

## RADIO ASTRONOMY

<https://doi.org/10.18524/1810-4215.2024.37.313757>

## EVOLUTION OF THE JET EMISSION OF RADIO SOURCES WITH THE STEEP LOW-FREQUENCY SPECTRA

A.P. Miroshnichenko

Institute of Radio Astronomy of the NAS of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine, [a.p.miroshnichenko@gmail.com](mailto:a.p.miroshnichenko@gmail.com)

**ABSTRACT.** We suppose the relation of source emission at the decimeter and infrared bands as the estimate of the jet structure contribution relatively the central region of the source. This relation is examined for the sample of galaxies and quasars with steep low-frequency spectra from the UTR-2 catalogue. We have derived the relations of corresponding flux densities (at the frequency 25 MHz and at the frequency  $1.38 \cdot 10^{14}$  Hz (near-infrared band)) and their connection with source's redshifts, characteristic ages, jet propagation velocities. At the same value of the jet emission relation (at the separate value of this relation) the very close values of the characteristic age and the jet propagation velocity are derived for the examined galaxies and quasars with the same steep-spectrum type. So, the evolution of the galaxies and quasars with the steep linear radio spectrum (type S) may be similar. Analogously, one is similar for galaxies and quasars with the steep break radio spectrum (type C+). The considered relations have positive correlation for the corresponding redshifts, the jet propagation velocity. The radio sources with the steep linear spectrum display the smaller characteristic age ( $\sim 10^7$  years) than ones with the steep break spectrum ( $\sim 10^8$  years). And the obtained mean values of the jet propagation velocity for the examined galaxies and quasars with the steep linear spectrum ( $\sim 10^9$  cm/s) are more by one order than these for the examined galaxies and quasars with the steep break spectrum ( $\sim 10^8$  cm/s). The derived results may evidence for the cyclic activity of the steep-spectrum radio sources.

**Keywords:** steep-spectrum radio sources, jets, galaxies, quasars, characteristic age of radio sources.

**АНОТАЦІЯ.** Ми припускаємо, що відношення випромінювання джерела в декаметровому та інфрачервоному діапазонах є оцінкою внеску джегової структури відносно центральної області джерела. Це відношення досліджується для вибірки галактик і квазарів з крутими низькочастотними спектрами з каталогу UTR-2. Ми отримали відношення відповідних густин потоків (на частоті 25 МГц та в близькому інфрачервоному діапазоні  $1,38 \cdot 10^{14}$  Гц) та їх зв'язок з червоним зміщенням джерел, їхнім характерним віком, швидкістю поширення джетів. При однаковій величині відношення для випромінювання джетів (при виділеному значенні цього відношення) отримано дуже близькі величини характерного віку і швидкості поширення

джетів для досліджуваних галактик і квазарів з однаковим типом крутих спектрів. Отже, еволюція галактик і квазарів з крутим лінійним радіоспектром (тип S) може бути подібною. Аналогічно, подібна еволюція у галактик і квазарів з крутим радіоспектром зі зламом (тип C+). Розглянуті відношення мають позитивну кореляцію для відповідних червоних зміщень, швидкості поширення джетів. Радіоджерела з крутим лінійним спектром виявляють менший характерний вік ( $\sim 10^7$  років), ніж радіоджерела з крутим спектром зі зламом ( $\sim 10^8$  років). А отримані середні величини швидкості поширення джетів для досліджуваних галактик і квазарів з крутим лінійним спектром ( $\sim 10^9$  см/с) більші на порядок, ніж відповідні величини для досліджуваних галактик і квазарів з крутим спектром зі зламом ( $\sim 10^8$  см/с). Одержані результати можуть свідчити про циклічну активність радіоджерел з крутим спектром.

**Ключові слова:** радіоджерела з крутим спектром, джеги, галактики, квазари, характерний вік радіоджерел.

### 1. Introduction

As we know, the theoretical and observed data prove the central active nuclei with the supermassive black hole as the source of energy for galaxies and quasars. Studies of these objects at the different frequency ranges display that their central region (accretion disk, dust torus) is more prominent at the high frequencies (Imanishi et al., 2018). At that time, the powerful outflows from accretion disk (jets with cocoons) are more intensive at the low frequencies, corresponding to the decimeter wavelength band (Miroshnichenko, 2023). To continue study the steep-spectrum sources from the UTR-2 catalogue (Braude et al., 1978, 1979, 1981, 2003) (particularly, at the frequency 25 MHz) we analyze their properties in connection with central region of a source. We suppose the relation of source emission at the decimeter and infrared bands as the estimate of the jet structure contribution relatively the central region of the source.

