



Сравнение оптических величин радиоисточников каталога OCARS, полученных по наблюдениям *Gaia* и наземных телескопов

З.М. Малкин

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

Аннотация

В работе проведено сравнение оценок блеска в оптическом диапазоне астрометрических радиоисточников из каталога OCARS, измеренных с помощью наземных телескопов и с помощью космического телескопа *Gaia*. Было обнаружено, что для некоторых источников эти величины хорошо согласуются, в то время как другие источники демонстрируют значительные расхождения. Расхождение в основном наблюдается для протяженных галактик, для которых обычно применяются различные процедуры обработки изображений на наземных телескопах и телескопе *Gaia*. Тем не менее, такое сравнение может быть полезно в качестве метода проверки неоднородных или ненадежных данных фотометрии из литературы и для перекрестной идентификации объектов в разных каталогах.

1 Введение

Сравнение координат астрометрических радиоисточников в каталогах, полученных по наблюдениям методом РСДБ и космической миссии *Gaia*, позволяет исследовать систематические ошибки обоих каталогов, а также структуру и эволюцию наблюдаемых объектов в оптическом и радио диапазонах. Однако, надежность результатов подобных исследований зависит от надежности взаимного отождествления объектов радио и оптических каталогов. Ошибки идентификации объектов в разных каталогах вносят дополнительный шум и выбросы в статистику разностей координат источников в сравниваемых каталогах, что может заметно повлиять на результаты сравнения и выводимые из них заключения. Хотя для многих источников проблем взаимного отождествления не возникает, есть немало и таких, для которых эта задача не является тривиальной.

Разные авторы предлагают и используют различные методы взаимного отождествления источников в радио (РСДБ) и оптических (*Gaia*) каталогах (Mignard и др., 2016; Petrov и Kovalev, 2017; Lindegren и др., 2018; Malkin, 2018; Makarov, Berghea и др., 2019; Liu и др., 2020; Secrest, 2022; Makarov, Johnson и Secrest, 2023). Все они основаны на анализе разностей координат в сопоставляемых каталогах, как правило, с привлечением дополнительных критериев.

Настоящая работа посвящена исследованию возможности использования оптической фотометрической информации в качестве дополнительного критерия для подтверждения или опровержения результатов взаимного отождествления источников в каталогах РСДБ и *Gaia*, основанных на других (позиционных) методах отождествления. При этом надо заметить, что если публикуемые результаты *Gaia* содержат как позиционные так и фотометрические данные, каталоги положений радиоисточников оптические фотометрические данные не включают. Поэтому в качестве таких данных для астрометрических радиоисточников использовался наиболее полный в настоящее время каталог оптических характеристик астрометрических радиоисточников OCARS¹ (Malkin, 2018).

Впервые сравнение данных наземной и космической фотометрии каталога OCARS было проведено в Malkin (2021). В этой статье данные предыдущей работы пересмотрены с новой версией

¹http://www.gaoran.ru/english/as/ac_vlbi/ocars.txt

OCARS (Малкин, 2023) и с новым релизом *Gaia* DR3 (Gaia Collaboration и др., 2022) вместо использовавшегося ранее релиза *Gaia* DR2. Это позволило увеличить число общих источников в каталогах OCARS и *Gaia* примерно на 20% и несколько повысить точность использованных фотометрических данных.

2 Сравнение фотометрических данных

Каталог OCARS содержит собранные в различных базах данных фотометрию астрометрических радиоисточников в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне в 16 полосах: $u, U, B, g, V, r, R, i, I, z, J, H, K, G, GBP, GRP$. Эти данные собраны в одном из файлов каталога OCARS `ocars_m.txt`². Всего в каталоге OCARS насчитывается 12175 источников с фотометрией хотя бы в одной полосе. Для данной работы были использованы величины G каталога *Gaia* DR3 и близкие к ним по длине волны величины $VrRi$ каталога OCARS. Общих источников в каталогах OCARS и *Gaia*, имеющих одновременно величины G в каталоге *Gaia* и хотя бы одну величину из четырех полос $VrRi$ в каталоге OCARS, оказалось 8520. Именно эти источники были использованы в настоящей работе.

