

О природе отдельных радио-уярчений в парсековых струях квазаров

Тодоров Р. В.^{1,*}, Пащенко И. Н.^{2,1}, Кравченко Е. В.^{1,2}, Пушкарёв А. Б.³

¹Московский физико-технический институт, Россия, Москва,

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Россия, Москва,

³Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Россия, Научный,

*e-mail: todorov.rv@phystech.edu

1. ВВЕДЕНИЕ

Релятивистские струи квазаров при РСДБ-наблюдениях (Радиоинтерферометрия со СверхДлинной Базой) демонстрируют отдельные уярчения (т. н. компоненты), зачастую движущиеся с видимыми сверхсветовыми скоростями. Кинематический анализ компонент на основе РСДБ-мониторинга выборок объектов является одной из основ текущего понимания динамики струйных выбросов.

Однако, интерпретация кинематических данных существенно зависит от природы компонент: определяется ли скорость уярчения скоростью плазмы струи или же, например, скоростью фронта ударной волны? Так, в случае ударных волн ожидается систематическое уплощение спектра радиоизлучения в области отдельных компонент, связанное с повторным ускорением частиц (Рис. 1). Кроме этого, радиационное старение излучающих частиц может приводить к укрупнению спектра вдоль струи. Ранние работы действительно обнаруживают подобные эффекты [1, 2]. Поэтому видимые укрупнения и уплощения спектра часто интерпретируются как физический эффект, на основе которого оцениваются магнитные поля в системе. Например, в работе [1] приводится среднее по выборке проекта MOJAVE уплощение спектрального индекса в ярких компонентах струй равное 0.20 ± 0.02 , что объясняется наличием ударных волн.

Наш недавний анализ [3] показал, что алгоритм CLEAN, широко используемый для РСДБ-картографирования может искусственно искажать спектральные карты струйных выбросов систематическим образом, делая спектр более крутым в протяженных областях малой поверхностной яркости и, таким образом, создавая кажущееся уплощение спектра в области уярчений. Другими словами, систематика РСДБ-картографирования может имитировать под физический эффект.

В данной работе мы используем предложенный нами несмещенный анализ РСДБ-данных для исследования природы отдельных уярчений на основе многочастотных наблюдений выборки сотен объектов.