### 2. Jet emission relation for the sources

From the UTR-2 catalogue we have compiled four samples ( $G_s$ ,  $Q_s$ ,  $G_{C+}$ ,  $Q_{C+}$ ) of the steep-spectrum galaxies and quasars: 78 galaxies with steep linear spectrum (radio

spectrum type S), 55 quasars with steep linear spectrum (radio spectrum type S), 54 galaxies with steep break spectrum (radio spectrum type C+), 36 quasars with steep break spectrum (radio spectrum type C+) (Miroshnichenko, 2023). We have used the NED data base for the necessary data. So, for samples  $G_S$ ,  $Q_S$ ,  $G_{C+}$ ,  $Q_{C+}$  the relation of emission for examined sources at the decimeter and infrared bands was determined as the relation  $lg(S_{25}/S_{IR})$  (where  $S_{25}$  is the flux density of source at 25 MHz,  $S_{IR}$  is the flux density of the source at  $1.38 \cdot 10^{14}$  Hz - NIR band). One can see the distribution of the obtained jet emission relations at the Fig. 1.

The mean values of the derived jet relations and the corresponding redshifts are:

$$G_S \quad \langle lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 4.58 (\pm 0.17) \quad (n = 29)$$

$$\langle z \rangle = 0.694 (\pm 0.103);$$

$$Q_S \quad \langle lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 4.70 (\pm 0.14) \quad (n = 15)$$

$$\langle z \rangle = 1.123 (\pm 0.100);$$

$$G_{C+} \quad \langle lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 3.67 (\pm 0.19) \quad (n = 24)$$

$$\langle z \rangle = 0.298 (\pm 0.070);$$

$$Q_{C+} \quad \langle lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 4.30 (\pm 0.11) \quad (n = 14)$$

$$\langle z \rangle = 0.950 (\pm 0.092).$$

Also we have determined the characteristic ages (Jamrozny et al., 2005) of examined steep-spectrum galaxies and quasars (as the time of synchrotron decay of relativistic electrons):

$$t_{syn} = 50.3 \frac{B^{1/2}}{B^2 + B_{CMB}^2} [v_b (1+z)]^{-1/2},$$

$B$  – is the magnetic field strength of source in  $10^{-5}$  Gauss,  $B_{CMB} = 0.32(1+z)^2$  – is the equivalent magnetic field strength corresponding to intensity of microwave background, in  $10^{-5}$  Gauss,  $v_b$  – is the critical frequency of the synchrotron spectrum (in GHz). The value  $B$  we obtained earlier,  $B \approx 10^{-5}$  Gauss (Miroshnichenko, 2012). The important characteristic of the jet structure of the source is the jet propagation velocity and it was calculated by us for the considered radio sources (Miroshnichenko, 2019; 2021).

So, the obtained mean values of the characteristic age and the jet propagation velocity for the examined steep-spectrum sources are:

$$G_S \quad \langle t_{syn} \rangle = 5.22 (\pm 0.36) \cdot 10^7 \quad (\text{years})$$

$$Q_S \quad \langle t_{syn} \rangle = 5.80 (\pm 0.34) \cdot 10^7 \quad (\text{years})$$

$$G_{C+} \quad \langle t_{syn} \rangle = 4.74 (\pm 0.41) \cdot 10^8 \quad (\text{years})$$

$$Q_{C+} \quad \langle t_{syn} \rangle = 2.02 (\pm 0.25) \cdot 10^8 \quad (\text{years})$$

$$G_S \quad \langle v_j \rangle = 2.97 (\pm 0.67) \cdot 10^9 \quad (\text{cm/s})$$

$$Q_S \quad \langle v_j \rangle = 3.12 (\pm 0.31) \cdot 10^9 \quad (\text{cm/s})$$

$$G_{C+} \quad \langle v_j \rangle = 5.49 (\pm 0.39) \cdot 10^8 \quad (\text{cm/s})$$

$$Q_{C+} \quad \langle v_j \rangle = 1.65 (\pm 0.46) \cdot 10^9 \quad (\text{cm/s}).$$