Фотометрические данные для полосы G взяты непосредственно из каталога *Gaia* DR3³. Оптические величины источников для первых 13 полос из перечисленных выше получены из нескольких источников. Сначала производится поиск источников каталога OCARS в каталогах SDSS и Pan-STARRS. Если источник найден в обоих каталогах, предпочтение отдается данным SDSS. Если источник не найден ни в одном из этих двух каталогов, используется фотометрия из баз данных SIMBAD и (редко) NED. К сожалению, данные используемых каталогов и баз данных не всегда одинаково надежны и согласованы. Для этого может быть несколько причин, таких как ошибки измерений или их обработки, переменность источников, что приводит к различным оценкам блеска, сделанным в разные эпохи, особенности алгоритмов обработки в разных наблюдательных проектах. Для ослабления этих эффектов при сравнении с данными *Gaia* были использованы средние значения из величин $VrRi$. В дальнейшем изложении эти средние значения обозначены R' . Разности $G - R'$ для всех 8520 источников показаны на Рис. 1.

Как можно видеть из Рис. 1, разности *Gaia* минус OCARS могут быть как положительными, так и отрицательными в диапазоне от примерно -3^m до примерно 10^m , но для двух третей источников эти разности находятся в диапазоне $\pm 0.5^m$, что, в общем, соответствует точности фотометрических данных каталога OCARS (более детальное описание фотометрических данных OCARS приведено в Malkin (2018)).

Положительные разности *Gaia* минус OCARS означают, что оптическая яркость источников по измерениям телескопа *Gaia* меньше, чем яркость этого источника по наземным наблюдениям. Такой эффект наблюдается, как правило, для протяженных источников (галактик) ядра которых наблюдаются методом РСДБ. Общее объяснение этого может быть найдено при учете особенностей наземных и космических фотометрических измерений. Во многих случаях при фотометрии источников на наземных телескопах, результаты которых приведены в каталоге OCARS, величины отнесены к интегральному потоку протяженного объекта, тогда как фотометрия *Gaia* отнесена к наиболее яркой небольшой центральной области галактики. Три типичных примера такой ситуации приведены на Рис. 2 для источников с большой положительной разностью величин $G - R'$.

Для проверки такого предположения данные Рис. 1 были реорганизованы и изображены на Рис. 3, на котором показана разность величин $G - R'$ как функция R' . Из этого рисунка можно видеть, что оптически слабые объекты показывают относительно небольшую разность оптических величин *Gaia* минус OCARS, в то время как для ярких объектов эта разность величин весьма значительна. Наиболее вероятно, что такая зависимость объясняется тем, что *Gaia* наблюдает слабые галактики как единые (почти) точечные объекты в отличие от больших ярких галак-