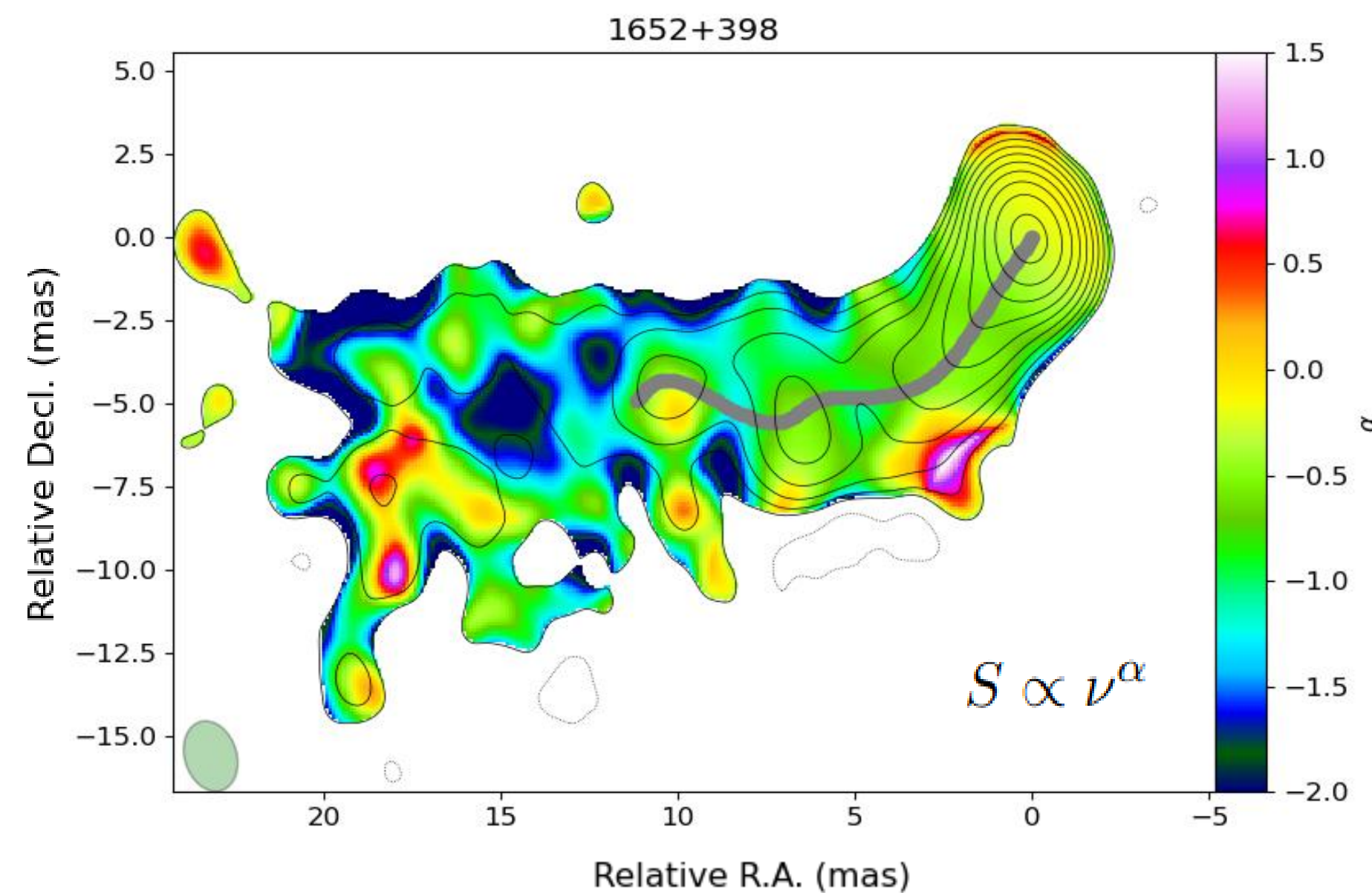


Рис. 1. Карта спектрального индекса α квазара 1652+398 (эпоха наблюдений 12.02.2006), построенная по частотам наблюдений 8.1-15.4 ГГц. Цветом показан спектральный индекс, контурами - уровни полной интенсивности с шагом 2, начиная с уровня 3σ шума карты на 8 ГГц. Серая кривая обозначает хребтовую линию.

Наблюдательные данные проекта MOJAVE
(<https://www.cv.nrao.edu/MOJAVE/>).

2. МЕТОДЫ

Алгоритмы чистки данных, используемые при РСДБ-картографировании позволяют отделять данные от наблюдательных шумов. Однако при этом возникает проблема систематической недооценки потока, особенно в относительно тусклых областях [3]. Для подавления этой систематики мы пользовались алгоритмом глубокой чистки данных, предусматривающий очистку в 5 раз глубже [3]. Из базы наблюдательных данных проекта MOJAVE мы выделили 8 наиболее ярких квазаров, демонстрирующих уярчения, в которых наблюдается относительное уплощение спектра. Далее мы провели сравнение карт спектрального индекса, полученных с использованием стандартной и глубокой очистки данных. Для анализа значимости уплощений спектра вдоль хребтовой линии струй мы строили *одновременные* доверительные интервалы вокруг профиля спектрального индекса. В таком случае критерием отсутствия значимости уплощения будет возможность поместить единую горизонтальную прямую внутрь интервала во всех точках профиля спектра компоненты струи.