Let us consider the evolution of the jet emission contribution relatively the redshift (cosmological epoch), rela-

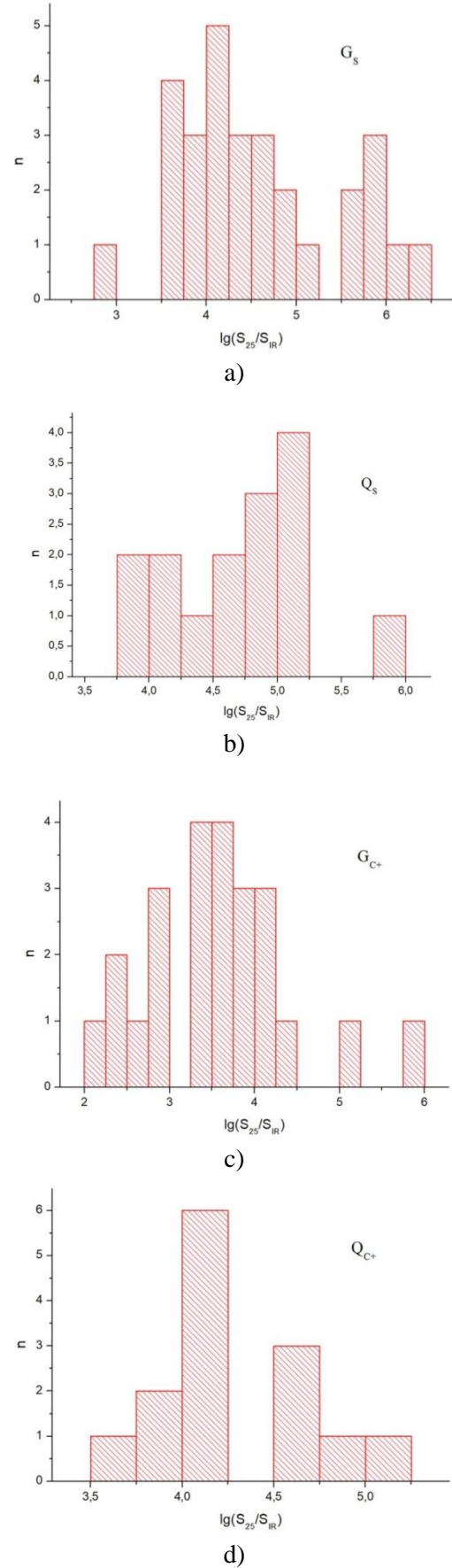


Figure 1: Distribution of relation  $lg(S_{25}/S_{IR})$  for examined galaxies and quasars