²http://www.gaoran.ru/english/as/ac_vlbi/ocars_m.txt

³<https://gea.esac.esa.int/archive/>

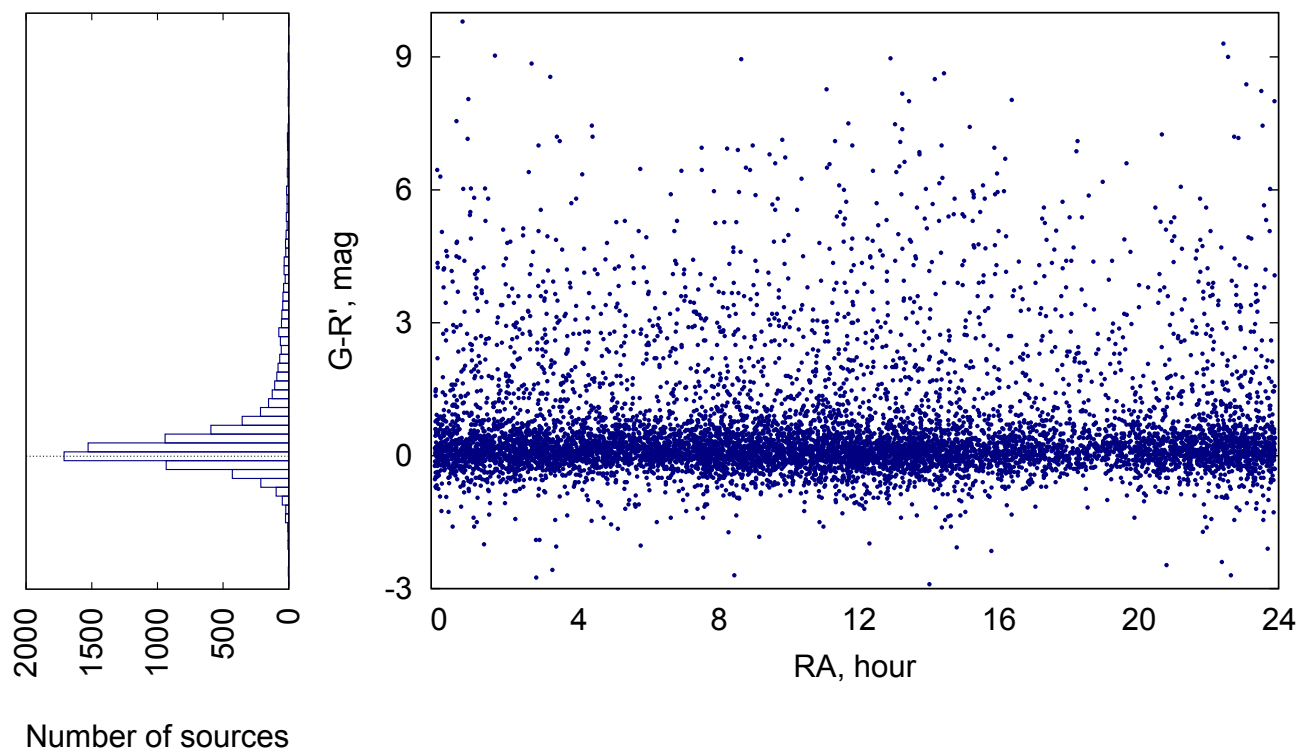


Рис. 1: Разница оптических величин *Gaia*–OCARS для 8520 общих источников. Интервал гистограммы на левой панели составляет 0.2^m .

тик. Детальная дискуссия о наблюдениях галактик на телескопе *Gaia* может быть найдена в de Souza и др. (2014). Кроме этой общей зависимости, на Рис. 3 можно видеть некоторые более тонкие детали зависимости разности оптического блеска источников, которые могут быть вызваны, например, зависимостью от морфологии галактик, от сложной структуры источников в оптическом или радио диапазоне и от угла зрения. Но этот вопрос требует специального подробного рассмотрения за рамками настоящей работы.

Случаи источников с большими отрицательными разностями $G - R'$ более интересны и заслуживают специального рассмотрения индивидуально для каждого такого источника. Причин таких разностей может быть несколько:

- Это может быть результат ошибочной кросс-идентификации объектов в каталогах OCARS и *Gaia*, сделанной автором.
- Это может быть результатом переменности источника, в результате чего фотометрические данные, приведенные в OCARS и в каталоге *Gaia*, как правило, полученные в разные эпохи, могут сильно отличаться. Результаты оптического мониторинга астрометрических радиоисточников показывают, что амплитуда изменения яркости источников может меняться с амплитудой, превышающей три величины, см., например, Taris и др. (2016). Фотометрические наблюдения *Gaia* также позволяют выявить переменность наблюдаемых объектов, чему посвящен специальный ресурс Index to Gaia Photometric Alerts⁴.
- Это может быть результатом ошибочной кросс-идентификации объектов в каталогах, которые используются для наполнения каталога OCARS. В процессе работы с каталогом OCARS было найдено несколько таких случаев.

Следует заметить, что эти же причины могут приводить и к большим положительным разностям оптических величин *Gaia* минус OCARS.