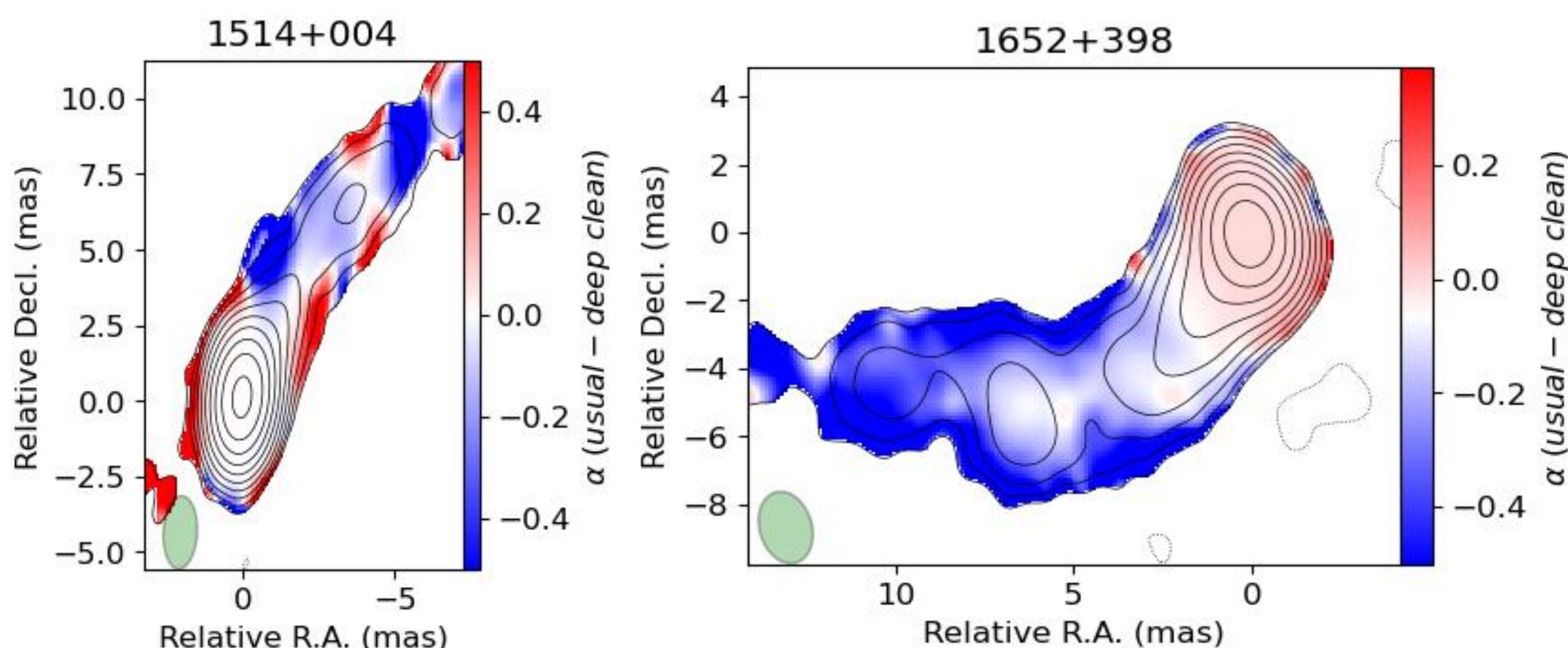


Рис. 2. Карты разности спектрального индекса без и с глубокой чисткой. Квазары 1514+004 и 1652+398 (эпохи наблюдений 05.04.2006 и 12.02.2006 соответственно). Цветом показана разность спектральных индексов, где синий цвет обозначает большую величину индекса при глубокой очистке. Контурами показана полная интенсивность аналогично рис. 1. Наблюдательные данные проекта MOJAVE.