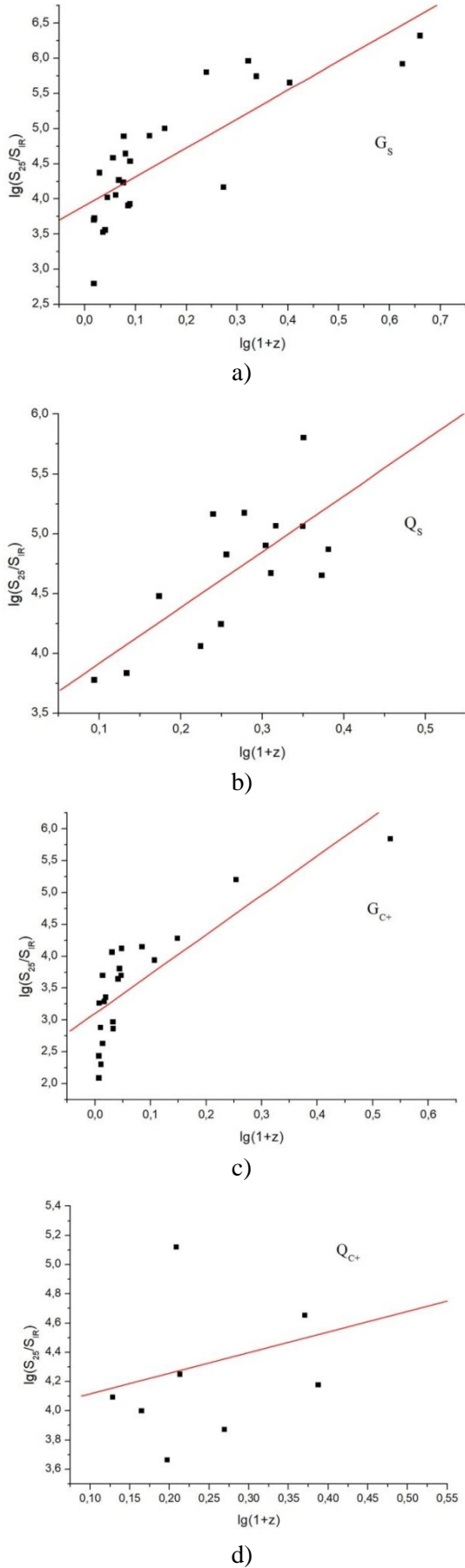


Figure 2: Relation of jet contribution vs redshift

vely the jet propagation velocity. We obtain the positive correlation for the jet emission contribution and the redshift (Fig. 2), and the same for the jet propagation velocity (Fig. 3).

It is interesting to study properties of the steep-spectrum sources at the same interval of relation  $\lg(S_{25}/S_{IR})$ . We separate the interval  $\lg(S_{25}/S_{IR}) = 3,5 \div 3,9$  and obtain such parameters for the examined galaxies and quasars, corresponding to the separate value of the jet emission relation:

$G_s$  (n = 5)

$$\langle \lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 3.73(\pm 0.16)$$

$$\langle t_{syn} \rangle = 5.07(\pm 2.69) \cdot 10^7 \text{ (year)}$$

$$\langle v_j \rangle = 6.63(\pm 2.30) \cdot 10^8 \text{ (cm/s)} ;$$

$G_{C+}$  (n = 5)

$$\langle \lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 3.76(\pm 0.11)$$

$$\langle t_{syn} \rangle = 5.08(\pm 2.10) \cdot 10^8 \text{ (year)}$$

$$\langle v_j \rangle = 8.21(\pm 7.32) \cdot 10^7 \text{ (cm/s)} ;$$

$Q_s$  (n = 2)

$$\langle \lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 3.81(\pm 0.03)$$

$$\langle t_{syn} \rangle = 5.94(\pm 1.23) \cdot 10^7 \text{ (year)}$$

$$\langle v_j \rangle = 1.03(\pm 0.23) \cdot 10^9 \text{ (cm/s)} ;$$

$Q_{C+}$  (n = 3)

$$\langle \lg(S_{25}/S_{IR}) \rangle = 3.78(\pm 0.09)$$

$$\langle t_{syn} \rangle = 2.57(\pm 0.58) \cdot 10^8 \text{ (year)}$$

$$\langle v_j \rangle = 4.83(\pm 1.246) \cdot 10^8 \text{ (cm/s)} .$$

### 3. Conclusion

1. The jet emission contribution relatively the central region of the radio source with steep low-frequency spectrum displays positive correlation for the corresponding redshift, for the jet propagation velocity.

2. At the same value of the jet emission contribution, the examined galaxies and quasars with the same type of radio spectrum have mutually closed values for the source's characteristic age and the jet propagation velocity. This may testify on the similar evolution for galaxies and quasars with steep low-frequency spectrum.

3. It is important, that the characteristic age of sources with the steep break spectrum (type C+) exceeds by one order the characteristic age of sources with steep linear spectrum (type S). This may be as manifestation of the cyclic activity of the examined galaxies and quasars.