⁴<http://gsaweb.ast.cam.ac.uk/alerts/alertsindex>

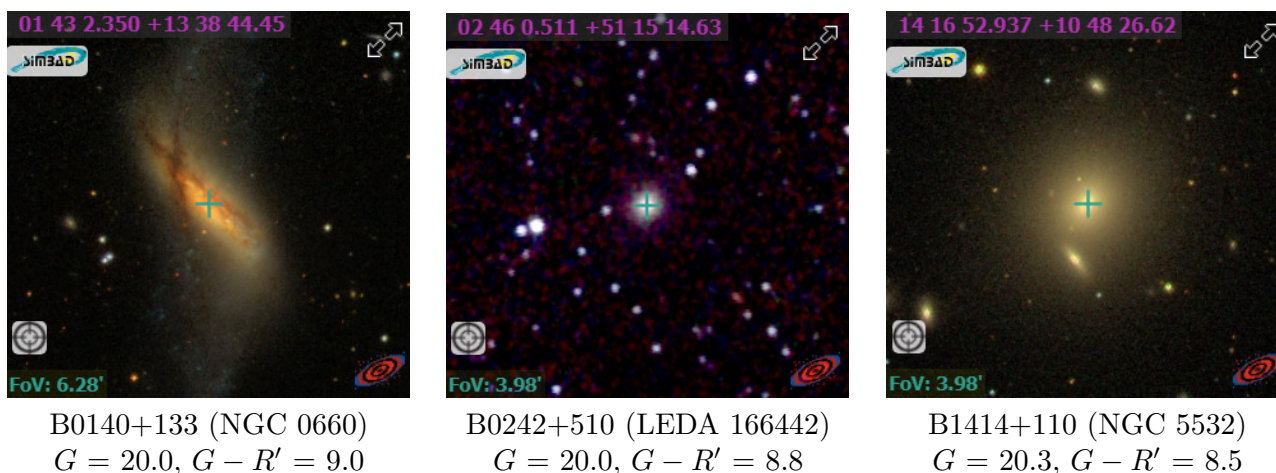


Рис. 2: Три примера протяженных объектов (ярких галактик) с большой положительной разностью оптических величин *Gaia* минус OCARS. Изображения взяты из Aladin Sky Atlas (<https://aladin.u-strasbg.fr/>).

3 Заключение

Целью настоящей работы было исследование возможности использования сопоставления оптических величин астрометрических радиоисточников, полученных на наземных телескопах и на телескопе *Gaia* для повышения надежности кросс-идентификации объектов в радио и оптических каталогах. В результате работы было найдено, что в большинстве случаев такое сравнение помогает проверить правильность отождествления объектов в каталогах. В частности, это помогло выявить несколько источников OCARS с ошибочной фотометрией или ошибочным отождествлением.

В то же время для большого класса объектов, таких как яркие протяженные галактики, такое сравнение не позволяет, как правило, сделать определенные выводы о точности взаимного отождествления источников по причине различной методики наблюдений и обработки наземных и космических наблюдений. Для источников такого типа наземные наблюдения, использованные в каталоге OCARS, дают интегральную яркость по всему объекту или по его достаточно широкой центральной части, в то время как фотометрия телескопа *Gaia* относится к наиболее яркой почти точечной области, обычно ядра галактики.

Благодарности

Автор благодарен рецензенту за полезные замечания по первоначальному варианту настоящей работы, которые были учтены при подготовке окончательной версии статьи.

В настоящей работе использованы следующие источники данных: European Space Agency (ESA) mission *Gaia*⁵, Sloan Digital Sky Survey⁶ (SDSS), Panoramic Survey Telescope And Rapid Response System⁷ (Pan-STARRS), Set of Identifications, Measurements and Bibliography for Astronomical Data (SIMBAD) and Aladin Sky Atlas operated at the Centre de Données Astronomiques⁸ (CDS), Strasbourg, France, and the SAO/NASA Astrophysics Data System⁹ (ADS).