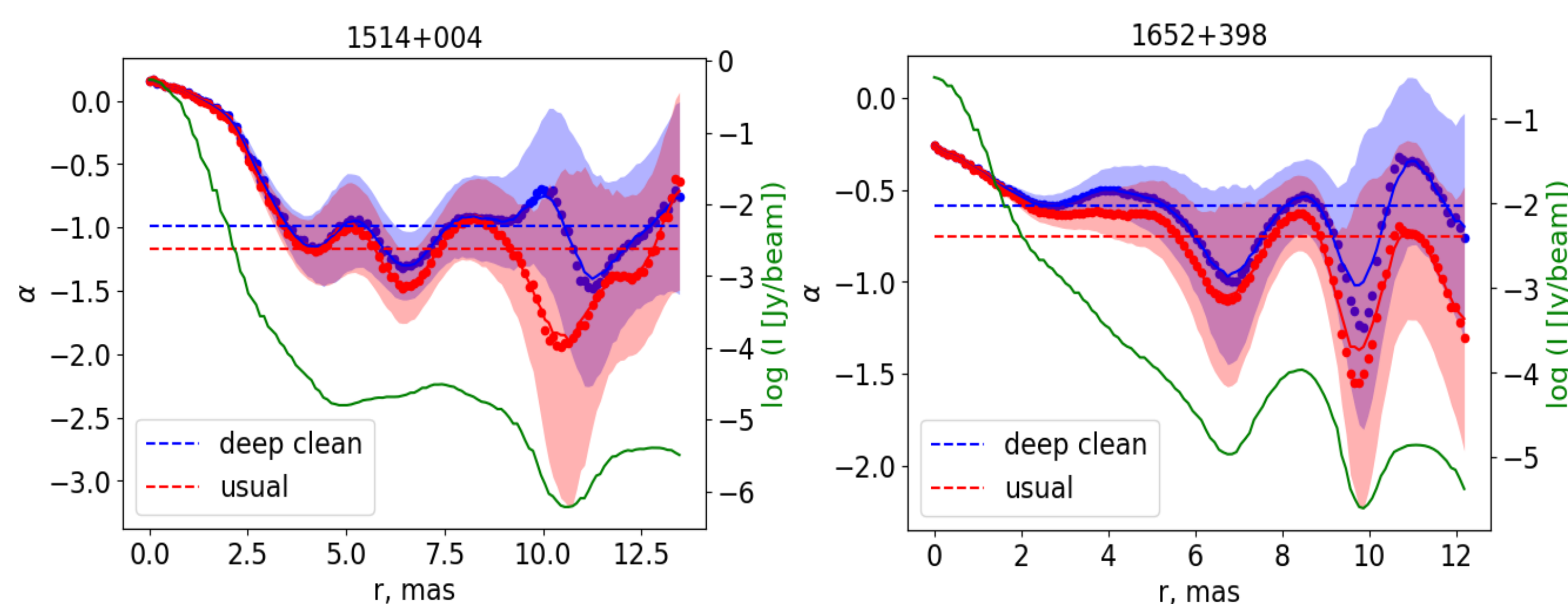


Рис. 3. Графики профилей спектрального индекса вдоль хребтовых линий для квазаров 1514+004 и 1652+398. Точками показаны индивидуальные измерения, синяя и красная кривые показывают среднее значение *одновременных* 95% доверительных интервалов, показанных соответствующим цветом. Пунктирные прямые отображают медианное значение спектрального индекса в струе. Зеленая кривая отображает полную интенсивность вдоль хребтовой линии. Те же данные, что и на Рис. 2.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным исследуемой выборки обнаружено систематическое смещение спектрального индекса в случае применения стандартной (неглубокой) чистки карт в областях низкой яркости (Рис. 2). Типичное значение величины недооценки медианного значения спектрального индекса вдоль хребтовой линии струи составляет 0.17 ± 0.03 (Рис. 3), что позволяет объяснить кажущееся уплощение спектра компонент [1] систематикой картографирования. Как частотно-зависимая, так и яркостно-зависимая систематика алгоритма очистки [3] приводит к систематическому укрупнению спектра в относительно тусклых областях, окружающих яркие компоненты. За счет этого, можно предположить его уплощение в самой компоненте. Таким образом, наш анализ показал заметное уменьшение значимости уплощения по всей исследуемой выборке и указывает на отсутствие наблюдаемого ускорения частиц в большинстве отдельных уярчений струй квазаров.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда №20-72-10078

[1] Hovatta, T., et. al. (2014). MOJAVE: Monitoring of Jets in Active Galactic Nuclei with VLBA Experiments. XI. Spectral distributions. *Astron. J.*, 147:143

[2] Pushkarev, A. B. and Kovalev, Y. Y. (2012). Single-epoch VLBI imaging study of bright active galactic nuclei at 2 GHz and 8 GHz. , 544:A34

[3] Pashchenko, I. N., Kravchenko, E. V., Nokhrina, E. E., and Nikonov, A. S. (2023). CLEAN imaging systematics of M87 radio jet. , 523(1):1247–1267