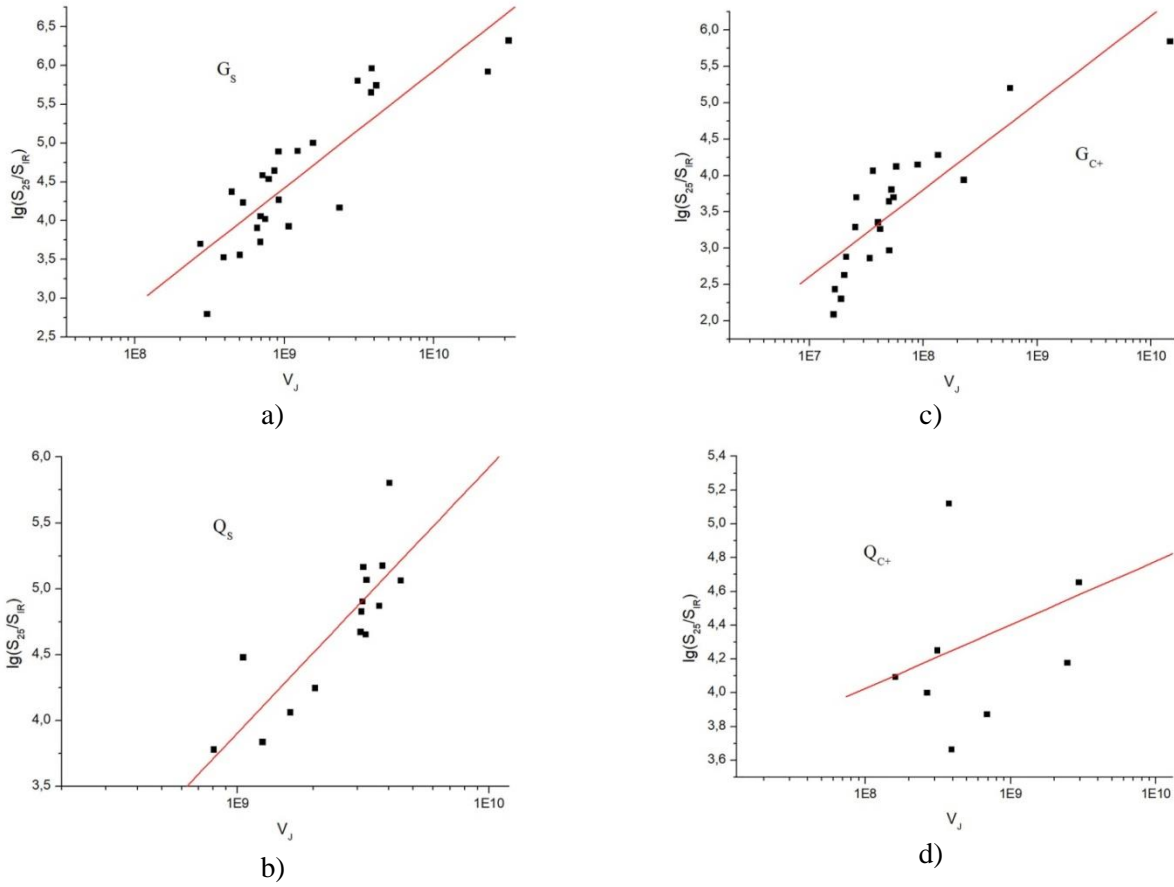


Figure 3: Relation of jet contribution vs jet propagation velocity

*Acknowledgements.* This research has made use of NASA’s Astrophysics Data System Bibliographic Services.

**References**

Braude S., et al.: 1978, *Ap&SS*, **54**, 37.  
 Braude S., et al.: 1979, *Ap&SS*, **64**, 73.  
 Braude S., et al.: 1981a, *Ap&SS*, **74**, 409.  
 Braude S., et al.: 1981b, *Ap&SS*, **76**, 279.  
 Braude S., et al.: 2003, *KPCB*, **19**, 291.  
 Imanishi M., et al.: 2018, *ApJL*, **853**, L25.  
 Jamrozy M., et al.: 2005, *A&A*, **433**, 467.  
 Miroshnichenko A.: 2012, *RPRA*, **3**, 215.  
 Miroshnichenko A.: 2013, *OAP*, **26/2**, 197.  
 Miroshnichenko A.: 2019, *Ap&SS*, **364**, A92.  
 Miroshnichenko A.: 2021, *RPRA*, **26**, 165.  
 Miroshnichenko A.: 2023, *OAP*, **36**, 127.