⁵<https://www.cosmos.esa.int/gaia>

⁶<https://www.sdss.org/>

⁷<https://outerspace.stsci.edu/display/PANSTARRS/>

⁸<https://cds.u-strasbg.fr/>

⁹<https://ui.adsabs.harvard.edu/>

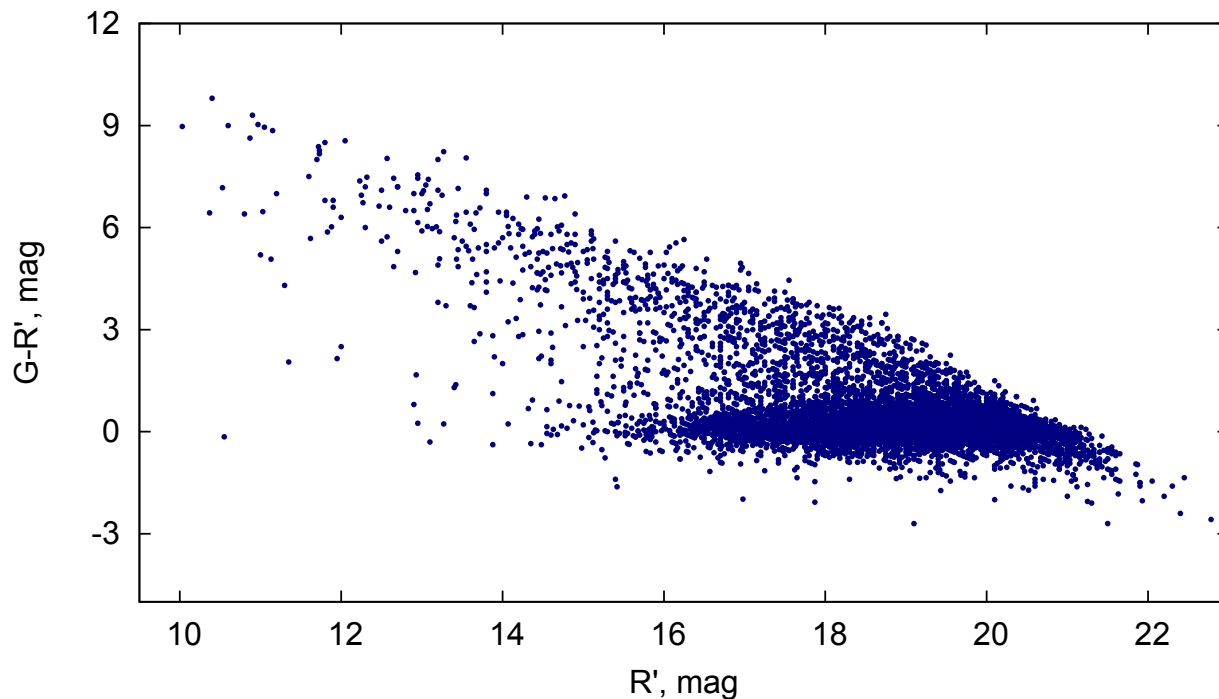


Рис. 3: Разница оптических величин *Gaia*–OCARS в зависимости от R' .

Список литературы

- Mignard, F. и др. (2016). *Gaia Data Release 1. Reference frame and optical properties of ICRF sources*. A&A 595, A5.
- Petrov, L. и Y. Y. Kovalev (2017). *On significance of VLBI/Gaia position offsets*. MNRAS 467.1, с. L71–L75.
- Lindegren, L. и др. (2018). *Gaia Data Release 2. The astrometric solution*. A&A 616, A2.
- Malkin, Z. (2018). *A New Version of the OCARS Catalog of Optical Characteristics of Astrometric Radio Sources*. ApJS 239.2, с. 20.
- Makarov, Valeri V., Ciprian T. Bergheda, Julien Frouard, Alan Fey и Henrique R. Schmitt (2019). *The Precious Set of Radio-optical Reference Frame Objects in the Light of Gaia DR2 Data*. ApJ 873.2, с. 132.
- Liu, N., S. B. Lambert, Z. Zhu и J. -C. Liu (2020). *Systematics and accuracy of VLBI astrometry: A comparison with Gaia Data Release 2*. A&A 634, A28.
- Secrest, Nathan J. (2022). *Optical-Radio Position Offsets Are Inversely Correlated with AGN Photometric Variability*. ApJL 939.2, с. L32.
- Makarov, Valeri V., Megan C. Johnson и Nathan J. Secrest (2023). *Radio-optical Reference Catalog, Version 1*. AJ 166.1, с. 8.
- Malkin, Z. (2021). *Comparison of Ground-Based and Gaia Photometry of Astrometric Radio Sources*. В: XIX Serbian Astronomical Conference. Т. 100, с. 395–399.
- Малкин, З. М. (2023). *Развитие каталога OCARS в 2018–2022 годах*. Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове 228, с. 136–141.
- Gaia Collaboration и др. (2022). *Gaia Data Release 3: Summary of the content and survey properties*. arXiv e-prints, arXiv:2208.00211.
- de Souza, R. E., A. Krone-Martins, S. dos Anjos, C. Ducourant и R. Teixeira (2014). *Detection of galaxies with Gaia*. A&A 568, A124.
- Taris, F. и др. (2016). *Long-term R and V-band monitoring of some suitable targets for the link between ICRF and the future Gaia celestial reference frame*. A&A 587, A112.

Comparison of optical magnitudes of astrometric radio sources obtained from *Gaia* and ground based observations

Z.M. Malkin

Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS

Abstract

In this paper, optical magnitudes of astrometric radio sources from the OCARS catalog measured with ground-based telescopes and by *Gaia* space telescope have been compared. It was found that for some sources these magnitudes agree well, while other sources show significant disagreement. The disagreement is mostly observed for extended Galaxies for which different image processing procedure is usually applied on ground-based and *Gaia* telescopes. Nevertheless, such a comparison can be useful as a method of verification of non-uniform or unreliable photometry data from the literature and for cross-identification of objects in various catalogs.