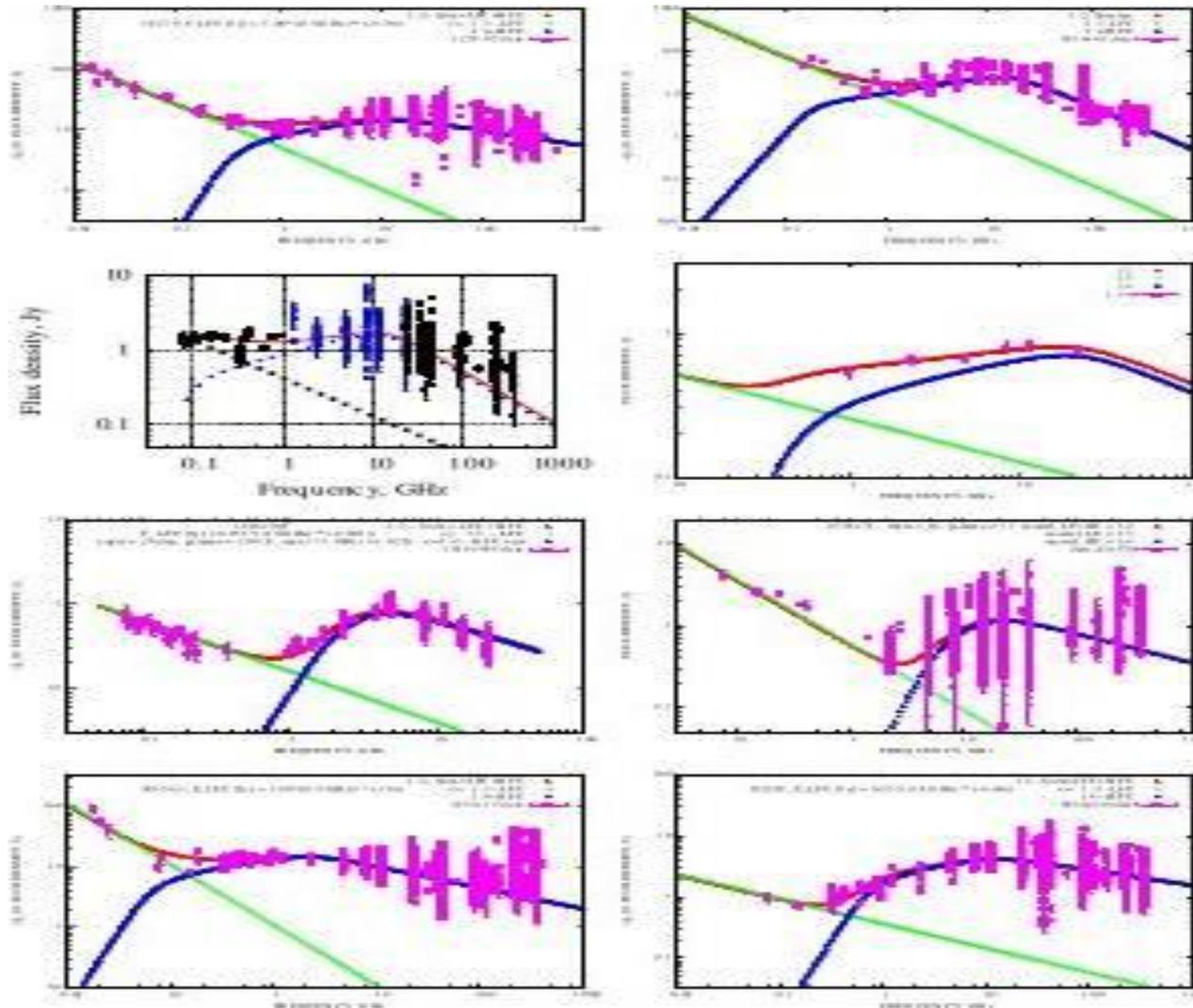
Frequency, GHz

РАТАН-600 + CATS + нейтрино:

протонные струи в модели 'Ежик' (ВАК-2021)

3C 84 / 3C 279 0506+05/1502+10 0716+71/1616+04 OJ287/3C454.3

ВЫВОД : радиоAGN = Ежик + НЧ-спектр



Предварит. Вывод по результатам 'подгонки' (протоны, $z \ll 1$):

1. Магнитное поле $\sim 10^3$ -- 10^4 Гс
2. Яркостная температура $\sim 10^{13}$ -- 10^{14} К
3. Угловой размер $\sim (0.01 - 0.03)$ mas

ВЫВОДЫ-2022: протоны, нейтрино, струи в AGN

- РАТАНовские спектры мгновенно реагируют на начало разгорания областей экстремальной яркости (РадиоАстрон) в квазарах.
- Нейтринный источник 0506+056 и другие яркие сильные РСДБ-объекты оказываются достаточно типичными AGN по данным исследований мгновенных РАТАН-600 спектров и измерениям на наземно-космическом РСДБ *РадиоАстрон*.

При одинаковых условиях яркостная температура T_b протонной струи может быть до $M_p/m_e = 1836$ раз больше, чем у электронного джета.

Вывод: Релятивистские протоны в струях 'Ежика'?

Спасибо